Document public

Revalorisation du potentiel minier français : le district à antimoine-or du Semnon (Ille-et-Vilaine, France)

Rapport final

BRGM/RP-66200-FR
Novembre 2016

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ENERGIE ET DE LA MER

MINISTÈRE DE L'ECONOMIE, DE L'INDUSTRIE ET DU NUMÉRIQUE

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Revalorisation du potentiel minier français : le district antimonifère du Semnon (Ille-et-Vilaine, France)

Rapport final

BRGM/RP-66200-FR
Novembre 2016

Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 2016 avec le soutien du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie

E. Gloaguen, B. Tourlière
Avec la collaboration de
J.M. Angel

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : Jean-Jacques Dupuy	Nom : Jean-Claude Guillaneau
Fonction : Correspondant APP	Fonction : Directeur de DGR
Date : 9/05/2017	Date : 16/05/2017
Signature :	Signature :

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ENERGIE ET DE LA MER

MINISTÈRE DE L'ECONOMIE, DE L'INDUSTRIE ET DU NUMÉRIQUE

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots-clés : District du Semnon, Antimoine, Or, Dolérite, Massif Armoricain.

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

Gloaguen E., Tourlière B., Angel J.M. (2016) – Revalorisation du potentiel minier français : le district antimonifère du Semnon (Ille-et-Vilaine, France). Rapport final. BRGM/RP-66200-FR, 71 p., 30 fig., 7 tabl., 4 ann., 1 CD.

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

Synthèse

Le district du Semnon possède *a minima* une longueur de 17 km et une largeur de 3 km. Il se localise dans un anticlinal érodé dont le cœur est constitué par les schistes de la formation d'Angers-Traveusot (Ordovicien moyen à supérieur, *ie Dapingien* à *Sandbien*). Dans cet anticlinal, les schistes sont recoupés par un important faisceau de dykes de dolérites N140°E, de 10 cm à 25 m de puissance, datés à 363,3 ± 3,1 Ma (Pochon *et al.,* 2016b). Ces dykes sont affectés par la déformation varisque ce qui se traduit par du plissement, des épontes schistosées et la présence de veines de quartz minéralisées recoupant les dolérites et l'encaissant proche. La distribution aléatoire des veines de 2 à 20 cm de puissance ainsi que des zones hydrothermalisées et localement la forte densité de petits dykes de dolérite conduit à considérer cette minéralisation comme un **stockwerk**. Les travaux de prospection minière menés entre 1954 et 1987 par le BRGM et la Société Minière et Métallurgique de Peñarroya ont conduit à la mise en évidence de trois principaux prospects dans ce district : l'ancienne mine du Semnon (La Liborière), le prospect de La Coëfferie et celui des Touches. Ces trois principaux prospects sont très comparables, avec une minéralisation en antimoine portée par des veines de quartz-carbonate à stibine – berthiérite ± or natif (aurostibite + électrum probable) ainsi que par des disséminations dans les zones hydrothermalisées au sein des dolérites et des schistes encaissants. De l'arsénopyrite aurifère se trouve également fréquemment en disséminations dans les zones hydrothermalisées. L'or est donc présent sous deux formes, une forme piégée et une forme libre, sans que la proportion de ces formes ne soit connue. L'arsénopyrite aurifère étant précoce dans la paragenèse et la stibine plus tardive, la corrélation antimoine-or est localement nulle ce qui indique l'existence de zones uniquement aurifères ou antimonifères au sein des stockwerks.

Les données sont trop peu nombreuses ou trop parcellaires pour réaliser une estimation normée[1] de ces prospects du fait des géométries en stockwerk des zones minéralisées. L'estimation des teneurs qui semble raisonnable pour les minéralisations du district est de **1,65 % Sb et 1,2 g/t Au**. À partir de ces chiffres et de la synthèse des travaux, **une estimation minimale du stock métal de l'ordre de 45 000 t Sb et 3,3 t Au pour le district est proposée**. Ce stock métal est répartit sur trois cibles, la Liborière (19 488 t Sb + 1,46 t Au), Les Touches (11 484 t Sb + 835 kg Au) et La Coëfferie (14 355 t Sb + 1,044 t Au), sans prise en compte de nombreux satellites potentiels, avec une investigation limitée entre 120 et 60 m sous la surface topographique. Par ailleurs, la teneur en tungstène n'a pas été évaluée et pourrait valoriser le district.

L'ensemble des prospects de ce district ayant été découvert au moyen de prospection de surface (prospection marteau et géochimie sol), la tranche -100 à -500 m doit être considérée comme vierge. Il n'y a raisonnablement aucun argument pour dire qu'il n'y a pas de minéralisation dans cette tranche car la géologie doit y être strictement identique à celle de la surface (schistes recoupés par des dolérites). De plus, ce faisceau de dykes de dolérite et la minéralisation hydrothermale qui le recoupe pourrait également recouper les 4 couches de minerai de fer oolithique carbonaté situées 400 à 500 m sous la surface topographique et former des niveaux de sulfures massifs potentiellement minéralisés comme celui connu à Saint-Aubin-des-Châteaux (Gloaguen *et al.,* 2007). La structure en anticlinal est une géométrie qui peut de plus focaliser les fluides et augmenter les teneurs dans les pièges chimiques représentés par les couches de minerai de fer carbonaté.

[1] Norme canadienne NI-43-101 ou australienne JORC

À partir des approches prédictives par la méthode CBA et ses variantes, un prolongement du district connu vers l'est est particulièrement mis en évidence (Figure 1), soit une zone approximativement de 8 x 8 km située à 10 km à l'est de la mine du Semnon. De même, toute la surface comprise entre Le Semnon et La Coëfferie et leurs abords immédiats apparaissent comme des zones à privilégier pour la recherche.

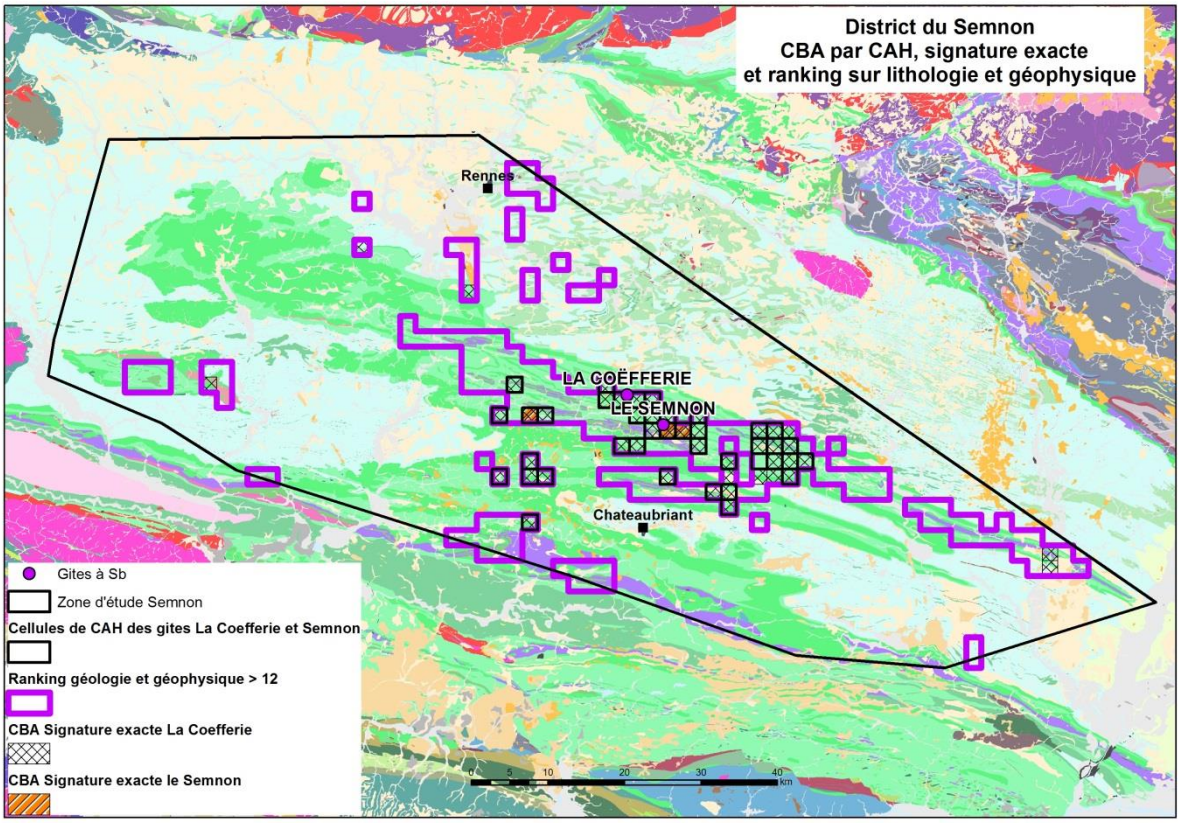


Figure 1 : District du Semnon. Intersection des paramètres de CBA favorables à la présence de gîtes à Sb.

Sommaire

1. Localisation et contexte 11

1.1. LOCALISATION 11

1.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET GITOLOGIQUE 11
1.2.1. Contexte régional 11
1.2.2. Contexte du district 13

2. Historique des travaux 19

2.1. ORIGINE DE LA DÉCOUVERTE 19

2.2. TRAVAUX SUR LA CONCESSION DU SEMNON : 1895-1918 19

2.3. TRAVAUX DE LA SOCIÉTÉ MINIÈRE ET MÉTALLURGIQUE DE PEÑARROYA (SMMP) : 1954-1981 20

2.4. TRAVAUX DE L'INVENTAIRE : 1975-1979 21

2.5. TRAVAUX DU SYNDICAT PENARROYA-BRGM : 1981-1987 21
2.5.1. Première phase de travaux, 1982 21
2.5.2. Deuxième phase de travaux, 1983 22
2.5.3. Troisième phase de travaux, 1984 22
2.5.4. Quatrième phase de travaux, 1985 22
2.5.5. Cinquième phase de travaux, 1986 23

3. Données disponibles sur les prospects 25

3.1. VUE D'ENSEMBLE 25

3.2. LA LIBORIÈRE (MINE DU SEMNON), LE HAUT-COUDRAY, LE PETIT BUARD-LE CHÊNE 28
3.2.1. La Liborière (mine du Semnon) 28
3.2.2. Le Haut-Coudray 36
3.2.3. Le Petit Buard - Le Chêne 36

3.3. LA COËFFERIE, LES TOUCHES 39
3.3.1. Les Touches 39
3.3.2. La Coëfferie (Les Tournelières) 43

3.4. AUTRES INDICES 46

4. Approches prédictives 49

4.1. LA MÉTHODE CELL-BASED ASSOCIATION (CBA) 49

4.2. CBA PAR CAH 49
4.2.1. Principes 49

4.2.2. Résultat et Interprétation 49

4.3. CBA PAR SIGNATURE EXACTE 50
4.3.1. Principe 50
4.3.2. Résultat et interprétation 51

4.4. RANKING SUR CBA 51
4.4.1. Principe 51
4.4.2. Résultat et interprétation 52

4.5. SYNTHÈSE 54

5. Conclusion 55

6. Bibliographie 57

Liste des figures

Figure 1 : District du Semnon. Intersection des paramètres de CBA favorables à la présence de gîtes à Sb. 4

Figure 2 : Localisation du District du Semnon (source : www.geoportail.fr). 11

Figure 3 : Carte géologique simplifiée de la partie est du domaine centre-armoricain (bloc de Rennes) et principales minéralisations avec localisation du district du Semnon. Modifié d'après Gloaguen (2002). Géologie d'après la carte géologique de France au million (Chantraine *et al.,* 1996), gîtes minéraux d'après Méloux et al. (1979); Chauris et Marcoux (1994); Bouchot *et al.* (1997). 12

Figure 4 : Carte géologique du district du Semnon, modifié d'après la carte géologique de la France au 1/50 000, feuille de Châteaubriant (Herrouin *et al.,* 1988). La minéralisation à antimoine-or est principalement localisée dans des dykes de dolérite (petits intrusifs en noir sur cette carte). Coordonnées projetées RGF Lambert 93, carroyage 5 km. 14

Figure 5 : Log stratigraphique des principales formations géologiques présentes dans le district du Semnon (légende figure 3) et détail de la stratigraphie des 4 couches de minerai de fer carbonaté présent dans le membre inférieur du grès armoricain. Modifié d'après Herrouin *et al.* (1988) et Chauvel (1968). 15

Figure 6 : Synthèse des travaux historiques (1895-1918) sur la concession du Semnon. D'après BRGM (1984). 20

Figure 7 : Carte des travaux de prospection tactique (géochimie, tranchées, sondages) à l'échelle du district du Semnon. Seules les données des profils géochimique en rouge sont manquantes. Les contours géologiques en traits gris fins sont ceux de la figure 3. 27

Figure 8 : Synthèse des prospections tactiques sur les prospects de La Liborière, Le Haut-Coudray et le Petit-Buard/Le Chêne. Contours géologiques (vert : Schistes Fm d'Angers-Traveusot, marron : grès du Chatellier, noir : dykes de dolérite) superposés au fond géographique IGN au 1/25 000. Les chiffres indiquent la teneur Sb en ppm lorsque elle est supérieur à 10 ppm. En niveaux de couleurs, l'interpolation par inverse distance (8 voisins) des teneurs en antimoine. 28

Figure 9 : Contours géologiques du dyke de dolérite de la mine du Semnon aux niveaux -17 et -100 m superposés à l'anomalie antimoine en géochimie sol (les points d'analyse et les valeurs sont indiquées en noir). Les sondages LIB-1 et LIB-2 à pendage 54° sud-ouest ont intercepté le dyke de dolérite recoupé de veines minéralisées au niveau -100 m. Les terminaisons nord-ouest et sud-est du dyke ne sont pas connues. Carroyage 100 m. 29

Figure 10 : Stéréogramme de quelques mesures de veines dans le niveau -17 m de la mine du Semnon. Bleu = fentes de tension ; rouge = veines de cisaillement ; vert = veines indifférenciées. Isocontours de l'ensemble des poles des veines. 30

Figure 11 : Carte géologique du niveau -17 m de la mine du Semnon, modifié d'après Marot (1984). Seules les veines principales sur le tracé des galeries sont figurées. Localisation à 5 m près (sauf SEM28 à SEM34 à 10 m près) et teneur en antimoine et or des échantillons de divers faciès (Michaud, 1975, Annexe 2). Carroyage 10 m. 31

Figure 12 : Sondage LIB-1, Implantation sur une coupe nord-sud (nord à droite), détail de la géologie et teneurs sur la partie minéralisée qui correspond pour l'essentiel à la dolérite recoupée par des veines de quartz (BRGM, 1985). 33

Figure 13 : Photographies dans le niveau -17 m de la mine du Semnon montrant l'état des galeries, la géologie et les minéralisations en 2005, avant la mise en sécurité de la galerie. Clichés E. Gloaguen. 34

Figure 14 : Vue 3D en direction du nord-ouest du filon de dolérite de la Liborière. L'aval-pendage a été recoupé par les sondages LIB-1 et LIB-2, seul LIB-1 montre de bonnes teneurs (les passes minéralisées sont figurées en rouge). En niveau de couleur surface topographique avec anomalie antimoine interpolée. 35

Figure 15 : Synthèse des données sur l'anomalie du Haut-Coudray (géochimie sol, tranchées, sondages et analyses Au, Sb de rainurages et passes). Seules les valeurs les plus importantes des passes ou des rainurages sont indiquées. Carroyage 100 m. 37

Figure 16 : Synthèse des données (géochimie sol, tranchées, analyses Au, Sb de rainurages) sur l'anomalie du Petit-Buard – Le Chêne. Seules les valeurs les plus importantes des rainurages sont indiquées. Carroyage 100 m. 38

Figure 17 : Localisation des anomalies géochimie sol en antimoine de La Coëfferie et des Touches situées au nord-ouest du district sur le fond géologique (légende figures précédentes) et le fond géographique IGN au 1/25 000. 39

Figure 18 : Synthèse des données (géochimie sol, bedrock, tranchées, sondages carottés et destructifs, analyses Au, Sb de rainurages et de passes) sur l'anomalie des Touches. Seules les valeurs les plus importantes des rainurages sont indiquées. Carroyage 100 m 41

Figure 19 : Vue du dessous en direction du nord-ouest de l'anomalie des Touches. Les passes minéralisées sont représentées en rouge sur les sondages carottés longs. La couleur bleue marque les dolérites recoupées par les sondages. En surface, les ronds jaunes marquent les fortes teneurs or issues des rainurages de tranchées superposées à l'interpolation de l'anomalie antimoine en géochimie sol. Les contours sombres en surface sont les dykes de dolérite issus de l'interpolation des intersections des tranchées. Un seul dyke (pour des raisons de lisibilité) est interpolé en 3D de façon a montrer l'attitude du faisceau. Le parallélépipède a une base de 100 x 40 m et une hauteur de 60 m. 42

Figure 20 : Synthèse des données (géochimie sol, tranchées, sondages destructifs et carottés, résultats d'analyses Sb et/ou Au sur rainurages et passes) de l'anomalie de La Coëfferie 44

Figure 21 : Vue du dessous en direction du nord de l'anomalie de La Coëfferie. Les passes minéralisées sont représentées en orange et jaune sur les sondages destructifs courts et en rouge sur les sondages carottés longs. La couleur bleue marque les dolérites recoupées par les sondages. En surface, interpolation de l'anomalie antimoine en géochimie sol. Le parallélépipède a une base de 50 x 50 m et une hauteur de 120 m. ...45

Figure 22 : Clichés d'or natif et d'ullmanite au microscope métallographique provenant d'échantillons de La Coëfferie. 46

Figure 23 : Les indices du centre du district avec les points de géochimie sol ainsi que le contour cartographique (surestimé) des dolérites issus de la carte géologique au 1/50 000 de Châteaubriant (Herrouin *et al.,* 1988). En haut avec uniquement les contours géologiques pour visualiser les zones d'anomalies Sb et en bas avec la géologie. 47

Figure 24 : L'indice de Moussé au nord du district, avec les profils de points de géochimie sol et le contours cartographique (surestimé) des dolérites (en noir) issus de la carte géologique au 1/50 000 de Châteaubriant (Herrouin *et al.,* 1988). On note la présence ici d'un dyke de microgranite (en rouge). 48

Figure 25 : District du Semnon, CBA par CAH, cellules favorables. La grille en couleurs correspond aux 60 groupes de CAH réalisés sur la géologie. 50

Figure 26 : District du Semnon, CBA, cellules sélectionnées par « signature exacte » (la grille montre l'emprise de la zone étudiée). 51

Figure 27 : District du Semnon, CBA - Ranking sur associations lithologiques. 53

Figure 28 : District du Semnon, CBA - Ranking sur associations lithologiques et géophysique. 53

Figure 29 : District du Semnon. Intersection des paramètres de CBA favorables à la présence de gîtes à Sb. 54

Figure 30 : Extensions potentielles du district du Semnon marquées par l'anomalie magnétique et l'anomalie de densité issues du traitement des données géophysiques (Étude de Pochon *et al.,* 2016a). Ces anomalies sont interprétées comme étant liées à la présence d'intrusions mafiques/ultramafiques en profondeur dont les dolérites pourraient représenter l'expression de surface. Les dolérites cartographiées sur les cartes au 1/50 000 sont ici représentées par des points noirs. Le fond géologique est issu de la carte géologique de la France au 1/1 000 000 (Chantraine *et al.,* 1996). 56

Liste des tableaux

Tableau 1 : Estimation des réserves en 1975 sur la mine du Semnon (Michaud, 1975) 21

Tableau 2 : Synthèse des données de prospection stratégique et tactique sur le district du Semnon.27

Tableau 3 : Estimation du potentiel métallique de la structure de La Liborière, d'après les données de Florant *et al.* (1986).....35

Tableau 4 : Estimations de tonnage, teneur et métal contenu dans l'anomalie des Touches 40

Tableau 5 : Estimations de tonnage, teneur et métal contenu dans l'anomalie de la Coëfferie.....43

Tableau 6 : Composition lithologique des groupes de CAH correspondant aux gîtes du Semnon et de La Coëfferie. 50

Tableau 7 : Rapports de fréquence sur les formations géologiques associées aux gîtes étalons avec prise en compte des signatures géophysique (gravimétrie et magnétisme). La forte valeur du rapport de fréquence des dolérites (FDOLE) est liée à la présence systématique de dolérites dans les cellules étalon alors qu'ellse sont régionalement peu représentées (il s'agit de filons). 52

Liste des annexes

Annexe 1 : Historique de production de la mine du Semnon d'après les rapports du Service des Mines.....61

Annexe 2 : Analyses chimiques d'échantillons de roches de la Concession du Semnon par la SMMP (Michaud, 1975) 65

Annexe 3 : Analyse chimique à la microsonde électronique d'une traverse le long d'un cristal d'arsénopyrite du Semnon 67

Annexe 4 : Liste des fichiers numériques sur le CD 69

1. Localisation et contexte

1.1. LOCALISATION

Le district du Semnon - du nom de la rivière qui le traverse - est situé immédiatement à l'ouest de la ville de Martigné-Ferchaud, en Ille-et-Vilaine, à 40 km au sud-est de Rennes sur l'axe Rennes-Angers (Figure 2).

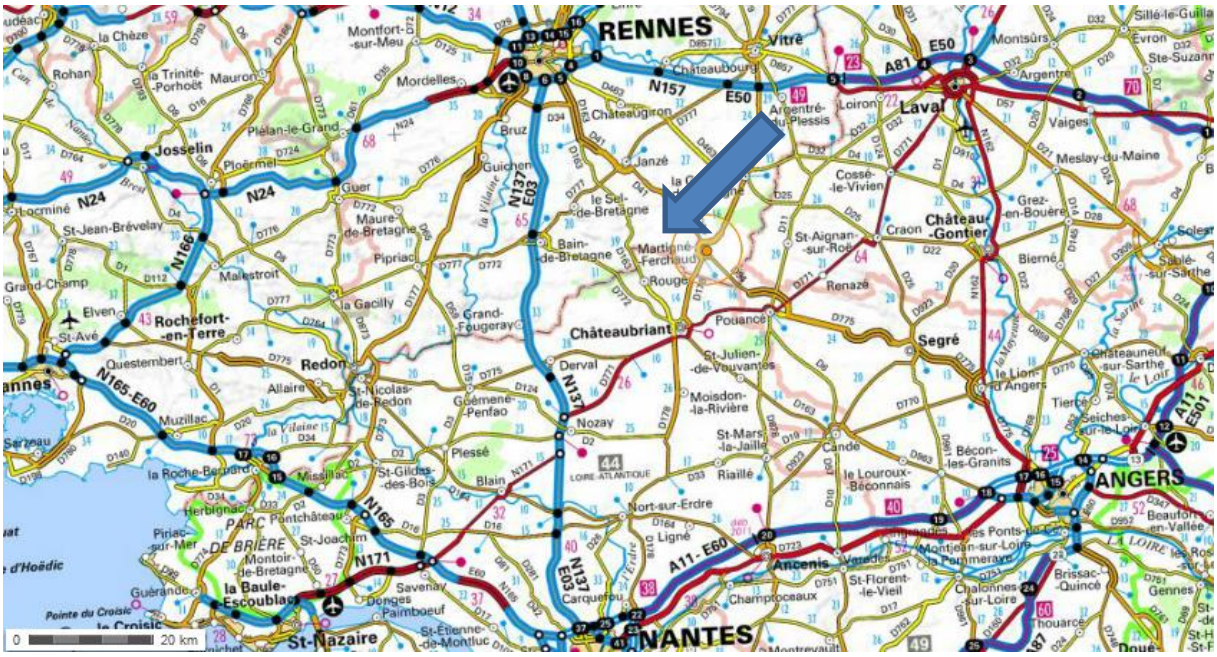


Figure 2 : Localisation du District du Semnon (source : www.geoportail.fr).

1.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET GÎTOLOGIQUE

1.2.1. Contexte régional

Le district du Semnon se situe dans la partie est du domaine centre-armoricain (Figure 2), appelé bloc de Rennes (Rolet *et al.,* 1994). Ce bloc est limité à l'ouest au nord et au sud respectivement par les cisaillements des Monts d'Arrée, nord armoricain et sud armoricain. Il est constitué d'une couverture sédimentaire d'âge controversé (« Briovérien ») protérozoïque supérieur à paléozoïque inférieur (Herrouin *et al.,* 1990) reposant sur un socle de nature inconnue (Le Corre *et al.,* 1991). Sur cette série sédimentaire briovérienne les premiers sédiments paléozoïques qui se déposent sont synchrones d'un épisode de rifting cambro-ordovicien qui avortera rapidement, mais qui provoque la formation de grabens locaux et le basculement de blocs (Ballard *et al.,* 1986). Ces derniers sont recouverts en discordance (Chauvel and Philippot, 1961), par les grès post-rift liés à la transgression ordovicienne. À la faveur d'épisodes transgressifs répétés, une épaisse couverture paléozoïque à caractère épicontinental va ainsi se déposer.

Cette couverture paléozoïque et son soubassement briovérien vont être structurés, durant l'orogenèse varisque (360-300 Ma) par le mouvement dextre lié au cisaillement sud armoricain (Choukroune *et al.,* 1983; Gumiaux *et al.,* 2004a,b) : ceci se manifeste par la présence de plis synschisteux orientés N90 à N120°E. Ce sont des plis droits simples de longueur plurikilométrique imposée par le grès armoricain de l'Arenig (Le Corre *et al.,* 1991).

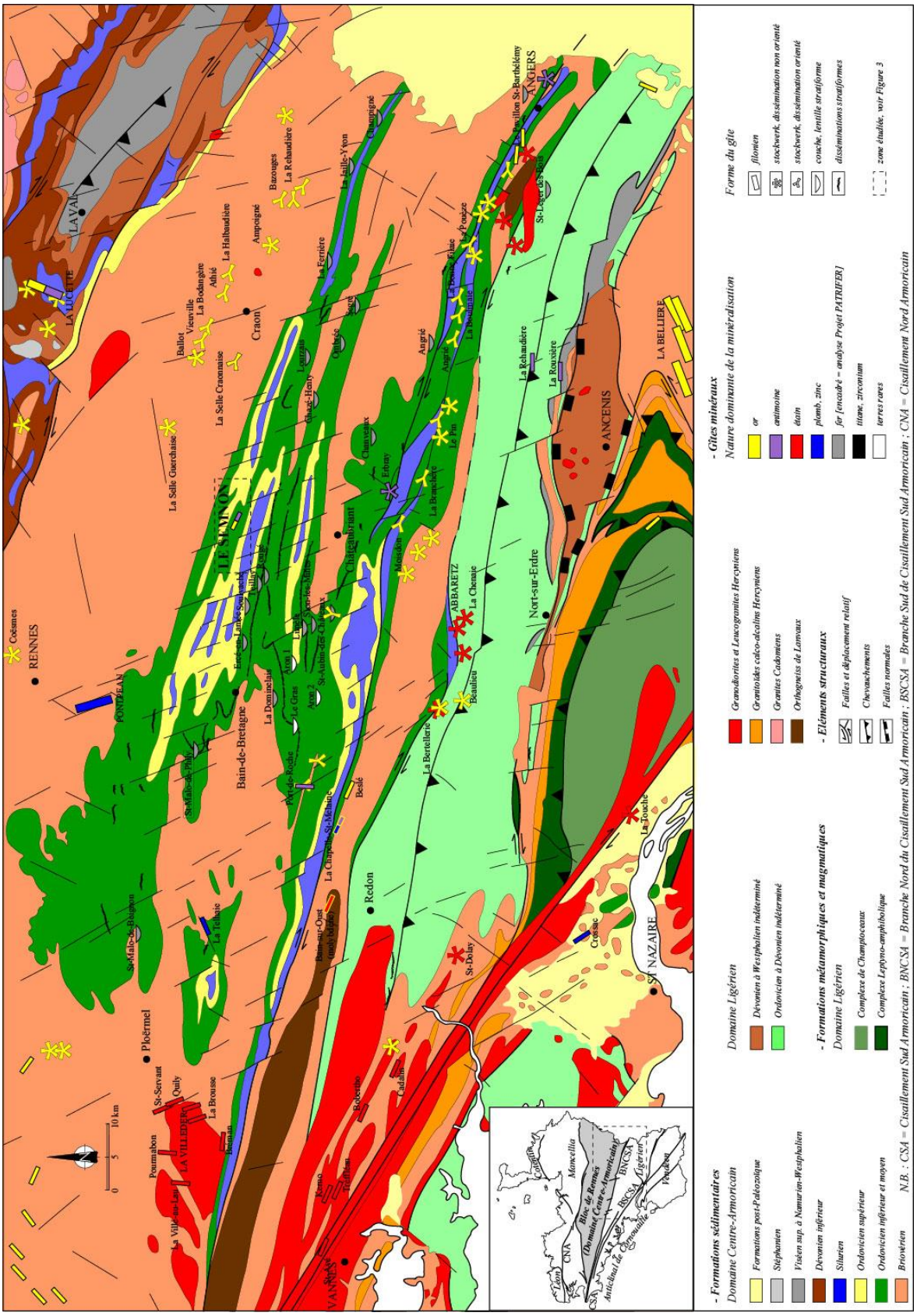


Figure 3 : Carte géologique simplifiée de la partie est du domaine centre-armoricain (bloc de Rennes) et principales minéralisations avec localisation du district du Semnon. Modifié d'après Gloaguen (2002). Géologie d'après la carte géologique de France au million (Chantraine et al.*, 1996), gîtes minéraux d'après Méloux* et al. *(1979); Chauris et Marcoux (1994); Bouchot* et al. *(1997).*

D'après Herrouin *et al.* (1990), la formation de ces plis est accompagnée et suivie d'une fracturation par un système conjugué de décrochements dextres de direction moyenne N150-160°E, pouvant atteindre 1 000 m de décalage horizontal, et de décrochements sénestres de direction moyenne N20-30°E présentant un rejet horizontal moins important de 100 à 200 m. Les rejets verticaux observés sont mineurs et montrent le plus souvent un abaissement du compartiment est. Il existe un gradient de déformation lié au fonctionnement du Cisaillement Sud Armoricain (CSA). En effet à proximité de son contact, les plis sont déversés vers le nord et de plus faible longueur d'onde, le plissement s'amortissant vers le nord. Corrélativement, il existe un gradient d'intensité décroissant du sud au nord pour la schistosité et le métamorphisme Varisque (Le Corre, 1978). En effet ceux-ci sont bien moins marqués au nord qu'au sud où ils sont par ailleurs perturbés par la présence de leucogranites syntectoniques du CSA (Le Corre 1978, 1975; Le Corre *et al.,* 1991)

De nombreuses minéralisations hydrothermales varisques à triasiques, principalement à or, antimoine ou métaux de base (Zn, Pb, Cu) sont présentes sous la forme de veines stockwerks et/ou disséminations dans le domaine centre-armoricain (*e.g.* Chauris et Marcoux 1994). Si certaines minéralisations forment des gisements importants exploités par le passé (ex : mine de Pontpéan), de nombreux indices ou types de gisements restent à prospecter et à évaluer. On peut ainsi citer l'exemple de la minéralisation de Saint-Aubin-des-Châteaux (situé à 18 km au sud-ouest du district du Semnon, Figure 3) où une couche de minerai de fer carbonatée (sidérite-chlorite) piège sous la forme de sulfures massifs des métaux de base (Pb, Zn, Cu, Sb) et précieux (Au, Ag) transportés par des fluides hydrothermaux lors de l'orogenèse varisque (Gloaguen, 2002; Gloaguen *et al.,* 2007; Tartèse *et al.,* 2015).

1.2.2. Contexte du district

a) *Formations géologiques*

Le district du Semnon est composé de formations sédimentaires détritiques paléozoïques non métamorphiques qui s'échelonnent de l'OIrdovicien inférieur au Silurien (carte géologique Figure 4 et log stratigraphique Figure 5). Il s'agit essentiellement de formations de pelites, schistes et grès en formation homogène ou présentant des alternances schistes/grès. Le détail de ces formations est donné dans le log stratigraphique de la Figure 5. Les formations les plus remarquables sont :

i) la **formation des grès armoricain**, formation essentiellement grèseuse de 360 à 540 m de puissance incluant 4 couches de minerai de fer carbonaté (Figure 5) ;

ii) la **formation d'Angers-Traveusot**, formation de 400 à 500 m de puissance composée surtout de schistes ;

iii) la **formation des grès du Chatellier** de 70 à 110 m de puissance ; iv) la **formation de Riadan-Renazé** composée essentiellement de schistes et de quelques bancs de grès sur une puissance de 200 à 280 m et

iv) les formations du Silurien (Fm de La Chesnaie, de Poligné, de Renac, …) composées surtout de schistes noirs et d'ampélites sur une puissance cumulée minimale de 140 à 180 m.

Les minéralisations du district sont encaissées essentiellement dans les schistes de la formation d'Angers-Traveusot d'age Ordovicien moyen à supérieur (Dapingien à Sandbien), formation contenant de nombreux niveaux phosphatés (Dabard *et al.,* 2007; Dabard et Loi 2012).

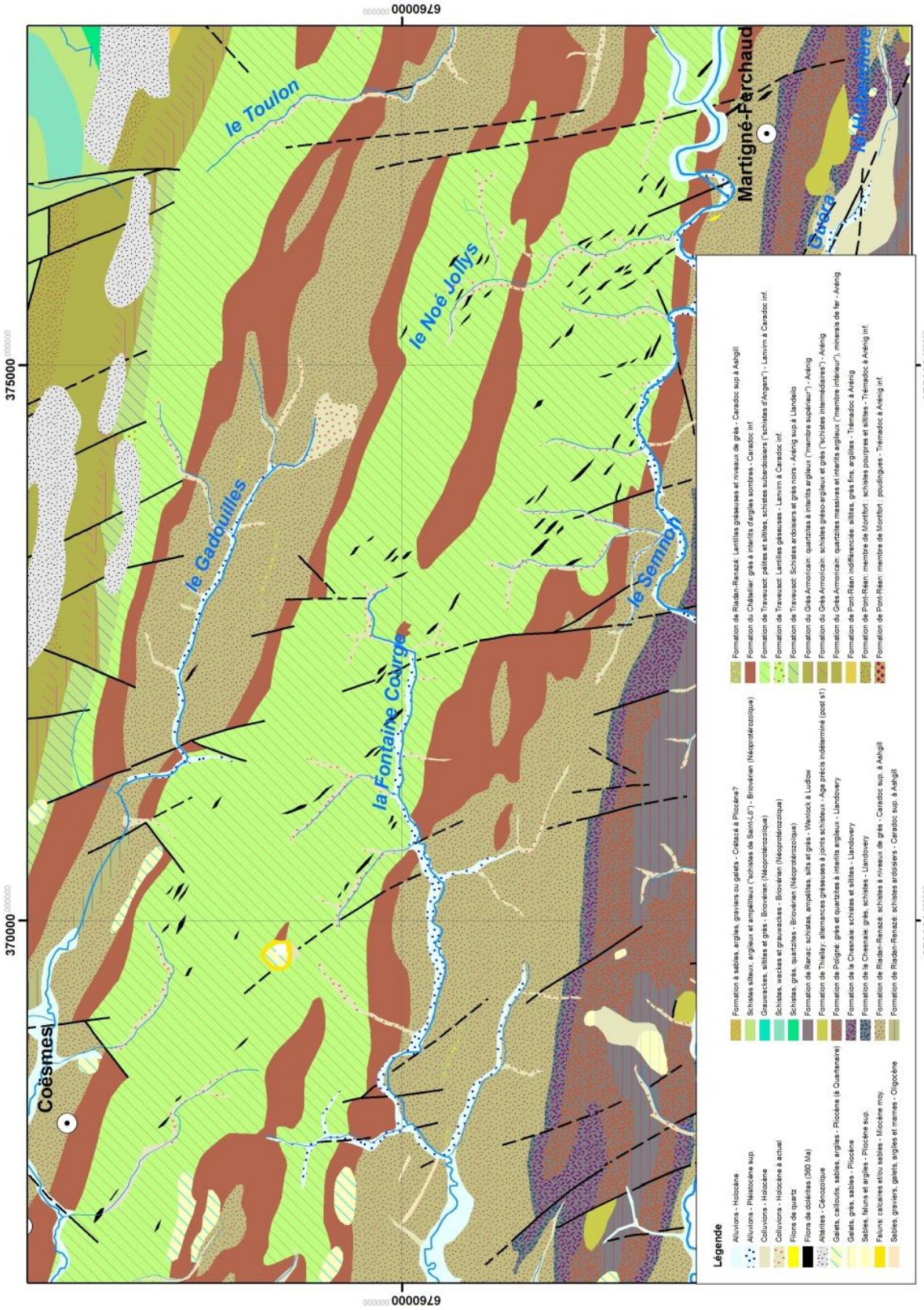


Figure 4 : Carte géologique du district du Semnon, modifié d'après la carte géologique de la France au 1/50 000, feuille de Châteaubriant (Herrouin et al., *1988). La minéralisation à antimoine-or est principalement localisée dans des dykes de dolérite (petits intrusifs en noir sur cette carte). Coordonnées projetées RGF Lambert 93, carroyage 5 km.*

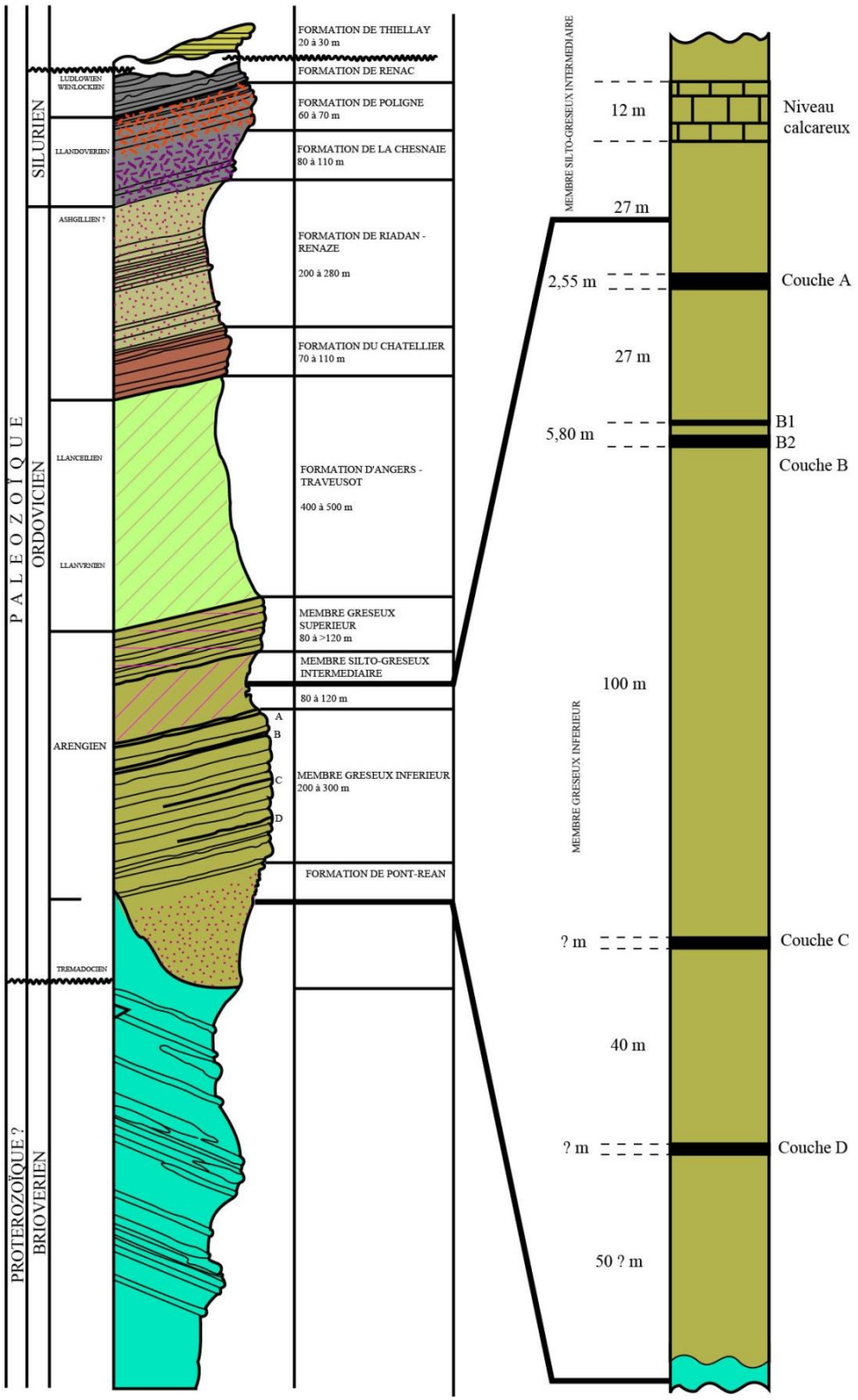


Figure 5 : Log stratigraphique des principales formations géologiques présentes dans le district du Semnon (légende figure 3) et détail de la stratigraphie des 4 couches de minerai de fer carbonaté présent dans le membre inférieur du grès armoricain. Modifié d'après Herrouin et al*. (1988) et Chauvel (1968).*

b) *Intrusifs*

Dans le district, les schistes de la formation d'Angers-Traveusot sont recoupés par un important champ de 3 x 17 km de dykes de dolérites d'orientation N140°E (Duplessix, 1920 ; Chauris *et al.,* 1985). Quelques rares dykes recoupent également les schistes sus-jacents de la formation de Riadan-Renazé. Ce champ de dolérites s'étend principalement entre les villes de Martigné-Ferchaud (au sud-est) et Coësmes (au nord-ouest). Ces dolérites ont une puissance de l'ordre de 10 cm jusqu'à 25 m pour une extension individuelle de 100 à 800 m (Chauris *et al.,* 1985). Les pendages sont généralement forts de 80 à 60° mais peuvent êtres faibles dans les plis (50 à 30°. Les épontes de ces dolérites montrent une schistosité verticale bien développée parallèle à la schistosité varisque régionale (Chauris *et al.,* 1985).

Les études récentes de Pochon *et al.* (2016a,b) indiquent que ces dolérites sont issues d'un magmatisme d'intra-plaque du type épanchement basaltique continental probablement indirectement lié à la subduction. En effet, la datation d'un dyke de dolérite du district à 363,3 ± 3,1 Ma (U-Pb sur apatite, Pochon *et al.,* 2016b), âge identique à d'autres champs de dolérite des domaines centre et nord-armoricains, montre que ce magmatisme basaltique est synchrone de la haute pression dans le domaine sud-armoricain (Ballèvre *et al.,* 2013; Gapais *et al.,* 2015).

c) *Plis et failles*

L'ensemble des formations et des dykes de dolérites intrusifs sont plissés et affectés par la schistosité associée au plissement et failles varisques. Le district est structuré par des plis droits d'axes N110°E et des failles fragiles dextre-normales N140 à N160°E qui recoupent et décalent les plis. La partie centrale du district correspond à un antiforme dont le cœur est constitué des schistes de la formation d'Angers-Traveusot injectés de dykes de dolérites. De part et d'autre de cet antiforme se localise deux synformes occupés par les schistes de la formation de Riadan-Renazé et/ou les schistes des formations du Silurien.

d) *Minéralisations*

Trois principaux types de minéralisations sont présentes dans le district du Semnon et/ou dans son environnement proche : i) des minéralisations stratiformes d'origine sédimentaires ; ii) des minéralisations discordantes (épigénétiques) du Dévonien au Carbonifère et iii) des minéralisations supergènes (Figure 3).

- **Minéralisations stratiformes d'origine sédimentaire**

La formation du grès armoricain d'âge Ordovicien inférieur contient de nombreux niveaux de grès à forte concentration de minéraux lourds (paléoplacers) à rutile, zircon, monazite (Faure 1978, 1979) avec des niveaux de puissance plurimétriques à teneurs[2] variables en Zr (0,2 à 12,9 %) et Ti (0,2 à 9,1 %). La finesse de la minéralisation (20-200 µm) et la dureté des grès quartzites font que ces paleoplacers n'ont jamais été exploités.

Cette formation du grès armoricain contient également quatre couches de minerai de fer carbonaté (sidérite-chlorite ± magnétite) localisées dans le membre inférieur du grès (Chauvel 1968, 1974, voir Figure 5). Ces couches de minerai de fer (~36 % Fe) ont été exploitées par le

[2] Fourchette de teneurs sur les indices de la carte de Châteaubriant (0389)

passé dans de très nombreuses zones (Figure 3), notamment sur la partie sud-ouest du district (environs de Soulvache à 15 km à l'ouest de Martigné-Ferchaud).

- **Minéralisations discordantes (épigénétiques) du dévonien au carbonifère**

La recherche sur les sources des placers à monazite à europium (Le Gras, Aron, Figure 3) ainsi que des travaux sur la minéralisation de Saint-Aubin-des-Châteaux ont permis de mettre en évidence des circulations de fluides polyphasées entre 410 et au minimum 310 Ma à travers la pile sédimentaire paléozoïque. Les circulations de fluides précoces permettent la formation à 384 ± 1,6 Ma (U/Pb sur monazite, Tuduri *et al.* 2014) de disséminations de monazites à europium (monazite de basse température ≤ 300 °C) dans les schistes de la formation d'Angers-Traveusot et l'apparition de différents phosphates (apatite, xénotime, prétulite, lulzacite, goyazite) dans le minerai de fer hydrothermalisé de Saint-Aubin-des-Châteaux entre 410 et 340 Ma (Gloaguen *et al.,* 2007; Tartèse *et al.,* 2015). Les circulations de fluides plus tardives, entre 340 et 300 Ma, sont à l'origine de minéralisations polyphasées à métaux-précieux (Au, Ag) et métaux de base-antimoine (Zn, Pb, Sb, Cu) piégées dans les minerais de fer carbonatés (ex : Saint-Aubin-des-Châteaux, Gloaguen *et al.,* 2007) ou sous la forme de veines dans des formations compétentes (grès, dolérites) comme dans le district du Semnon (Chauris *et al.,* 1985)

- **Minéralisations supergènes**

Les altérations supergènes au Tertiaire permettent localement la formation de cuirasses ferrugineuses, très développées sur les minerais de fer ordovicien. Certaines ont fait l'objet d'exploitation pour le fer, notamment à Rougé, où la teneur est de l'ordre de 51 % Fe.

2. Historique des travaux

2.1. ORIGINE DE LA DÉCOUVERTE

L'existence d'antimoine aurait été signalée à Martigné-Ferchaud dès 1835 (Broquin 1948) mais c'est A. Tricault en 1892 qui s'intéresse réellement au premier indice d'antimoine qu'il observe dans une carrière ouverte à partir de 1886 pour les besoins de construction du propriétaire du Moulin du Bas-Coudray (Duplessix, 1920). Cette carrière est ouverte dans le flanc abrupt du coteau au-dessus du moulin sur la rivière du Semnon (Duplessix, 1920 ; Serment, 1968). Les échantillons de stibine de A. Tricault sont identifiés par l'ingénieur L. Maudet alors directeur des mines de Pontpéan. Suite à cette découverte, une petite société de recherches est formée en 1892 et une demande de concession est déposée le 16 août 1892 par E. Picard, L. Maudet, A. Bossard et A. Tricault pour « *antimoine avec métaux connexes tels que plomb, zinc, cuivre, argent, or et pyrites* ». Une concession de 538 hectares, la « Concession des Mines du Semnon », est accordée par décret le 26 mai 1895 (Stouvenot, 1918). Un puits et des galeries, situées au lieu-dit La Liborière, furent commencés dès 1894 puis *a priori* vite arrêtés.

2.2. TRAVAUX SUR LA CONCESSION DU SEMNON : 1895-1918

De 1895 à 1909, seuls quelques travaux de recherches peu importants sont réalisés (essentiellement quelques tranchées de surface, puits courts et amorces de galeries) sur les dykes de dolérite appelés « filon de La Liborière » et très partiellement sur le « filon du Brossay » (Figure 6). Les travaux de recherches sont réorganisés de 1909 à 1913 pour permettre l'exploitation en fin 1913, puis de fin 1915 à septembre 1918 sur deux chantiers d'abattage entre les 4ème et 5ème niveaux (Figure 6). La production totale de la mine entre 1895 et 1918, compilée à partir des rapports disponibles du Service des mines de Nantes est seulement de **458 à 710 t Sb métal**[3] **et d'une dizaine de kilogrammes d'or** (Annexe 1). Le calcul de la teneur moyenne en antimoine du minerai en place, issu des chiffres de production du minerai remonté au jour les plus fiables en 1916 et 1917 (Stouvenot 1918 ; Broquin 1948) et de l'estimation du rapport minerai remonté / minerai abattu de 48 % (Stouvenot 1918), donne une **teneur moyenne du minerai en place au minimum de 1,3 % et au maximum de 1,9 % Sb métal entre les 4ème et 5ème niveaux**. La teneur en or du minerai en place est peu contrainte car les analyses historiques ne sont pas représentative, par exemple réalisées sur des concentrés d'arsénopyrite (ex : 200 g/t Au, Morancé 1912). Néanmoins la **teneur en or du minerai en place semble être entre 1 et 3 g/t Au** (Morancé 1912 ; Broquin 1948 ; Foglierini 1975). Une des seules teneurs en **argent** du minerai en place est de 20 g/t Ag (Morancé 1912).

La production de la mine est issue essentiellement des travaux de traçages sur 6 niveaux (-17 [1er], -29, -39, -51, -77, -100 m) et des dépilages entres les niveaux -51 et -77 m. La mine est fermée fin 1918, faute de capitaux suffisants (installation de traitement surdimensionnée), la ressource ayant été à peine exploitée. En 1922, la société concessionnaire, la Société Anonyme des Mines du Semnon, est mise en liquidation et une procédure de mise en déchéance est initiée en 1936 mais refusée en 1937 (Broquin 1948).

[3] Cette fourchette de production s'explique par les fourchettes de teneurs et de tonnages données dans les rapports du Service des Mines.

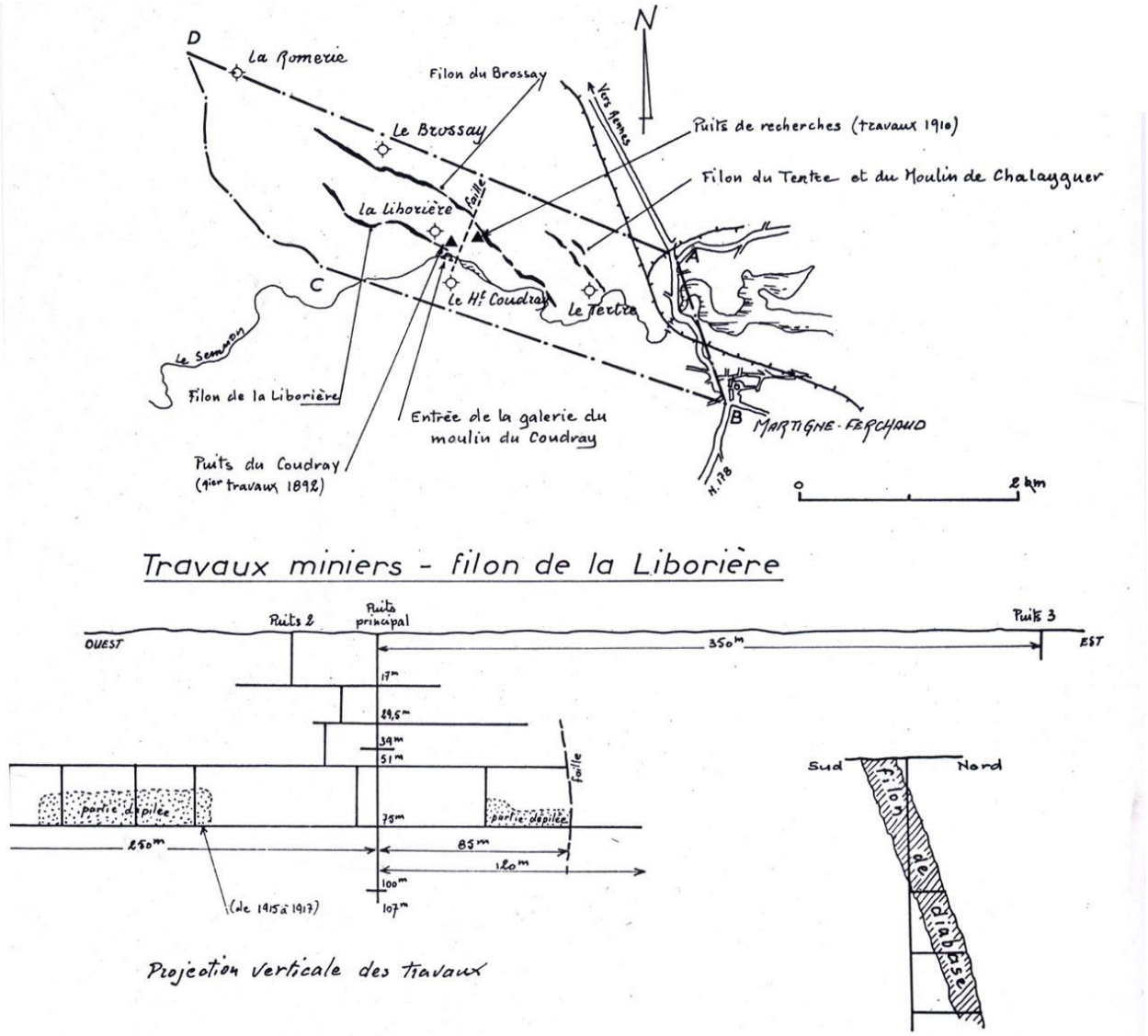


Figure 6 : Synthèse des travaux historiques (1895-1918) sur la concession du Semnon. D'après BRGM (1984).

2.3. TRAVAUX DE LA SOCIÉTÉ MINIÈRE ET MÉTALLURGIQUE DE PEÑARROYA (SMMP) : 1954-1981

Le 21 janvier 1954, la concession du Semnon est rachetée par la société Peñarroya et le décret de mutation de la concession est publié le 13 novembre 1954. Des levés géologiques et des prospections géochimiques (Roger 1970), des échantillonnages et des analyses (Michaud 1975, Annexe 2) sont réalisés de 1954 à 1981.

Le **potentiel des réserves est alors estimé à 5 000 t Sb et 2 t Au sur la seule structure de l'ancienne mine** (Tableau 1, Michaud 1975).

	Dimensions	Puissance	Pendage	Tonnage minerai	Teneurs	Métal contenu
Mesurées	L : 335 m H : 100 m	5 m	70 à 80°	36 0000 à 500 000 t	Sb : 1 % Au : 4 g/t	Sb : 5 000 t Au : 2 t

Tableau 1 : Estimation des réserves en 1975 sur la mine du Semnon (Michaud, 1975).

2.4. TRAVAUX DE L'INVENTAIRE : 1975-1979

Dans le cadre de l'Inventaire Minier National, le BRGM réalise une prospection stratégique et tactique sur le bassin du Semnon**. Les travaux de l'inventaire mettent en évidence neuf anomalies** : La Coëfferie, Les Touches, Les Noës, La Nouette, L'Orière, La Haye Vieillelette, Le Gris, Le Jaunay et Moussé, mises en évidence à partir de grilles de géochimie sol et de volantes de stibine. L'anomalie de La Coëfferie est étudiée en détail au moyen de tranchées, sondages percutants et un sondage carotté. Un faisceau de dolérites hydrothermaliées de 60 à 80 cm de puissance intrudant des schistes est mis en évidence. Ce faisceau contient plusieurs passages minéralisés sous la forme de veines de quartz à sulfures à antimoine et or (scheelite rare) dont **une passe métrique** (-61,5 à -62,5 m) **à 3 % Sb et 26,8 g/t Au** (Le Fur et de Solère, 1980). Ces résultats encourageants conduisent le Comité de l'Inventaire à proposer le sujet à la profession en 1980.

2.5. TRAVAUX DU SYNDICAT PEÑARROYA-BRGM : 1981-1987

Le 16 décembre 1981 un Permis Exclusif de Recherches (PER) est accordé à la SMMP pour 3 ans. La SMPP s'est associée au BRGM dans un syndicat pour entreprendre l'investigation du district du Semnon. La SMPP est gérant du syndicat de recherche 50/50 associant le BRGM à SMPP et le BRGM étant l'opérateur des travaux.

2.5.1. Première phase de travaux, 1982

La première phase de travaux (BRGM, 1982) commence en 1982 et permet la découverte de 2 nouveaux indices d'or (au sud de Sainte-Colombe à 1 km à l'ouest des Touches ; en aval du Bas-Gris) et 2 nouveaux indices d'antimoine en volantes (à l'ouest du Tertre et entre Le Petit-Buard et le Brossay). De la géochimie tactique est réalisée sur Les Touches ainsi que des tests méthodologiques sur La Coefferie. Ces tests permettent de confirmer que l'anomalie est bien circonscrite. La prospection tactique en géochimie sol Sb et un test multiélément + or sur le bedrock mettent en évidence la grande anomalie des Touches, une anomalie de 600 x 500 m, 4 à 5 fois plus grande que celle voisine de La Coëfferie. L'anomalie des Touches est alors reconnue par 5 tranchées qui mettent en évidence un réseau de veines de quartz de 1 à 20 cm de puissance situées aux épontes de dykes de dolérite ou dans les schistes hydrothermalisés entre ces dykes.

Sur le centre du district, des profils de reconnaissance en géochimie sol sur les indices Sb ou Au alluvionnaire sont réalisés sur Le Petit-Buard (Sb), Le Bas-Gris (Au) et l'ouest des Touches (Au) et une prospection tactique à la maille 50 x 50 autour d'une anomalie ponctuelle Sb à Sainte-Colombe.

Sur le sud-est (concession), 3 profils et des compléments (95 ech) sur Le Brossay ne font ressortir qu'une faible anomalie Sb (57 ppm max.), de même que sur Le Tertre (max. 16 ppm

Sb) testé par 2 profils (48 ech.) A l'inverse, 2 profils (20 ech.) réalisés à l'est et à l'ouest de l'ancienne mine (La Liborière) font apparaitre une nette anomalie.

2.5.2. Deuxième phase de travaux, 1983

Certaines zones du district montrant des volantes de dolérites ont été testées par géochimie sol à la maille 100 x 50 ou 50 x 50 m. Les prospects de la Chapelle-Notre-Dame, Le Matz, La Metterie, La Haye, La Toulaudière et Loisil ont été éliminés après des résultats négatifs. Inversement, les prospects du Chêne et de l'Hommelet ont donné des résultats positifs et ont amené à couvrir la zone intermédiaire au nord du Petit-Buard. L'ensemble fournit une anomalie de 350 x 150 m au-dessus de 100 ppm Sb.

Sur Les Touches, 3 sondages carottés sont réalisés : TCH-1 (161 m), TCH-2 (172 m) et TCH-3 (153 m). Les meilleures passes sont **2,75 m à 2,86 % Sb et 1,39 g/t Au** (TCH-1 de -66,55 à -69,30 m) et **0,90 m à 0,57 % Sb et 1,06 g/t Au** (TCH-2 de -135,9 à -139,8 m). Sur La Coëfferie, 3 sondages carottés sont réalisés. SEM-2 (120 m) implanté sur la bordure est de l'anomalie est négatif. Les teneurs sont faibles dans le SEM-3 (182 m) avec 2,8 m à 0,13 % Sb bien que ce sondage soit face au sondage SEM-1 bien minéralisé. Ceci illustre l'hétérogénéité de distribution des veines minéralisées.

2.5.3. Troisième phase de travaux, 1984

La prospection semi-tactique géochimique est poursuivie dans les secteurs du Brossay, Petit-Buard, Le Tertre et La Liborière ouest ainsi qu'un levé géophysique de résistivité VLF.

L'anomalie du Petit-Buard – Le Chêne, bien circonscrite et de bon niveau (> 200 ppm) s'étend sur 500 m en direction ouest-nord-ouest. Elle a été reconnue par 7 tranchées distantes de 80 à 150 m sur une extension de 300 m. Ces tranchées montrent des dykes de dolérite hydrothermalisés avec des veines de quartz à stibine de faible pendage principalement localisées aux épontes des dykes.

L'anomalie du Haut-Coudray est confirmée par deux tranchées distantes de 80 m qui montrent des dykes de dolérite recoupés par des veines de quartz à stibine à faible pendage. Les meilleurs résultats des analyses sur rainurages métriques sont 2,40 - 2,46 % Sb et 2,2 - 3,4 g/t Au. Cette anomalie a été testée par 5 sondages courts (66 à 81 m) espacés de 50 m. Ces sondages mettent en évidence un faisceau de dykes de dolérite de puissance métrique faiblement minéralisés à l'exception du sondage HCD-5 ou une passe de 0,9 m contient 0,56 % Sb et 0,59 g/t Au localisée dans un dyke de 6 m de puissance apparente.

La concession du Semnon fait l'objet d'une étude géologique détaillée (Marot, 1984) et l'aval-pendage du dyke de la mine du Semnon (La Liborière) est recoupé par deux sondages carottés LIB-1 (134,6 m) et LIB-2 (124,15 m), distants de 80 m. Le sondage LIB-2 est négatif alors que le sondage LIB-1 montre 8,45 m à 1,06 % Sb et 0,98 g/t Au.

Une réduction de surface est réalisée à partir du renouvellement du PER le 16 décembre 1984.

2.5.4. Quatrième phase de travaux, 1985

Il ne semble pas y avoir eu de travaux de terrain mais des travaux de laboratoire composés des tests minéralurgiques et du démarrage d'une étude économique.

2.5.5. Cinquième phase de travaux, 1986

Les tests minéralurgiques (essais de flottation) sur carottes de sondages ont montré que l'obtention d'un concentré marchand d'antimoine et d'un concentré de sulfures aurifères à teneur en or économique est possible avec le type de minerai traité. Le potentiel du district évalué d'après les travaux miniers est d'un tonnage de 600 000 t réparti sur 3 cibles (La Coëfferie, Les Touches, La Liborière) à teneur moyenne de 1,65 % Sb + 1,2 g/t Au dont 60 % serait composé de minerai plus riche à teneur minimale de 2,5 % Sb + 2,0 g/t Au sur une puissance exploitable de 3,5 m.

L'étude économique (Florant *et al.,* 1986) basée sur des unités d'exploitation de l'ordre de 2 à 300 000 t aboutit à la conclusion que les teneurs sont trop faibles, il faudrait 2,5 % Sb + 3,5 g/t Au et propose donc la recherche plus sélective de minerai riche.

Tenant compte de ces conclusions, une recherche sélective de minerai riche est réalisée en 1986 par 6 tranchées sur La Coëfferie et par 6 sondages destructifs sur Les Touches (Marot, 1987). Dans les 6 tranchées réalisées à La Coëfferie les 51 analyses effectuées pour or ne montrent qu'un maximum de 0,08 g/t. Dans les 6 sondages destructifs analysés pour or, les meilleurs résultats sont deux passes de 2,4 m à 0,235 et 0,120 g/t Au. Un test de géochimie sol pour or (31 ech.) sur une surface de 2,5 km² entre la Coëfferie et Les Touches à la recherche de zones anomales en or s'est également révélé négatif.

3. Données disponibles sur les prospects

3.1. VUE D'ENSEMBLE

Toutes les données ont été numérisées (Figure 7) à partir de documents exclusivement sous la forme de papier issus des archives de la division minière Vendée-Bretagne (projet CADI), de la bibliothèque du BRGM et de la Mission Centrale des Archives du BRGM. Si une part très importante des données a été recompilée et numérisée, certaines données sont absentes[4]. Le Tableau 2 ci-dessous inventorie les données connues et leur disponibilité. Les données ont été synthétisées en trois dimensions et sont fournies en annexe numérique sous la forme de fichiers de type shapefile (.shp) visualisables avec le logiciel gratuit ArcGIS Explorer Desktop[5].

Date	Type	Origine	Nombre	Format	Référence	Localisation
1970	Prospection alluvionnaire de la feuille de Châteaubriant	BRGM (anté-Inventaire)	Inconnu	Papier	De Solère 1980	Archives BRGM (ex archives division minière VB)
1974-75	Géochimie stratégique du bassin du Semnon à la maille 200 m	BRGM (anté-Inventaire)	1298	Papier	De Solère 1980	
1976	Géochimie tactique sol à la maille 50 x 50 m à La Coëfferie	BRGM	319	XY numérique et valeur Sb	De Solère 1980	
1978	Géochimie tactique sol par profils espacés 50 x 500 m	BRGM	90	XY numérique et valeur Sb	De Solère 1980	
1978	Géochimie tactique sol mailles 25 x 25 m et 25 x 50 m		571	XY numérique et valeur Sb	De Solère 1980	
1978	Tranchées	BRGM	2, 30 m cumulés	XY numérique, passes minéralisées	De Solère 1980	
1978	Sondages percutants	BRGM	812 m	XY numérique, passes minéralisées	De Solère 1980	

[4] De nombreuses données sur le district du Semnon sont probablement à rechercher dans les archives de la SMMP. Des résultats d'analyses, notamment sur des passes de sondages carottés, sont absents.

[5] En annexe numérique et téléchargeable sur internet à cette adresse : http://www.esri.com/software/arcgis/explorer-desktop

1978	Sondage carotté SEM-1	BRGM	120 m, 38 ech. analysés	XY numérique, passes minéralisées, reste en log papier	De Solère 1980	
1980	Géochimie tactique sol mailles 50 x 50 m et 50 x 100 m	BRGM	434	XY numérique et valeur Sb	De Solère 1980	
1982	Géochimie sol analyse Sb-Au	Syndicat	746	XY numérique et valeur Sb-Au	BRGM 1983	
1982	Géochimie multiéléments	Syndicat	124	Numérique, Au & Sb uniquement	BRGM 1983	
1982	Tranchées	Syndicat	528 m	XY numérique	BRGM 1983a,b	
1983	Sondages carottés TCH-1, 2, 3, SEM- 2, 3	Syndicat	788 m (175 analyses Sb-Au)	XY numérique, passes minéralisées, reste en log papier	BRGM 1983c	
1983	Géochimie sol Sb	Syndicat	489	XY numérique et valeur Sb	BRGM 1983c	
1983	Analyses Sb-Au de rainurages de tranchées	Syndicat	116	XY numérique et valeur Sb-Au	BRGM 1983c	
1984	Géochimie sol analyse Sb	Syndicat	532	XY numérique et valeur Sb	BRGM 1985 CR final plan métaux	
1984	Géochimie sol analyse Au	Syndicat	112	XY numérique et valeur Au	BRGM 1985 CR final plan métaux	
1984	Tranchées	Syndicat	419 m (95 analyses de rainurages tranchées) Total synd=1071 m	XY numérique, passes minéralisées	BRGM 1985 CR final plan métaux	
1984	Sondages carottés HCD-1 à 5 ; LIB-1 à 2	Syndicat	625 m	XY numérique, passes minéralisées, reste en log papier	BRGM 1985 CR final plan métaux	
1986	Sondages percutant	Syndicat	270 m	XY numérique, passes minéralisées	BRGM 1987 (87-DAM-018-OP4)	

	Sondages carottés	Syndicat	788 m	XY numérique, log papier		Archives BRGM (ex archives division minière VB)
1986	Tranchées	Syndicat	315 m	XY numérique, passes minéralisées	Marot (1987) ; BRGM 1987 (87-DAM-018-OP4)	
1986	Analyses Au	Syndicat	106	Papier	Marot (1987) ; BRGM (1987) (87-DAM-018-OP4)	Archives BRGM (ex archives division minière VB)

Tableau 2 : Synthèse des données de prospection stratégique et tactique sur le district du Semnon.

Les différents travaux ont mis en évidence deux principales zones minéralisées au sein du district. Au sud-est, la zone de La Liborière qui correspond à l'ancienne mine du Semnon et des satellites et au nord-ouest la zone de La Coëfferie et Les Touches qui correspond à une découverte Inventaire. Entre ces deux zones, différents indices ont été partiellement investigués au moyen de grilles de géochimie sol et localement de tranchées (Figure 7).

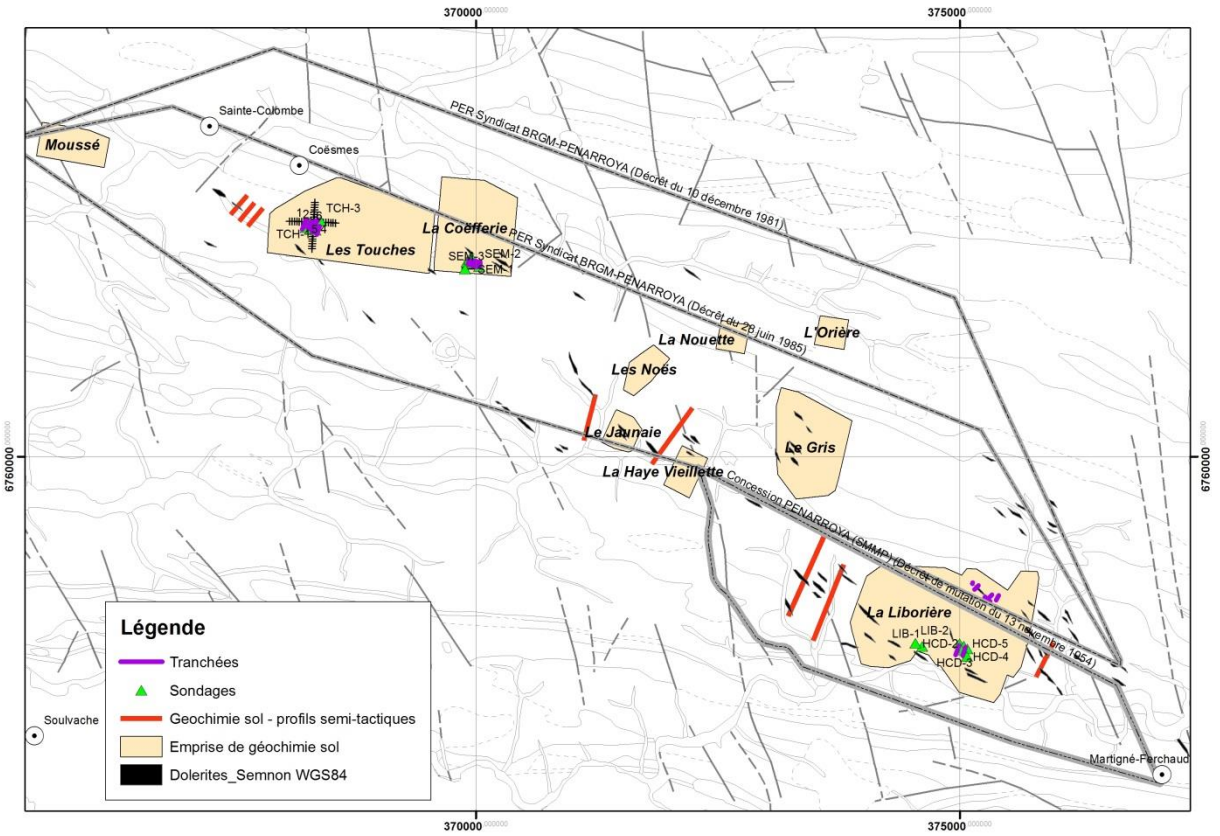


Figure 7 : Carte des travaux de prospection tactique (géochimie, tranchées, sondages) à l'échelle du district du Semnon. Seules les données des profils géochimique en rouge sont manquantes. Les contours géologiques en traits gris fins sont ceux de la figure 3.

3.2. LA LIBORIÉRE (MINE DU SEMNON), LE HAUT-COUDRAY, LE PETIT BUARD-LE CHÊNE

Cette partie sud-est du district a été entièrement couverte par des grilles de géochimie sol mettant en évidence 3 principales zones anomales avec des valeurs bien groupées de 100 à plus de 1 000 ppm Sb (Figure 8) :

i) l'anomalie de la Liborière qui marque la structure minéralisée déjà connue de la mine du Semnon ;

ii) l'anomalie du Haut-Coudray et

iii) l'anomalie du Petit Buard-Le Chêne.

On note une nette relation spatiale entre les anomalies antimoine et les dykes de dolérite, même si cette relation n'est pas toujours systématique.

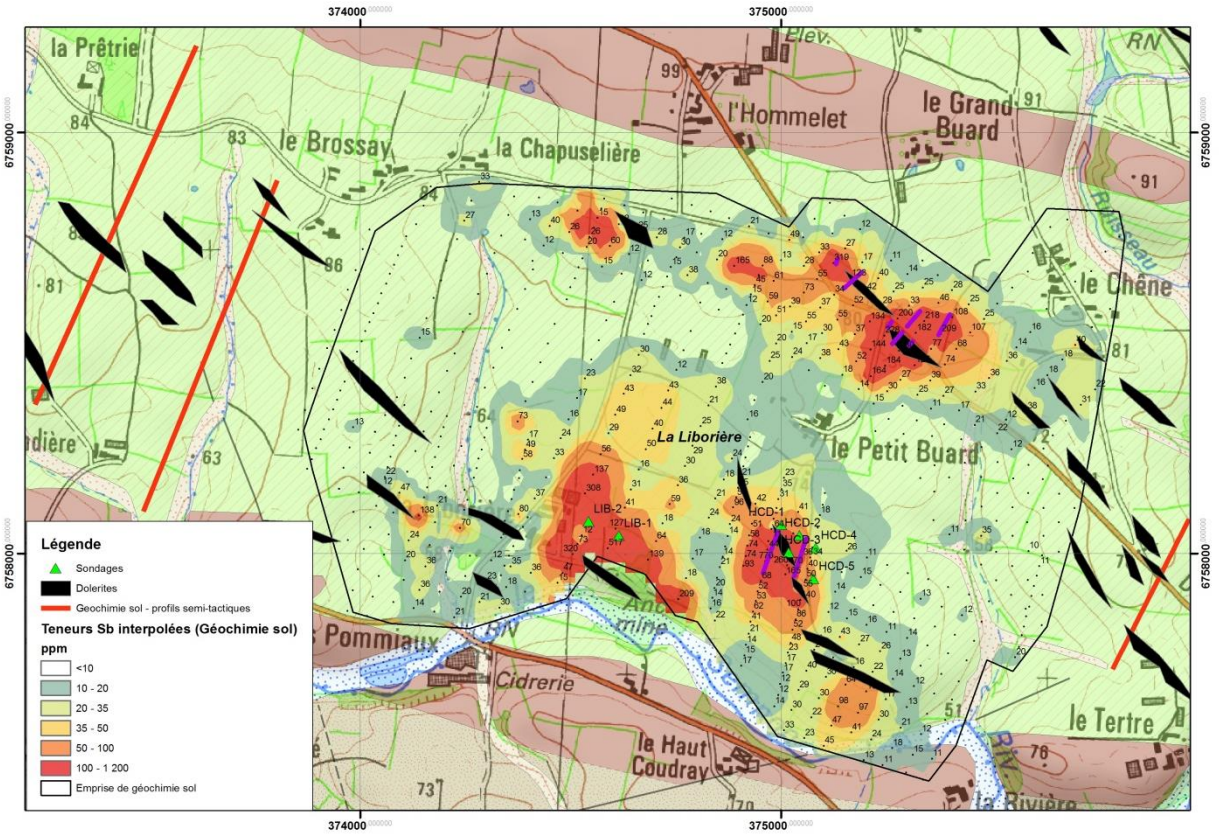


Figure 8 : Synthèse des prospections tactiques sur les prospects de La Liborière, Le Haut-Coudray et le Petit-Buard/Le Chêne. Contours géologiques (vert : Schistes Fm d'Angers-Traveusot, marron : grès du Chatellier, noir : dykes de dolérite) superposés au fond géographique IGN au 1/25 000. Les chiffres indiquent la teneur Sb en ppm lorsque elle est supérieur à 10 ppm. En niveaux de couleurs, l'interpolation par inverse distance (8 voisins) des teneurs en antimoine.

3.2.1. La Liborière (mine du Semnon)

La Liborière est le lieu-dit où se situe la mine historique du Semnon. Il s'agit de la structure la mieux connue du district. La mine est implantée dans un dyke de dolérite d'orientation N130°E et de pendage 70° nord dont la puissance est de 8 à 12 m pour une extension minimale de 350 m (Figure 9). La profondeur minimale d'enracinement du dyke est de 96 m où son mur a été recoupé par deux sondages carottés (LIB-1 & LIB-2, Figure 14). Les épontes du dyke sont schistosées et l'ensemble dolérite et schistes au contact est

hydrothermalisé et localement silicifié. Cette hydrothermalisme ce marque localement par la croissance d'arsénopyrite et pyrite automorphe de 1 à 10 mm de puissance en disséminations dans les épontes de schistes et dans la dolérite. La dolérite est recoupée par un stockwerk de veines à quartz-carbonates de quelques milimètres à 80 cm de puissance irrégulièrement réparties dans le dyke (Chauris *et al.,* 1985; Serment, 1968, Figure 11). Ces veines sont de deux types, soit des fentes de tension d'orientation soit des veines de cisaillement dans le niveau -17 m (Figure 10). D'après Marot (1984) les veines minéralisées et non minéralisées présentent 2 familles d'orientation : N90 à N135°E de pendage 0 à 30° SW nettement dominante et N65 à N85°E de pendage 70 à 90° NW. est-ouest à pendage 40-60° (Figure 10).

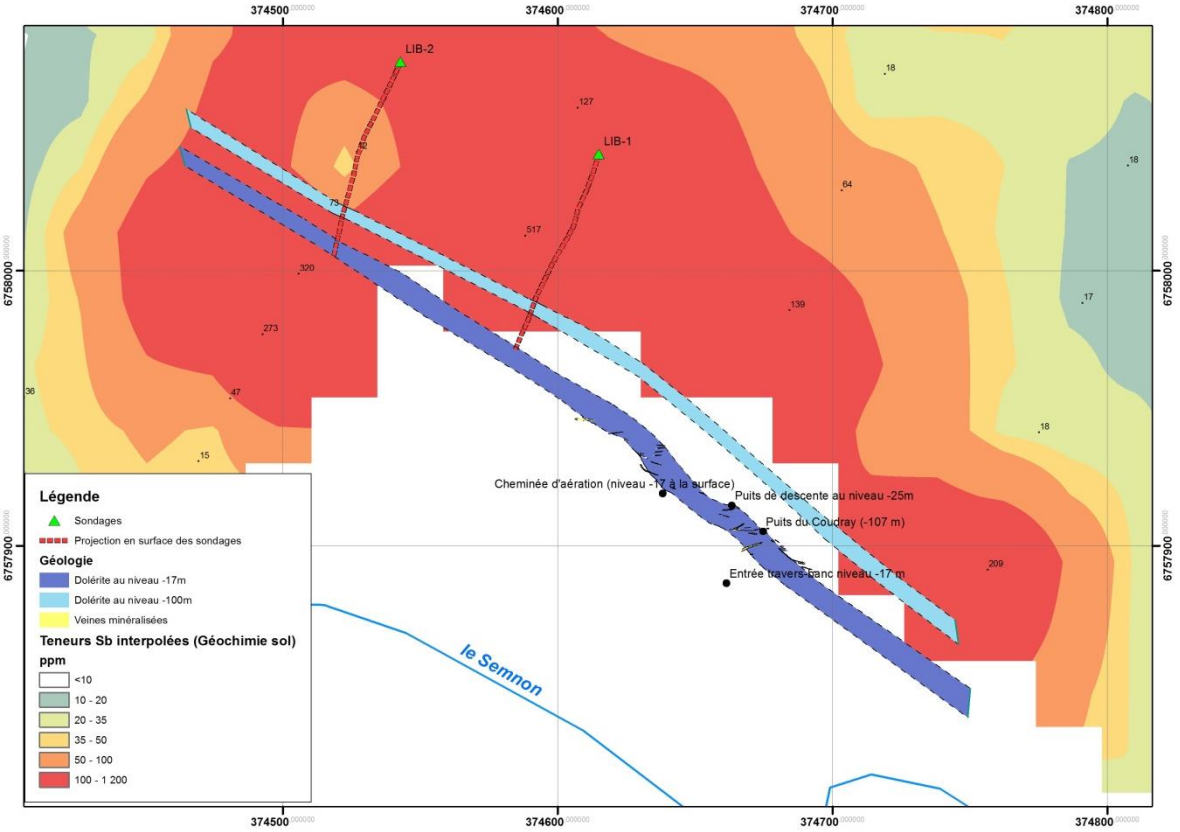


Figure 9 : Contours géologiques du dyke de dolérite de la mine du Semnon aux niveaux -17 et -100 m superposés à l'anomalie antimoine en géochimie sol (les points d'analyse et les valeurs sont indiquées en noir). Les sondages LIB-1 et LIB-2 à pendage 54° sud-ouest ont intercepté le dyke de dolérite recoupé de veines minéralisées au niveau -100 m. Les terminaisons nord-ouest et sud-est du dyke ne sont pas connues. Carroyage 100 m.

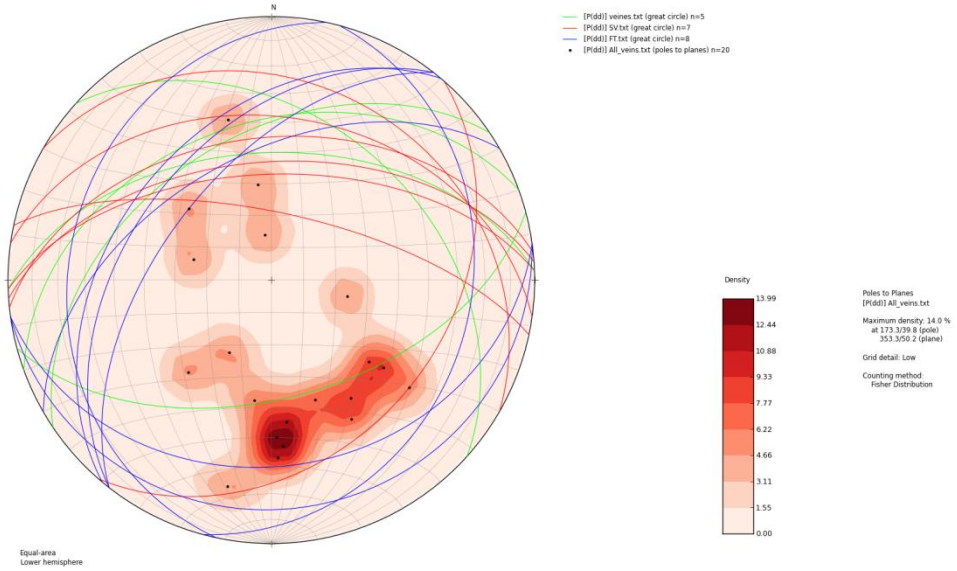


Figure 10 : Stéréogramme de quelques mesures de veines dans le niveau -17 m de la mine du Semnon. Bleu = fentes de tension ; rouge = veines de cisaillement ; vert = veines indifférenciées. Isocontours de l'ensemble des poles des veines.

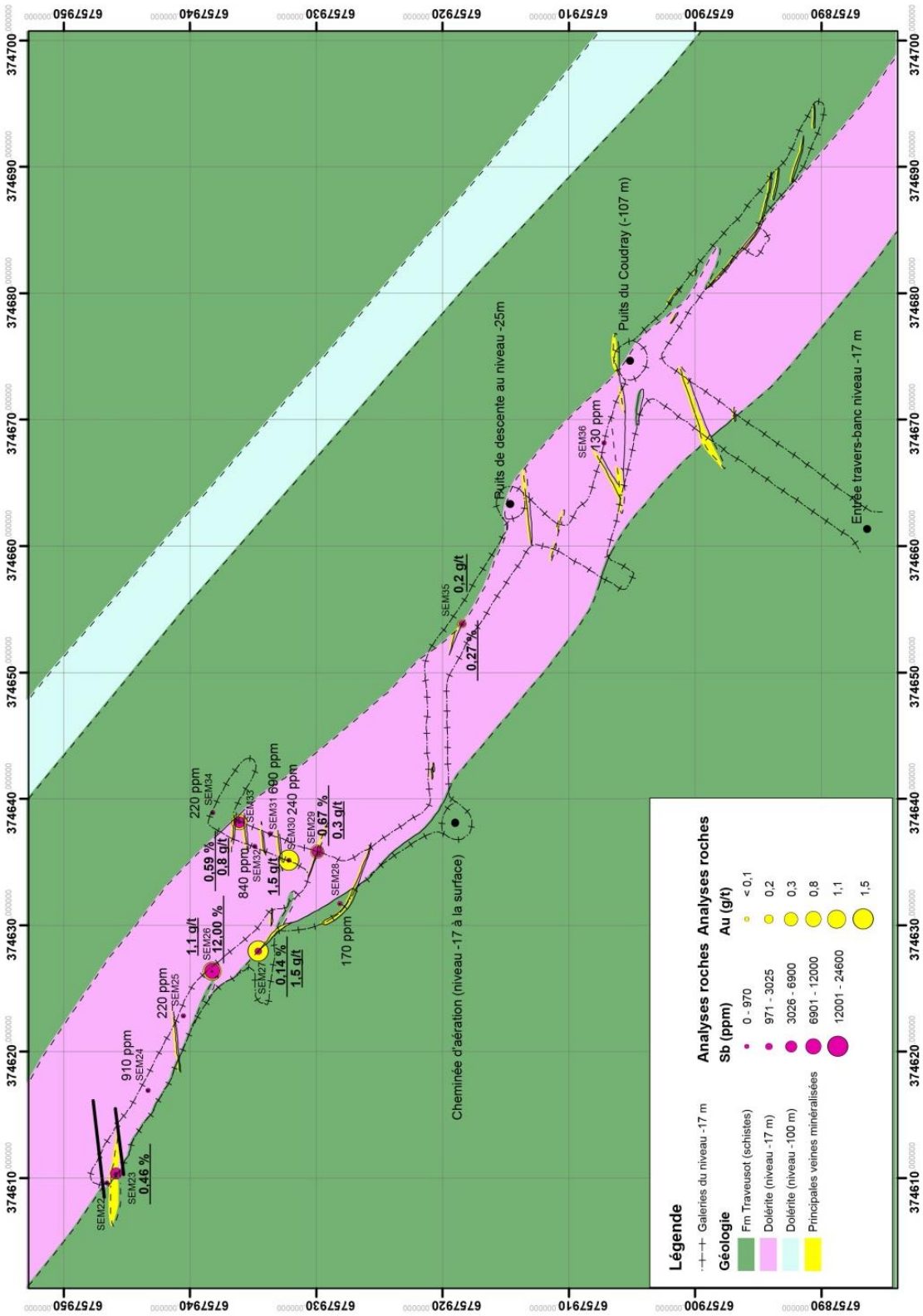


Figure 11 : Carte géologique du niveau -17 m de la mine du Semnon, modifié d'après Marot (1984). Seules les veines principales sur le tracé des galeries sont figurées. Localisation à 5 m près (sauf SEM28 à SEM34 à 10 m près) et teneur en antimoine et or des échantillons de divers faciès (Michaud, 1975, Annexe 2). Carroyage 10 m.

La minéralisation (Chauris *et al.,* 1985) en antimoine se trouve principalement dans les veines de quartz-carbonates (calcite-ankérite). L'antimoine se trouve **sous forme de berthiérite $FeSb_2S_4$, de stibine Sb_2S_3** et de rares inclusions de sulfosels (chalcostibite $CuSbS_2$, bournonite, $PbCuSbS_3$, ullmannite NiSbS,) et d'antimoine natif. Parfois l'antimoine peut se trouver sous la forme de veines de stibine massive ou de disséminations dans des fractures. Ces veines se localisent préférentiellement dans le dyke de dolérite (contrôle rhéologique) où elles forment un stockwerk irrégulier (Figure 13).

L'or se trouve sous deux formes sans que la proportion des deux formes ne soit connue :

i) **dans le réseau de l'arsénopyrite**, il s'agit donc d'arsénopyrite aurifère. Un cristal zoné a été analysé à la microsonde électronique le long d'une traverse du cristal (25 points d'analyse). Ces analyses confirment la présence d'or dans l'arsénopyrite : max. 1600 ppm, 6 points d'analyses sont supérieurs au seuil de détection de 800 ppm (Annexe 3). Une moyenne de 200 ppm d'or a été déterminée dans un concentré de 42,8 kg d'arsénopyrite du Semnon par le chimiste Morancé en 1912. Cette arsénopyrite se localise de préférence au contact entre les schistes et la dolérite hydrothermalisée mais également en quantité moindre dans les veines de quartz ;

ii) **sous la forme d'or natif** *a priori* préférentiellement dans les veines. Il s'agit d'**aurostibite $AuSb_2$** en traces dans la stibine (Chauris *et al.,* 1985) et la présence d'or natif en paillettes et pépites a été historiquement signalée aux 3ème, 4ème et 5ème niveaux de la mine (Foglierini, 1975). La présence d'argent étant signalée avec l'or dans le rapport d'essai de traitement des minerais du Semnon de Morancé (1912), il est fort probable qu'il existe également de l'or natif sous la forme d'électrum $Au_{1-x}Ag_x$ dans la paragenèse du Semnon, mais ce point reste à confirmer.

Les deux sondages, LIB-1 (Figure 12) et LIB-2 (Annexe électronique), distants de 80 m et inclinés à 54° sud ont été implantés pour reconnaitre au niveau -100 m l'aval pendage et l'extension ouest de l'ancienne exploitation du niveau -70 m. Ils ont recoupé la dolérite sur 11 et 12 m respectivement avec la présence de veines minéralisées analogues à celles observées au niveau -17m. Le sondage LIB-1 donne un très bon résultat (Figure 12) **: 8,45 m à 1,06 % Sb + 0,98 g/t Au** (-110,70 à -119,15 m, BRGM 1985b). Au sein des 8,45 m, 3 passes de plus d'un mètre sont riches : **1,4 m à 2,42 % Sb + 1,06 g/t Au; 1,59 m à 2 % Sb + 1,54 g/t Au et 1,35 m à 1,77 % Sb + 3,23 g/t Au**. Dans le sondage LIB-2 la minéralisation est représentée surtout par l'arsénopyrite qui est relativement abondante (BRGM 1985b). Les résultats des passes analysées ne sont pas connus. Néanmoins, d'après BRGM (1985b), la teneur maximale en antimoine serait de 0,03 % et sans teneur économique en or. Ceci est cohérent avec les analyses de différentes roches (dolérites avec sans sulfures, veines) de la SMMP (Michaud 1975, Annexe 2) et illustre la grande variabilité des teneurs liée aux fortes variations de densité de veines minéralisées dans le dyke de dolérite.

À partir des données historiques d'exploitation (Annexe 1) et du sondage LIB-1, une colonne de ressources démontrées de 30 x 60 x 6 m, soit 30 000 t (à une densité estimée de 2,8), a été définie entre les 4ème et 5ème niveaux. La **teneur du minerai global a été estimée à 1,6 % Sb et 1,2 g/t Au**. L'extrapolation de cette colonne de 60 m de hauteur sur 300 m a conduit Florant et al. (1986) à proposer **un potentiel minimal de 5 000 t Sb métal et 376 kg Au** contenu dans 300 000 t de minerai sur la structure de La Liborière. Un calcul utilisant les mêmes teneurs et une géométrie plus proche des données géologiques disponibles, soit une longueur de 350 m, une hauteur de 150 m et une puissance de la dolérite de 8 m conduit **à un potentiel de l'ordre de 19 500 t Sb métal et 1,46 t Au**. (Tableau 3).

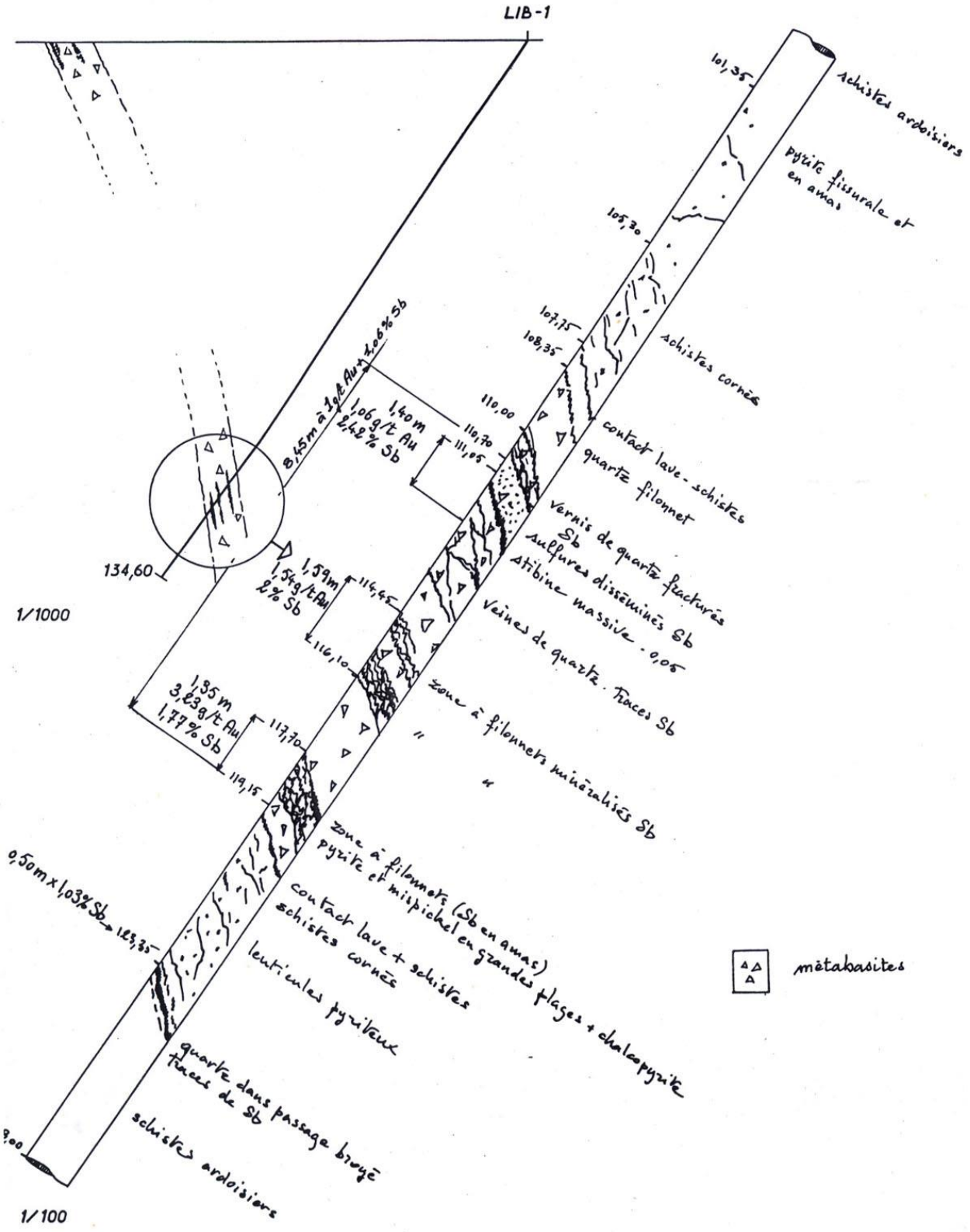


Figure 12 : Sondage LIB-1, Implantation sur une coupe nord-sud (nord à droite), détail de la géologie et teneurs sur la partie minéralisée qui correspond pour l'essentiel à la dolérite recoupée par des veines de quartz (BRGM, 1985).

Fentes de tension sub horizontales recoupées par une veine de cisaillement

Fentes de tension minéralisées (stibine, quartz et calcite) recoupant la dolérite hydrothermalisée

Détail de la fente de tension horizontale

Veine de cisaillement

Veines de cisaillement minéralisées, à faible pendage

Stibine massive recoupant les schistes hydrothermalisés à arsénopyrite, au contact du dyke de dolérite

Figure 13 : Photographies dans le niveau -17 m de la mine du Semnon montrant l'état des galeries, la géologie et les minéralisations en 2005, avant la mise en sécurité de la galerie. Clichés E. Gloaguen.

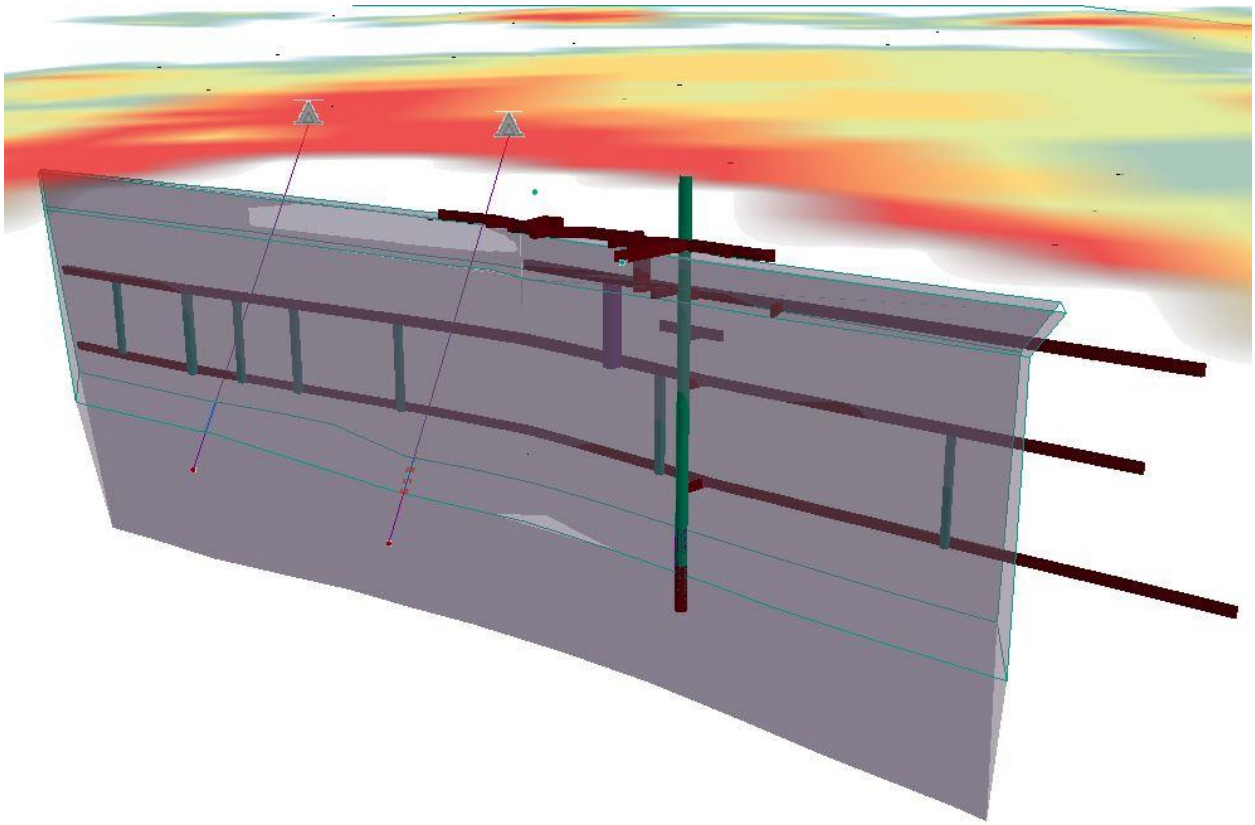


Figure 14 : Vue 3D en direction du nord-ouest du filon de dolérite de la Liborière. L'aval-pendage a été recoupé par les sondages LIB-1 et LIB-2, seul LIB-1 montre de bonnes teneurs (les passes minéralisées sont figurées en rouge). En niveau de couleur surface topographique avec anomalie antimoine interpolée.

Longueur (m)	Hauteur (m)	Puissance (m)	Densité	Tonnage	Teneur Sb (%)	Teneur Au (g/t)	Sb métal (t)	Au métal (t)
300	60	6	2,9	313200	1,6	1,2	5011,2	0,3758
350	150	8	2,9	1218000	1,6	1,2	19488	1,4616

Tableau 3 : Estimation du potentiel métallique de la structure de La Liborière, d'après les données de Florant et al. *(1986)*

3.2.2. Le Haut-Coudray

L'anomalie géochimique en antimoine du Haut Coudray (Figure 15) est de bon niveau avec 300 m d'extension et des maxima en sol > 700 ppm Sb. Cette anomalie a un enracinement confirmé par 2 tranchées distantes de 80 m qui ont recoupé des dolérites avec des veines de quartz subplates et de la stibine assez fréquente. **Les meilleurs résultats des rainurages sont : Sb 2,40 - 2,46 % et Au 2,20 à 3,40 g/t** (BRGM, 1985b). L'anomalie a été testée par 5 sondages courts (66 à 81 m) inclinés à 45° sud, espacés de 50 m et dont deux (HCD-2 et 3) sont en doublet sur la même ligne. Les sondages mettent en évidence un faisceau de dykes de dolérite de puissance métrique faiblement minéralisé. Le sondage HCD-5 implanté à l'extrémité sud-est de l'anomalie a toutefois recoupé, sur 6 m, une dolérite qui contient une minéralisation localisée dans des veines et fractures bien exprimées sur 3 m de puissance. Sur ces 3 m, **la meilleure passe est de 0,9 m (-52,8 à -53,7 m) à 0,56 % Sb et 0,59 g/t Au**. D'après BRGM (1985b), cette structure se poursuivrait sur plus de 300 m vers l'est-sud-est en étant soulignée par des anomalies géochimiques discontinues.

3.2.3. Le Petit Buard - Le Chêne

L'anomalie géochimique en antimoine dans le sol du Petit-Buard (Le Chêne) a une extension de 500 m x 300 m et des maxima en sol supérieurs à 200 ppm Sb. Cette anomalie a été reconnue en surface par 7 tranchées distantes de 80 à 150 m sur une extension de 300 m. Les tranchées montrent un faisceau de dolérites très hydrothermalisées recoupées par des veines minéralisées à faible pendage. Les rainurages montrent que la minéralisation se localise préférentiellement au contact dolérite/schiste (teneur max = 0,98 % Sb). Il n'y a pas eu de sondage réalisé sur cette cible du fait des faibles teneurs mesurées dans les rainurages (Figure 16)

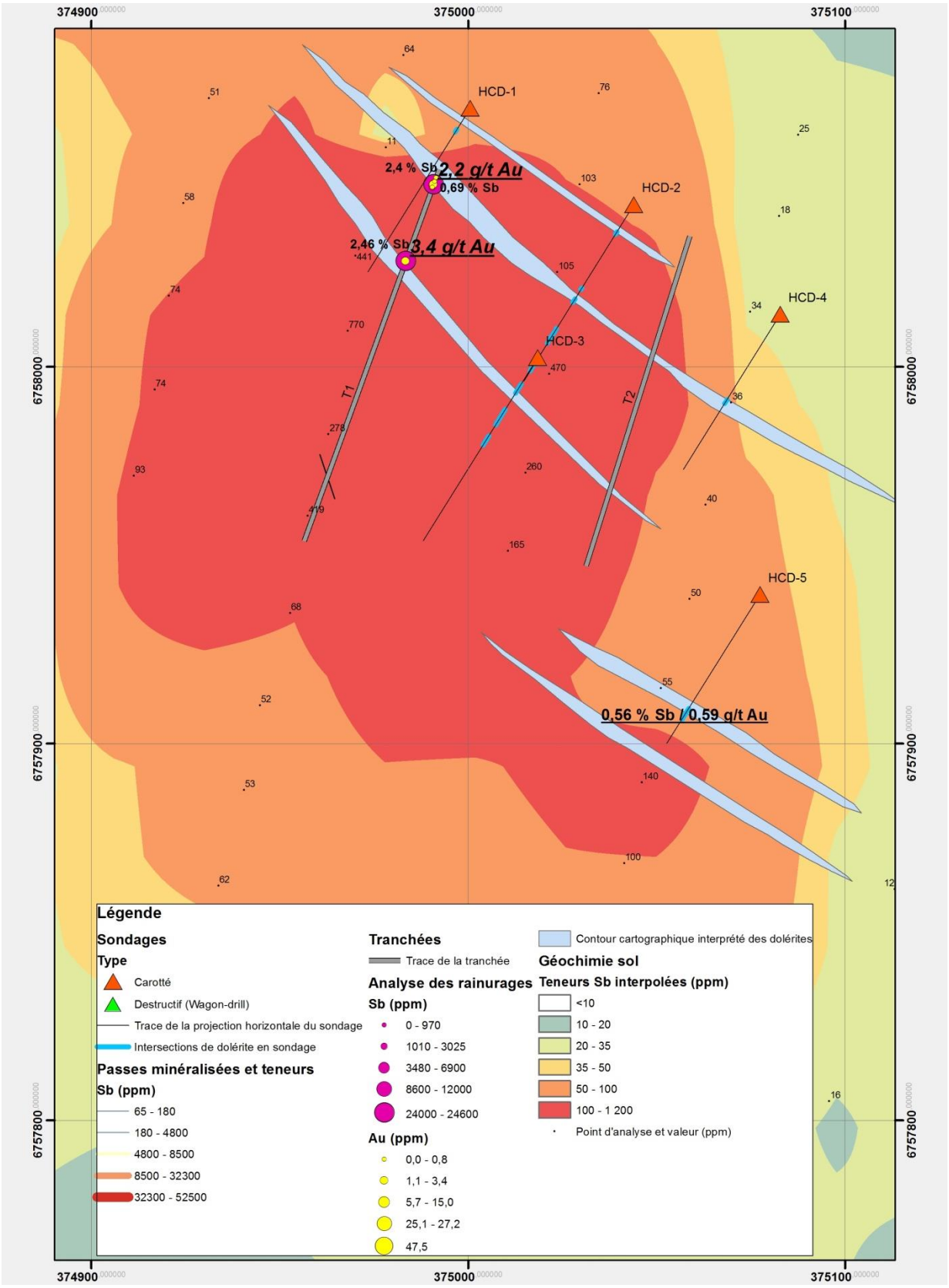


Figure 15 : Synthèse des données sur l'anomalie du Haut-Coudray (géochimie sol, tranchées, sondages et analyses Au, Sb de rainurages et passes). Seules les valeurs les plus importantes des passes ou des rainurages sont indiquées. Carroyage 100 m.

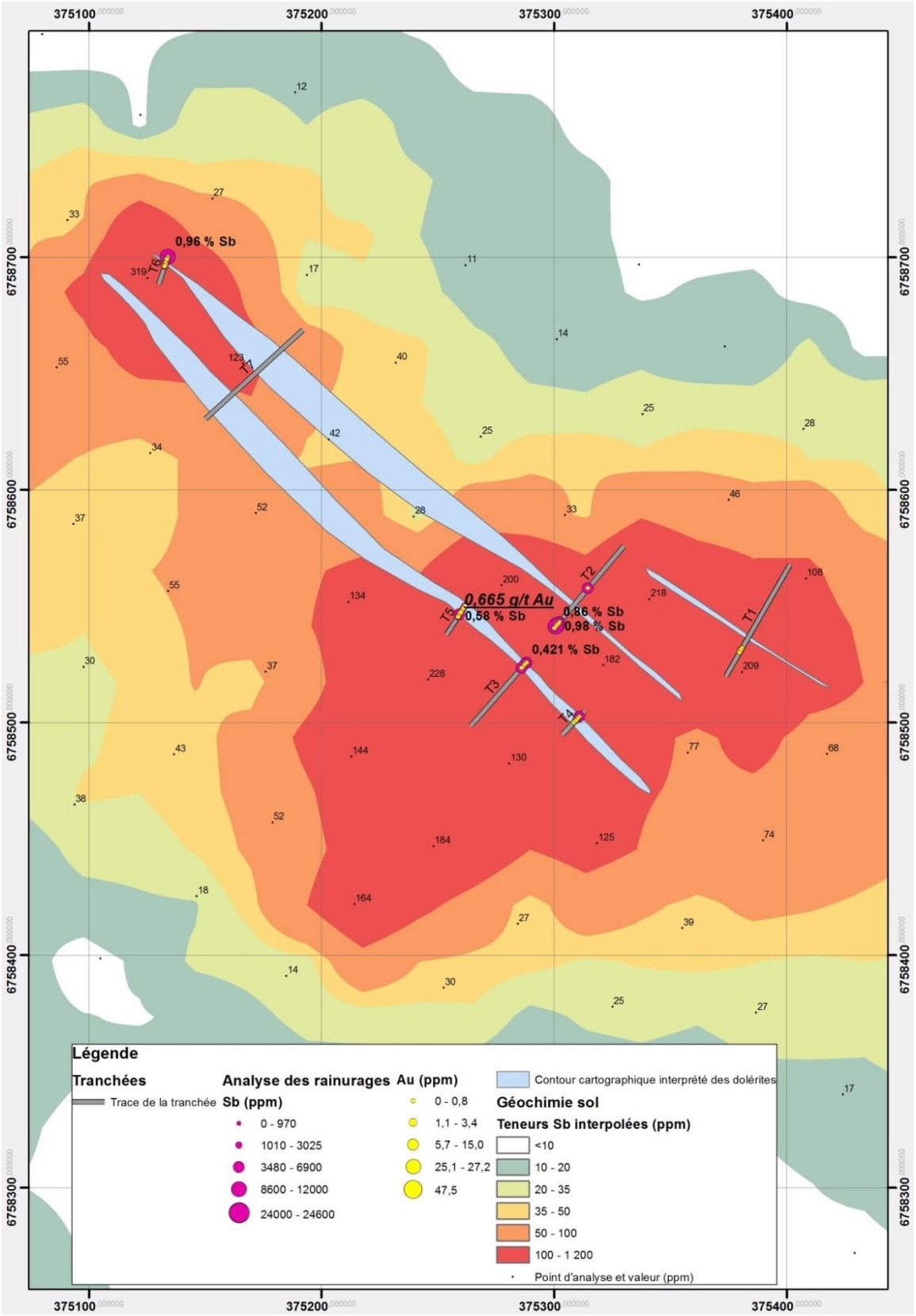


Figure 16 : Synthèse des données (géochimie sol, tranchées, analyses Au, Sb de rainurages) sur l'anomalie du Petit-Buard - Le Chêne. Seules les valeurs les plus importantes des rainurages sont indiquées. Carroyage 100 m.

3.3. LA COËFFERIE, LES TOUCHES

Cette partie nord-ouest du district a été entièrement couverte par des grilles de géochimie sol (Figure 17) mettant en évidence 2 principales zones anomales avec des valeurs bien groupées de 100 à plus de 1 000 ppm Sb : i) l'anomalie de La Coëfferie (Les Tournelières) qui est la découverte principale de la campagne Inventaire (Le Fur et de Solère, 1980) et ii) l'anomalie des Touches, nettement plus vaste. On note toujours une nette relation spatiale entre les anomalies antimoine et les dykes de dolérite, même si cette relation n'est pas toujours systématique.

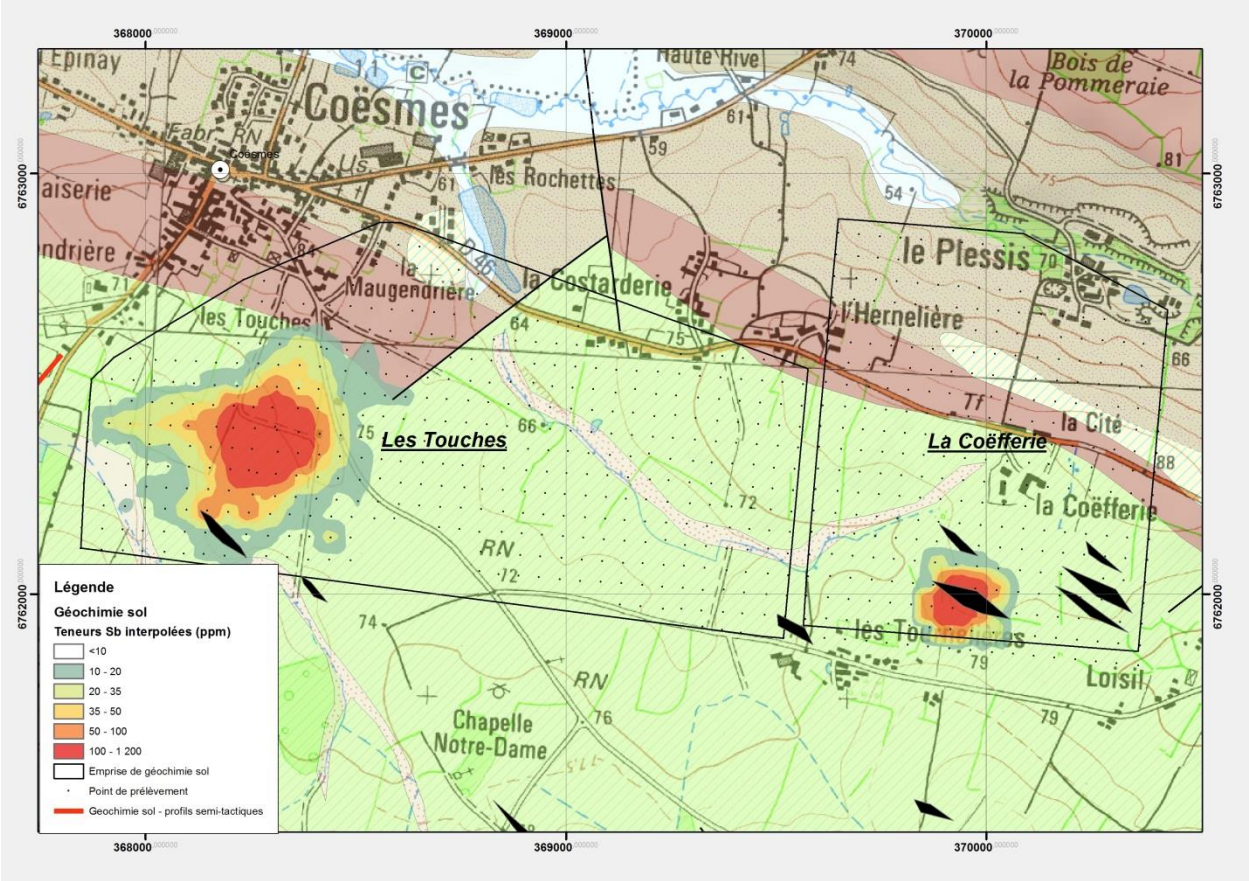


Figure 17 : Localisation des anomalies géochimie sol en antimoine de La Coëfferie et des Touches situées au nord-ouest du district sur le fond géologique (légende figures précédentes) et le fond géographique IGN au 1/25 000.

3.3.1. Les Touches

L'anomalie géochimie sol en antimoine des Touches (Figure 18) est relativement importante avec une zone > 100 ppm Sb de 200 x 200 m. On note que seule la moitié nord de cette anomalie a été investiguée par 8 tranchées, 3 sondages carottés et 6 sondages destructifs. Par ailleurs le rôle et l'effet de l'importante faille N50°E qui passe au niveau de l'anomalie (Figure 17) n'a pas été pris en considération. Une partie de l'anomalie pourrait être en profondeur du fait d'un jeu cartographique en faille normale de cette faille N50°E. L'enracinement de l'anomalie est confirmé par la présence d'un faisceau relativement dense de dykes de dolérite hydrothermalisés, aux épontes desquels se localise en général les veines de quartz minéralisées. Cependant, de nombreuses passes minéralisées correspondant à des veines de quartz sont également localisées dans les schistes entre les dykes, ce qui revient à considérer

une minéralisation aléatoirement disséminée - c'est-à-dire un stockwerk - au minimum dans un bloc de 100 x 40 x 60 m (Figure 19), soit, un **tonnage minimal de 11 484 t Sb et 835 kg Au** (Tableau 4) en gardant à l'esprit que la moitié de la surface de l'anomalie n'a pas été investiguée.

	Dimensions	Puissance	Pendage	Tonnage minerai	Teneurs	Métal contenu
Estimation BRGM (1985b)	Non précisé	Non précisé	Non précisé	1 000 000 t	Sb : 1 % Au : 1 à 2 g/t	Sb : 10 000 t Au : 1 à 2 t
Estimation BRGM (1987) 87-DAM-018-OP4	Non précisé	Non précisé	Non précisé	200 000 t	Sb : 1,65 % Au : 1,2 g/t	Sb : 3300 t Au : 0,24 t
Mesurées	L : 100 m H : 60 m	40 m	80 à 90°	696 000 t (densité 2,9 d'après Florant *et al.,* 1986)	Sb : 1,65 % Au : 1,2 g/t	Sb : 11484 t Au : 0,835 t

Tableau 4 : Estimations de tonnage, teneur et métal contenu dans l'anomalie des Touches.

L'étude métallographique réalisée sur 5 sections polies du sondage TCH-2 (Picot, 1983) met en avant la présence de veines quartzo-carbonatée (dolomite) contenant principalement de la berthiérite $FeSb_2S_4$, de la stibine Sb_2S_3 avec fréquemment de l'antimoine natif ainsi que de la pyrite FeS_2 et de l'arsénopyrite FeAsS automorphe. La chalcopyrite $CuFeS_2$ et la pyrrhotite $Fe_{1-x}S$ est présente mais rare. Dans les dolérites hydrothermalisées la minéralisation se trouve également avec le carbonate en remplissage de vacuoles disséminées. La pyrite également présente dans les vacuoles est accompagnée d'ullmannite NiSbS. Dans le carbonate sont localement observées de la sphalérite ZnS et de la zinkénite $Pb_9Sb_{22}S_{42}$.

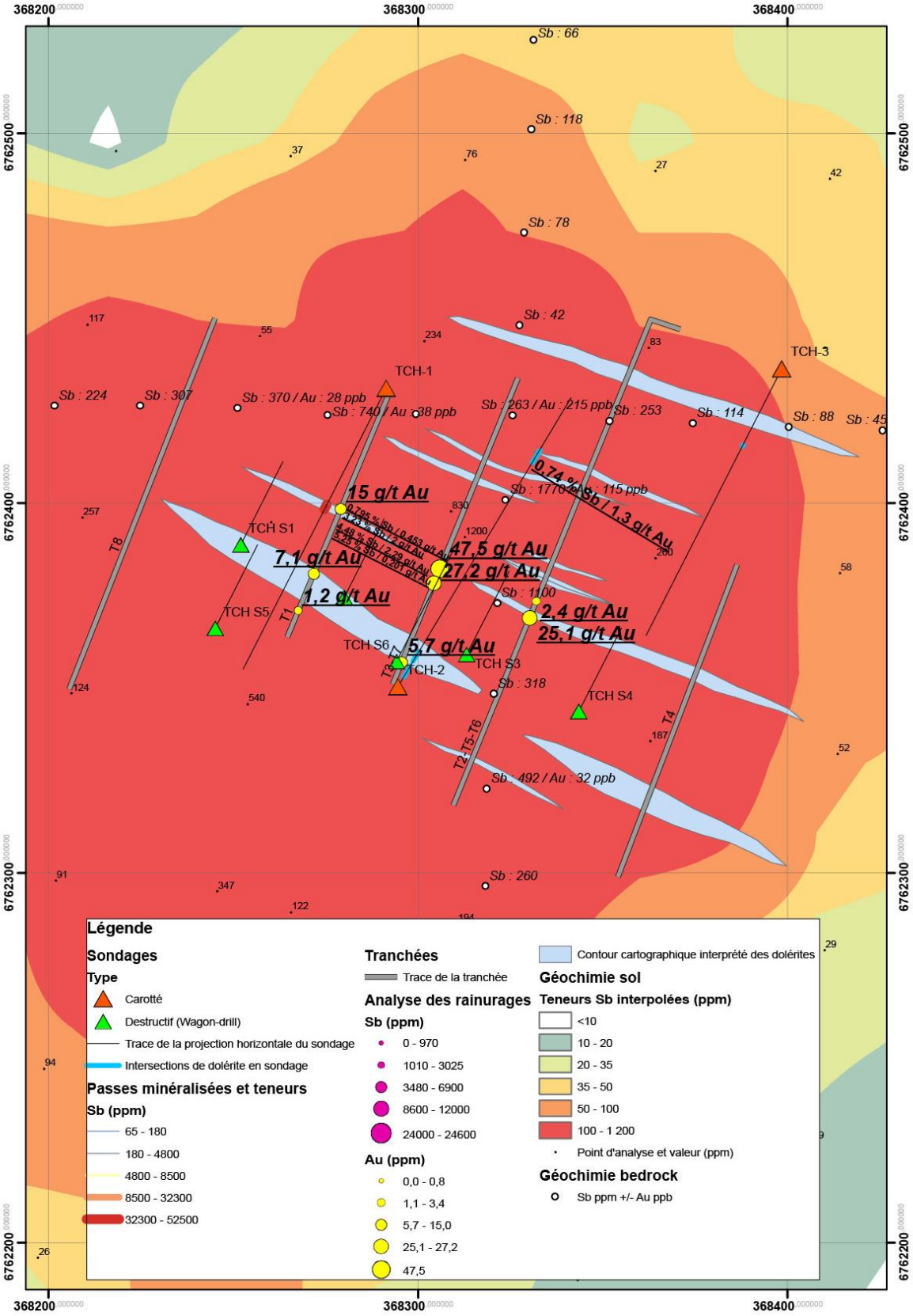


Figure 18 : Synthèse des données (géochimie sol, bedrock, tranchées, sondages carottés et destructifs, analyses Au, Sb de rainurages et de passes) sur l'anomalie des Touches.
Seules les valeurs les plus importantes des rainurages sont indiquées. Carroyage 100 m.

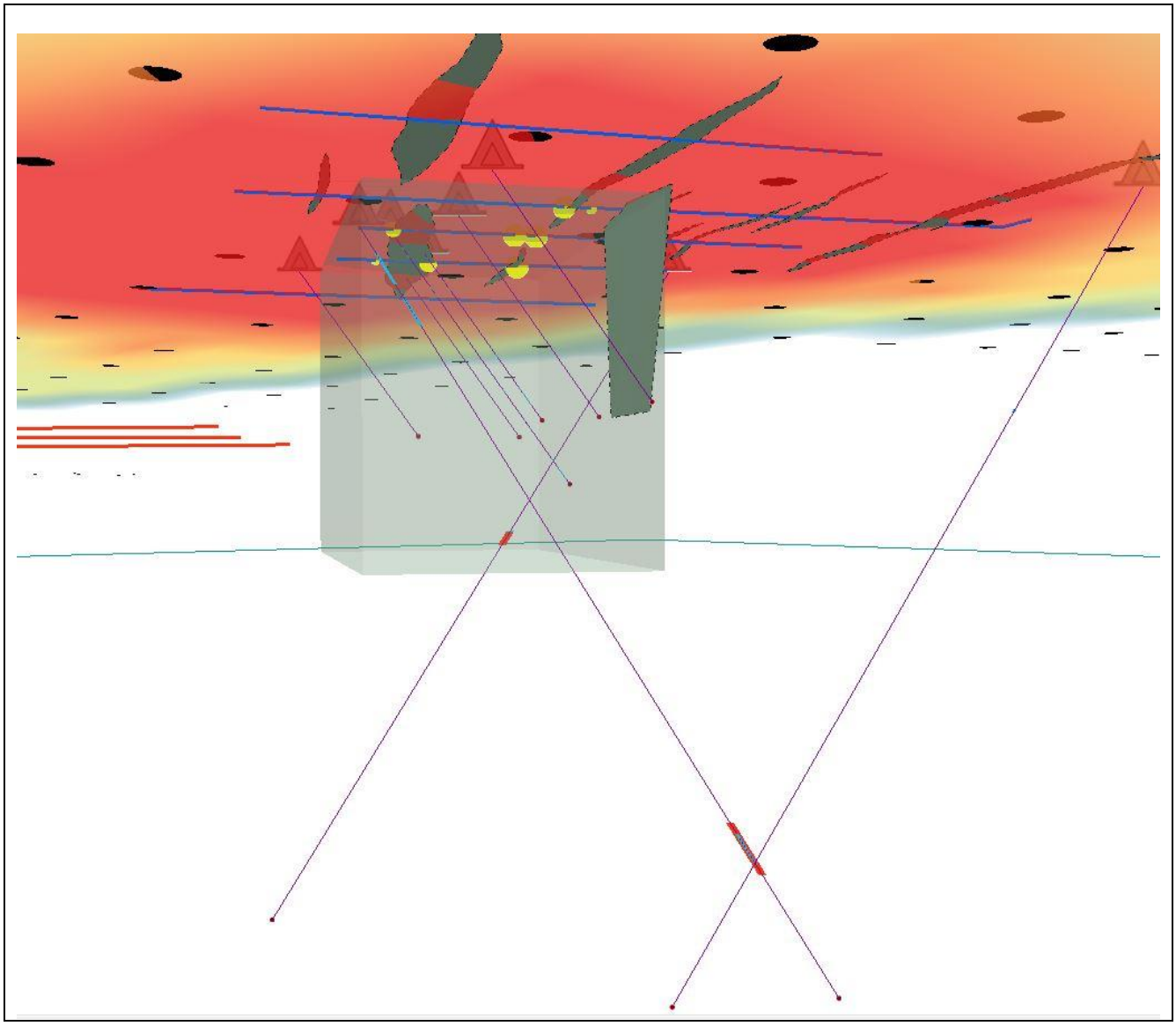


Figure 19 : Vue du dessous en direction du nord-ouest de l'anomalie des Touches. Les passes minéralisées sont représentées en rouge sur les sondages carottés longs. La couleur bleue marque les dolérites recoupées par les sondages. En surface, les ronds jaunes marquent les fortes teneurs or issues des rainurages de tranchées superposées à l'interpolation de l'anomalie antimoine en géochimie sol. Les contours sombres en surface sont les dykes de dolérite issus de l'interpolation des intersections des tranchées. Un seul dyke (pour des raisons de lisibilité) est interpolé en 3D de façon à montrer l'attitude du faisceau. Le parallélépipède a une base de 100 x 40 m et une hauteur de 60 m.

3.3.2. La Coëfferie (Les Tournelières)

L'anomalie géochimie sol en antimoine de La Coëfferie (Figure 20) est relativement plus petite avec une zone > 100 ppm Sb de 100 x 100 m. Cette anomalie a été investiguée par 8 tranchées, 3 sondages carottés longs et 22 sondages destructifs courts. L'enracinement de l'anomalie est confirmé, encore par la présence d'un faisceau relativement dense de dykes de dolérite hydrothermalisés, aux épontes desquels, se localise en général les veines de quartz minéralisées. Au regard des données synthétisées dans la carte de la Figure 20, l'implantation du sondage carotté SEM-2 et des tranchées T7 et T8 sur la bordure externe de l'anomalie n'est pas favorable. Ils se sont d'ailleurs traduits par des résultats négatifs. Les analyses montrent des résultats très variables depuis des passes très minéralisées à des passes stériles mais ici, la synthèse et la représentation des données sous forme 3D (Figure 21) montre bien une minéralisation aléatoirement distribuée mais à condition que la densité de sondage soit suffisamment élevée ce qui semble ici être le cas. Cette distribution investiguée par sondages et tranchées permet de **considérer au minimum un bloc minéralisé de 50 x 50 x 120 m soit un minimum de 14 355 t Sb et 1,044 Au** (Tableau 5), en gardant à l'esprit qu'une bonne partie sud de l'anomalie n'est pas investiguée, voir Figure 20.

	Dimensions	Puissance	Pendage	Tonnage minerai	Teneurs	Métal contenu
Estimation BRGM (1985b)	Non précisé	Non précisé	Non précisé	1 000 000 t	Sb : 1 % Au : 1 à 2 g/t	Sb : 10 000 t Au : 1 à 2 t
Estimation BRGM (1987) 87-DAM-018-OP4	Non précisé	Non précisé	Non précisé	200 000 t	Sb : 1,65 % Au : 1,2 g/t	Sb : 3300 t Au : 0,24 t
Mesurées	L : 50 m H : 120 m	50 m	80 à 90°	870 000 t (densité 2,9 d'après Florant *et al.,* 1986)	Sb : 1,65 % Au : 1,2 g/t	Sb : 14355 t Au : 1,044 t

Tableau 5 : Estimations de tonnage, teneur et métal contenu dans l'anomalie de la Coëfferie.

L'étude métallographique réalisée sur 5 sections polies du sondage SEM-1 (Picot, 1980) met en avant la présence de veines quartzo-carbonatée (dolomite) contenant principalement de la berthiérite $FeSb_2S_4$, en voie de remplacement par de la stibine Sb_2S_3 avec fréquemment de l'antimoine natif ainsi que de la pyrite FeS_2. L'or natif (forme non précisée) est observé assez fréquemment en association avec la stibine (Figure 22) et très rarement dans des fractures recoupant la berthiérite. La chalcopyrite $CuFeS_2$, la chalcostibite $CuSbS_2$ et la pyrrhotite $Fe_{1-x}S$ sont présentes mais rares. Plusieurs sulfosels sont observés dans le carbonate : semseyite $Pb_9Sb_8S_{21}$, boulangérite $Pb_5Sb_4S_{11}$, bournonite $PbCuSbS_3$ et tétrahédrite $(Cu,Fe,Ag,Zn)_{12}Sb_4S_{13}$.

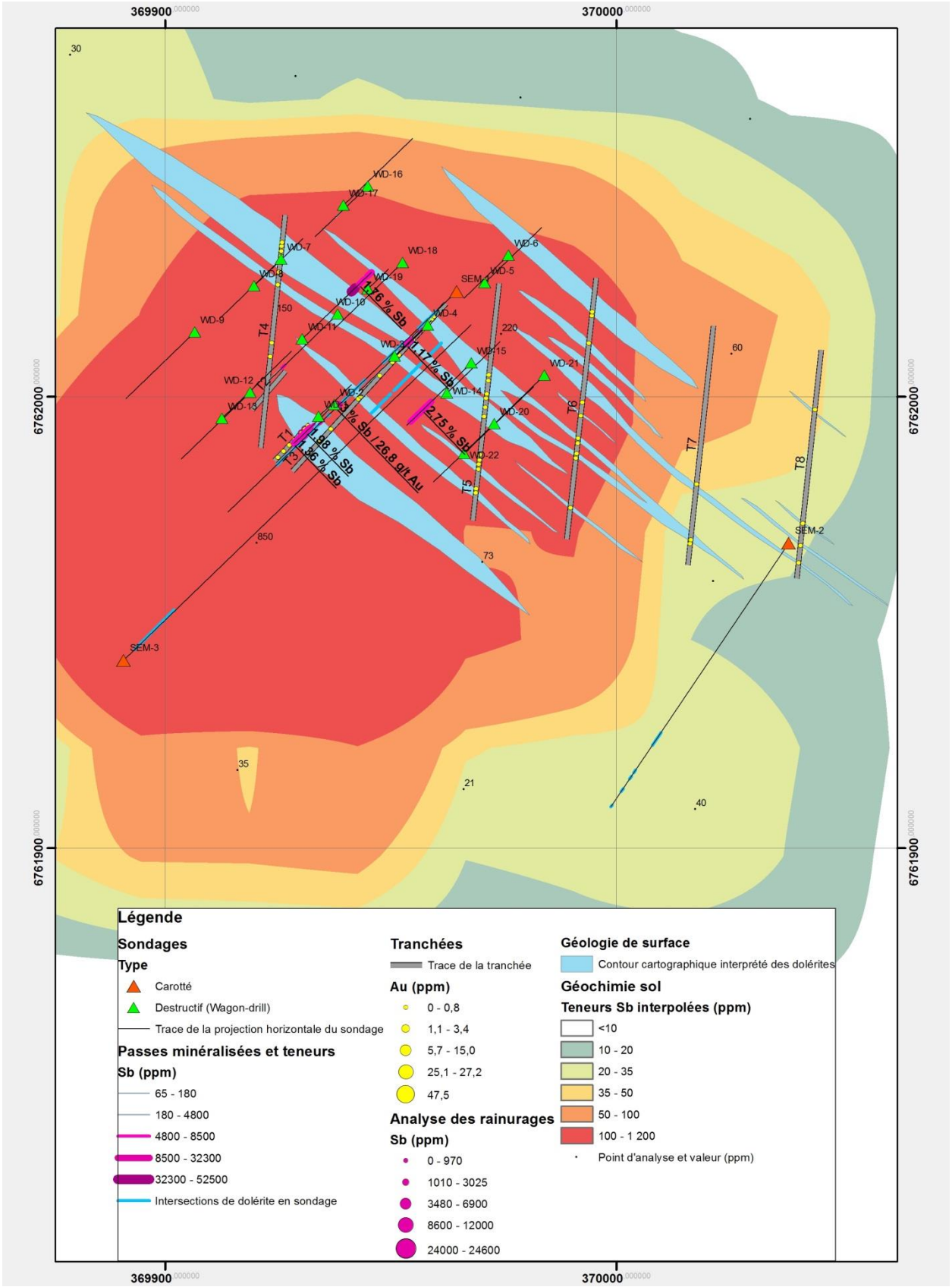


Figure 20 : Synthèse des données (géochimie sol, tranchées, sondages destructifs et carottés, résultats d'analyses Sb et/ou Au sur rainurages et passes) de l'anomalie de La Coëfferie.

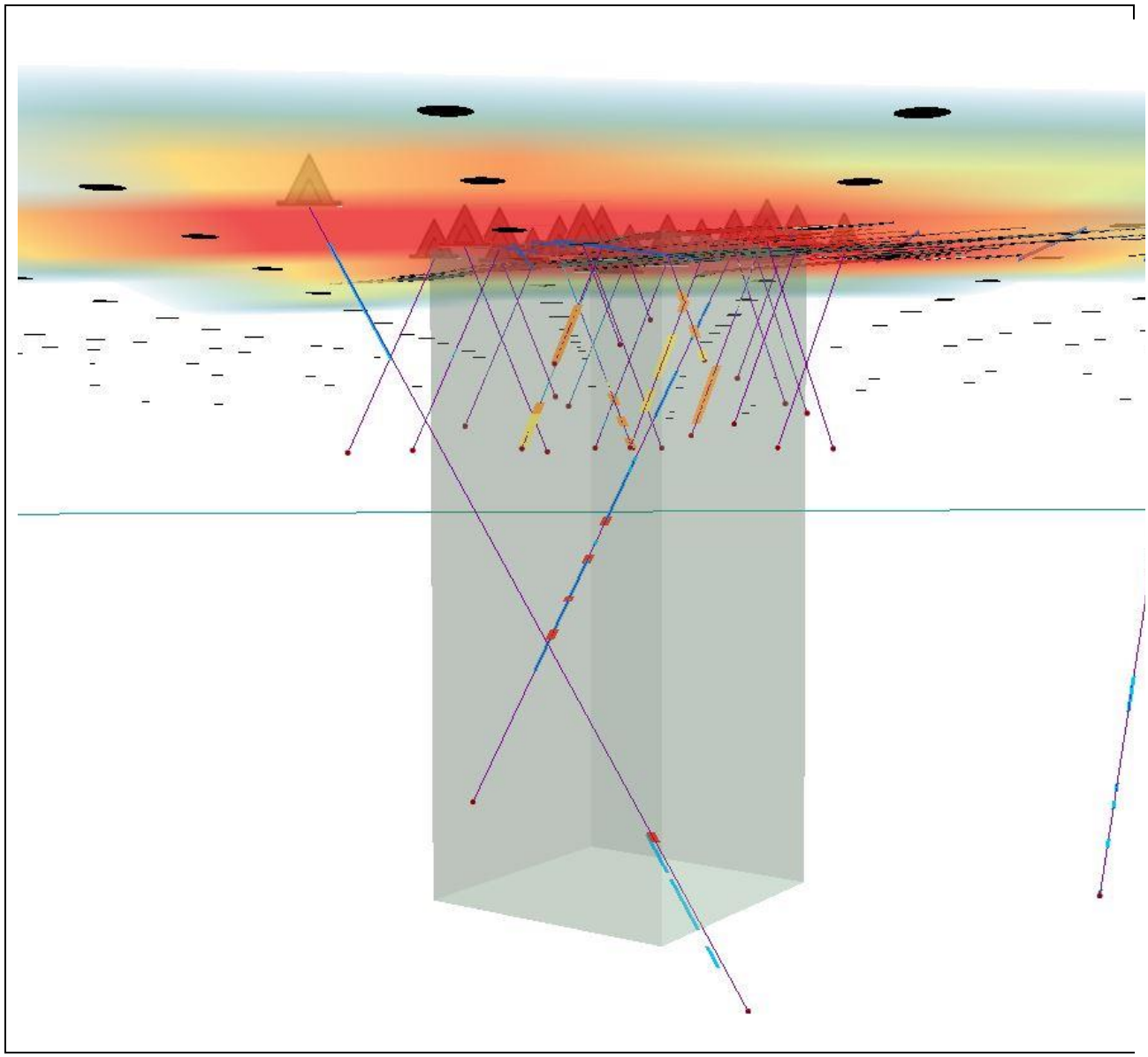
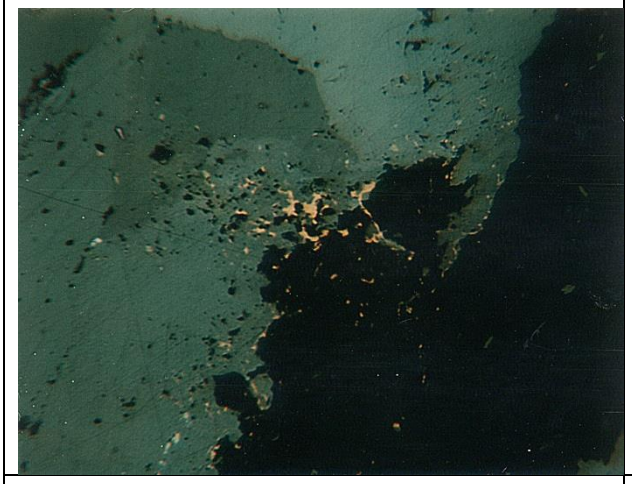


Figure 21 : Vue du dessous en direction du nord de l'anomalie de La Coëfferie. Les passes minéralisées sont représentées en orange et jaune sur les sondages destructifs courts et en rouge sur les sondages carottés longs. La couleur bleue marque les dolérites recoupées par les sondages.
En surface, interpolation de l'anomalie antimoine en géochimie sol.
Le parallélépipède a une base de 50 x 50 m et une hauteur de 120 m.

Sont observées également, sphalérite ZnS et galène PbS. Dans les dolérites hydrothermalisées la minéralisation se trouve également avec le carbonate en remplissage de vacuoles disséminées. La pyrite également présente dans les vacuoles est accompagnée d'ullmannite NiSbS (Figure 22). Dans le carbonate sont localement observées de la sphalérite ZnS et de la zinkénite $Pb_9Sb_{22}S_{42}$. Une veine très différente, recoupant la dolérite, a été observée : elle montre une zonation avec une bordure à pyrite et quartz et un cœur à galène, chalcopyrite, sulfosels et carbonates au centre.

Des minéralisations en scheelite sont localement présentes (sondage destructif S15 à scheelite avec 208 à 496 g/t W, de Solère 1980) mais peu de sondages ont été analysés pour le tungstène, il est donc difficile d'en connaitre la distribution.



Plages d'or natif disséminées dans la stibine (x 200 sous immersion d'huile). Sondage SEM-1 -62,45 m, section polie 35657. Cliché Picot (1980)

Plage d'ullmanite incluse dans la stibine (x 150). *Sondage SEM-1 -87,35 m, section polie 35653. Cliché Picot (1980).*

Figure 22 : Clichés d'or natif et d'ullmanite au microscope métallographique provenant d'échantillons de La Coëfferie.

3.4. AUTRES INDICES

a) Les indices du centre du district

Entre La Coëfferie-Les Touches au nord-ouest et La Liborière-Le Haut-Coudray-Le Petit-Buard au sud-est, il existe au moins 6 indices où des volantes de dolérites parfois minéralisées en stibine ont été observées (Figure 23). Il s'agit des indices de La Jaunaie, Les Noës, La Nouette, La Haye Vieillette, Le Gris et l'Orière. Ces indices ont été investigués en géochimie sol uniquement par des profils lâches ou des grilles tactiques. L'absence d'anomalie Sb pour Les Noës, La Nouette et l'Orière et les faibles valeurs en antimoine (< 20 ppm) pour La Jaunaie, Le Gris et La Haye Vieillette ont conduit à l'arrêt des prospections sur ces cibles.

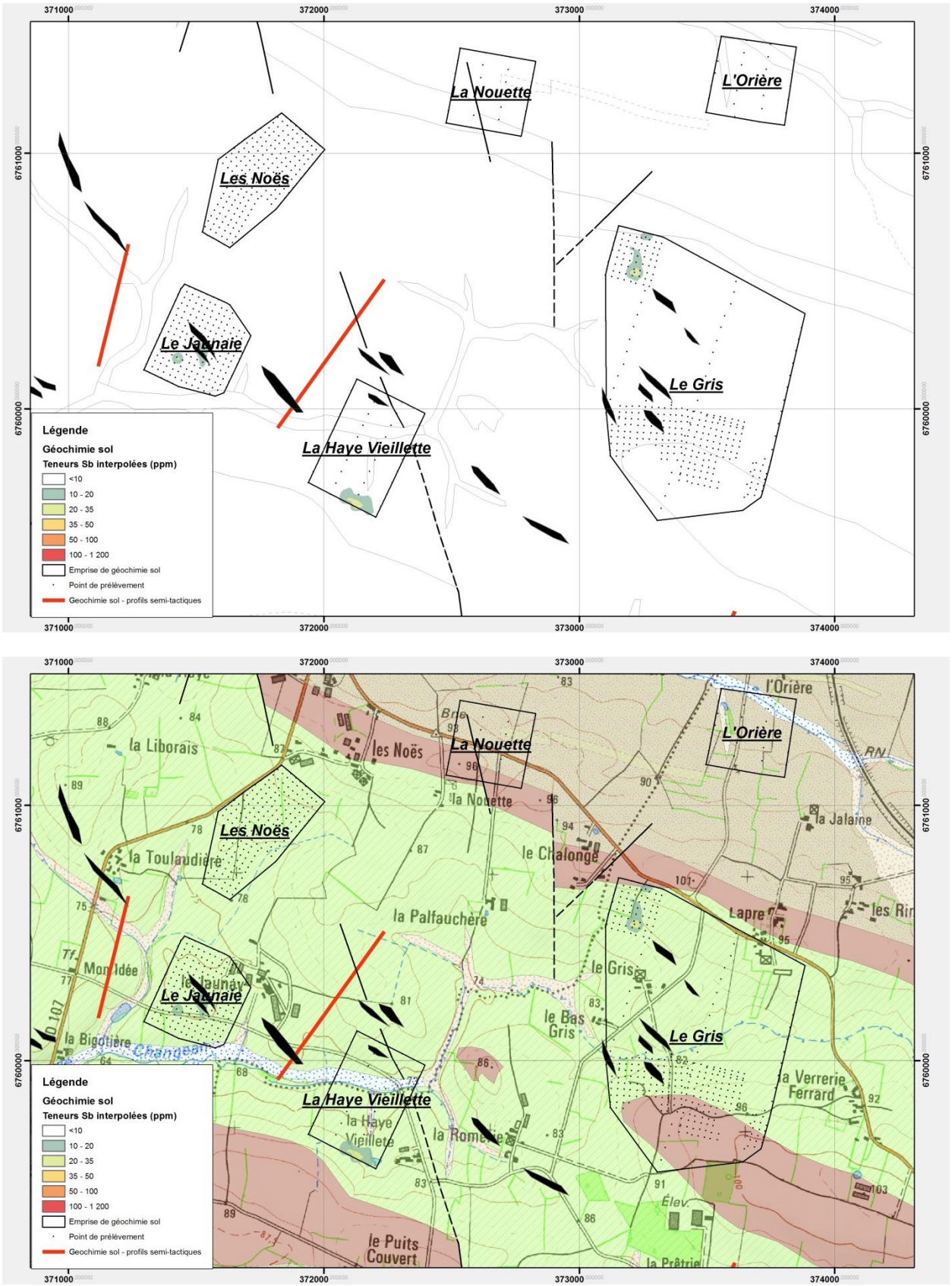


Figure 23 : Les indices du centre du district avec les points de géochimie sol ainsi que le contour cartographique (surestimé) des dolérites issus de la carte géologique au 1/50 000 de Châteaubriant (Herrouin et al., 1988). En haut avec uniquement les contours géologiques pour visualiser les zones d'anomalies Sb et en bas avec la géologie.

b) L'indice de Moussé

L'indice de Moussé est situé à l'extrémité ouest du district, à 2 km au nord-ouest de l'anomalie des Touches (Figure 24). Cet indice est situé dans une zone où l'anticlinal de schistes est très pincé et recoupé non pas par des dykes de dolérite mais par un dyke de microgranite porphyrique. Un seul point sur la bordure sud de la zone couverte a donné une valeur de 18 ppm Sb.

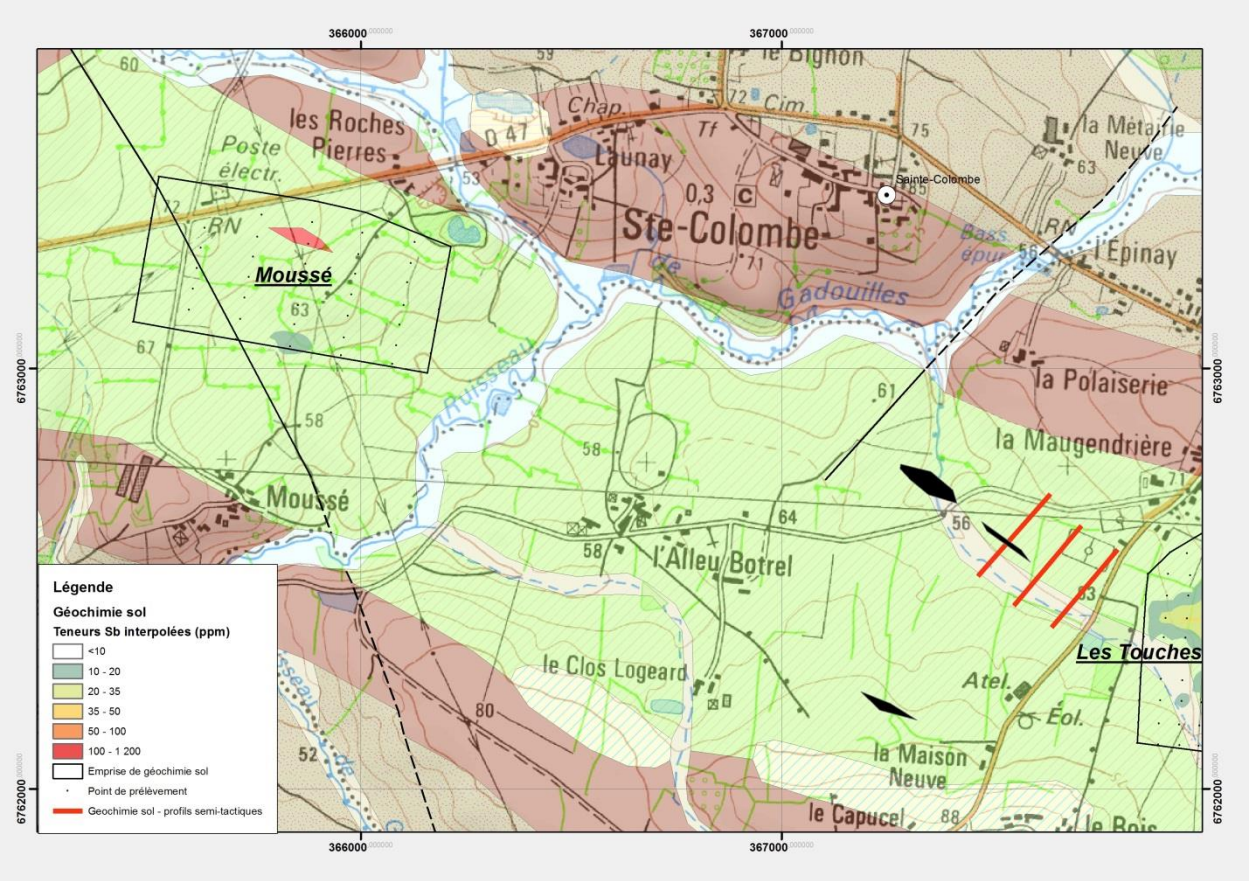


Figure 24 : L'indice de Moussé au nord du district, avec les profils de points de géochimie sol et le contours cartographique (surestimé) des dolérites (en noir) issus de la carte géologique au 1/50 000 de Châteaubriant (Herrouin et al., 1988). On note la présence ici d'un dyke de microgranite (en rouge).

4. Approches prédictives

Cette étude complète l'étude de favorabilité antimoine à l'échelle de la Bretagne-Vendée réalisée dans le cadre du rapport BRGM/RP-65534-FR (Gloaguen *et al.,* 2016). Ici, on s'intéresse principalement à la zone des synclinaux du sud de Rennes dans laquelle se localise le district du Semnon. Sur cette petite zone, la méthode du Weight of Evidence n'est pas applicable (trop peu d'indices). Par contre, une nouvelle cartographie prédictive dédiée uniquement sur cette zone a été réalisée par la méthode CBA afin de cibler au mieux les zones favorables à la présence de minéralisations antimonifères, en complément de l'étude régionale.

4.1. LA METHODE CELL-BASED ASSOCIATION (CBA)

La CBA est une méthode de favorabilité qui a été développée au BRGM (Tourlière *et al.,* 2015) pour pallier à certains défauts du WoE comme sa non prise en compte des environnements complexes, sa sensibilité au positionnement des points et à la qualité des contours.

4.2. CBA PAR CAH

4.2.1. Principes

La méthode CBA consiste à découper la zone d'étude par une grille régulière de cellules dans lesquelles on va coder par 1 ou 0 la présence ou l'absence de chaque formation présente dans la zone d'étude. La taille des cellules doit être déterminée de telle façon que la majorité des cellules contienne au moins 2 formations différentes. Le fait d'avoir plusieurs formations par cellule constitue une association.

Pour la méthode, seules sont pris en compte la présence et l'absence, on ne fait pas intervenir la surface car cette variable est soumise à des contraintes cartographiques (formation partiellement recouverte par des colluvions par exemple) et qu'elle n'est au mieux représentative que de l'intersection entre un objet géologique 3D et la surface topographique actuelle.

À partir de cette grille de cellules, on va générer des familles d'associations qu'on pourra cartographier et on sélectionnera comme favorables les cellules de la même famille que celles contenant un gisement de référence. Dans le cadre de cette étude, 60 familles d'association ont été calculées par CAH (Classification Ascendante Hiérarchique).

4.2.2. Résultat et Interprétation

Les cellules favorables mises en évidence par la méthode CBA par CAH sont des cellules où on observe les grès et les schistes de l'Ordovicien recoupés par des dykes de dolérite (signature de type La Coëfferie) auxquels se rajoutent les schistes et grès du Silurien pour la signature de type Semnon. Les résultats ciblent un ensemble de 40 cellules (Tableau 6) centrées sur le district connu et un possible prolongement est bien marqué (Figure 25). On note aussi un ensemble de cellules dispersées au sud-ouest du district connu.

Groupe CAH	FDOLE	SCSH4	GRES4	GRES5	SCSH5	FQTZ	GRES2	SCSH2
24 (La Coëfferie)	24	24	23	0	0	2	0	0
30 (Le Semnon)	16	16	16	16	16	3	1	1

Tableau 6 : Composition lithologique des groupes de CAH correspondant aux gîtes du Semnon et de La Coëfferie.

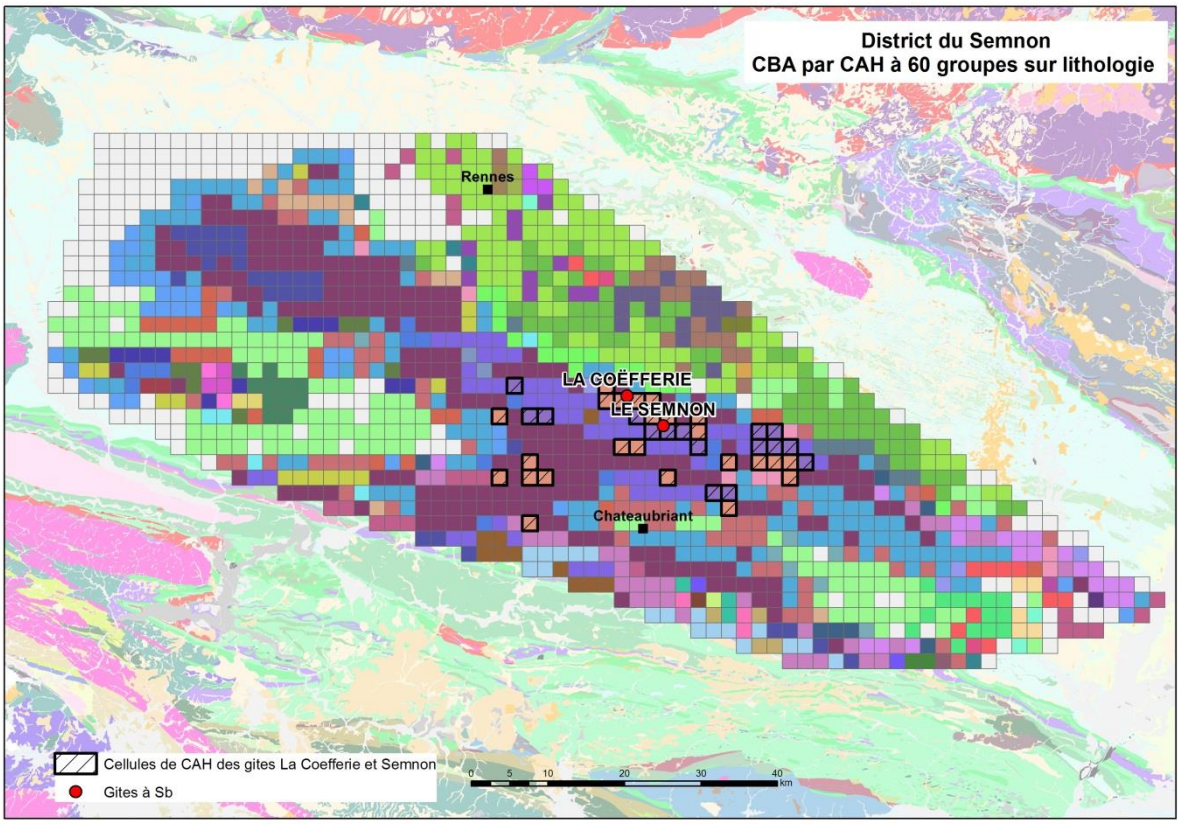


Figure 25 : District du Semnon, CBA par CAH, cellules favorables. La grille en couleurs correspond aux 60 groupes de CAH réalisés sur la géologie.

4.3. CBA PAR SIGNATURE EXACTE

4.3.1. Principe

La CAH produit des classes qui regroupent des cellules autour d'un « noyau » de base (association lithologique principale dans le Tableau 6) mais qui agrègent aussi d'autres lithologies moins représentées dans la classe. On a un effet de « flou » sur la composition lithologique de chaque famille de cellules, effet de flou qui peut être intéressant car il peut augmenter le nombre de cellules favorables.

Pour pallier cet éventuel défaut, on peut choisir de rechercher sur toute la zone d'étude la composition lithologique exacte de chaque cellule étalon ainsi que la présence d'anomalie géophysique (lourd gravimétrique et/ou anomalie magnétique).

Cette opération limite fortement le nombre de cellules sélectionnées mais donne un résultat plus précis.

4.3.2. Résultat et interprétation

Étant donné la faible variabilité géologique de la zone d'étude, les résultats entre CBA par CAH (Figure 25) et CBA par signature exacte (Figure 26) sont très similaires. La signature exacte de type Semnon (3 cellules) apparait comme un sous-ensemble de la signature de type Coefferie. La signature exacte suggère de rechercher d'autres indices dispersés dans l'ensemble du domaine paléozoïque des synclinaux du sud de Rennes.

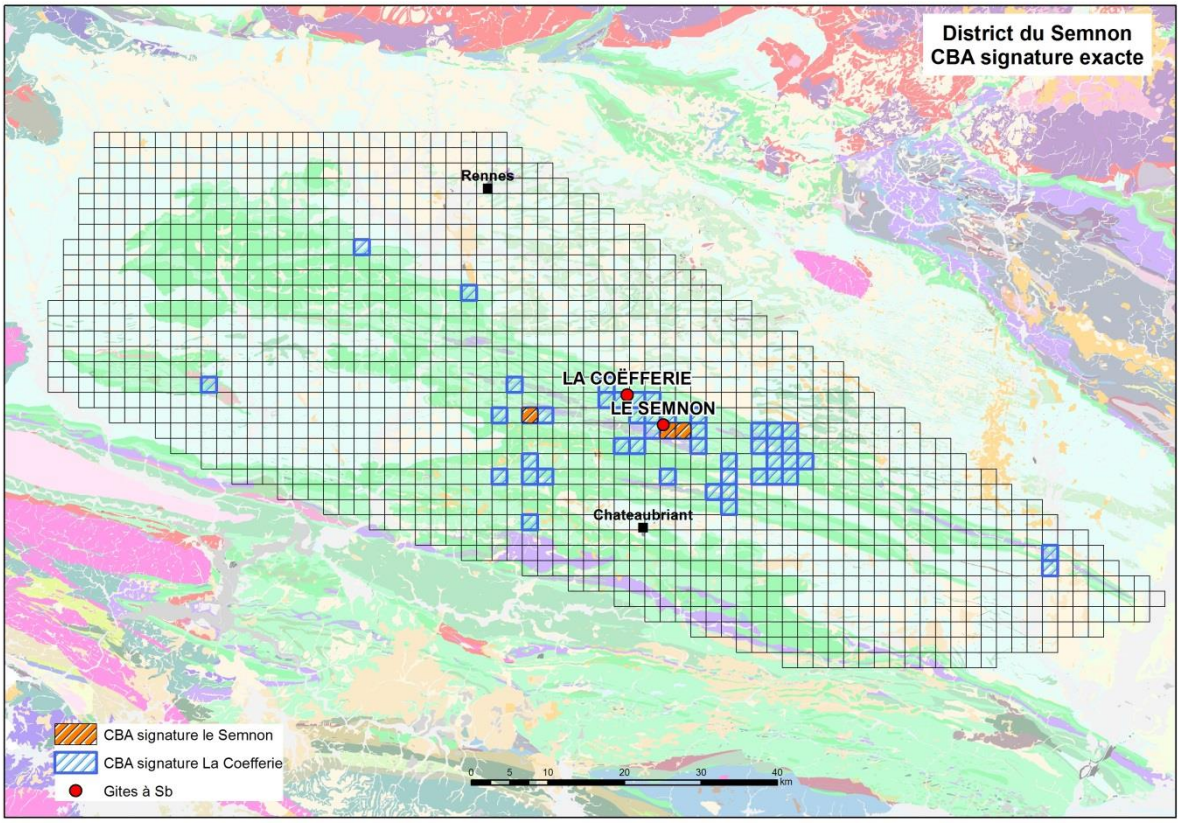


Figure 26 : District du Semnon, CBA, cellules sélectionnées par « signature exacte » (la grille montre l'emprise de la zone étudiée).

4.4. RANKING SUR CBA

4.4.1. Principe

Pour améliorer les résultats obtenus par les 2 méthodes précédentes on a élaboré une méthode permettant un « ranking » des celules à partir des assocations présentes dans les cellules étalon. Cette procédure nécessite de définir des cellules étalons, typiquement des cellules contenant le phénomène recherché comme ici les 2 indices à Sb de référence qui déterminent 2 cellules étalons. Afin de pouvoir donner une note aux cellules, le rapport de fréquences entre les attributs contenus dans les cellules étalons (Frequency in Standard Cells - FSC) et les mêmes attributs contenus dans l'ensemble des cellules de la zone d'étude (Frequency in Study Area - FSA) a été appliquée au spectre lithologique contenu par chaque cellule. Le mode de calcul de ce rapport de fréquences consiste à :

i. extraire les cellules contenant au moins une occurrence minéralisée ;

ii. faire le rapport entre le nombre de fois où une formation est présente dans les cellules minéralisées sur le nombre total de cellules minéralisées (FSC) ;

iii. à faire le même calcul sur l'ensemble des cellules de la zone d'étude (FSA) puis ;

iv. de faire le rapport entre les 2 valeurs par formation (FRatio = FSC / FSA). Un FRatio significativement supérieur à 1 est interprété comme mettant en évidence une formation plus fréquente dans les cellules minéralisées que dans les cellules de la zone d'étude, et donc que cette formation peut avoir un lien avec la minéralisation.

Les formations post paléozoïques ne sont pas prises en compte car elles n'ont pas de rôle dans la mise en place des minéralisations et constitueraient des FRatio non pertinents pour ce qui est recherché.

L'étape suivante consiste à reporter le FRatio de chaque formation impliquée dans les cellules étalons sur toutes les cellules de la zone d'étude puis d'en faire la somme.

$$\textbf{Ranking} = \sum \textbf{FRatio}$$

On suppose que plus cette valeur est élevée, plus on aura de formations favorables présentes dans une cellule. Par principe, le Ranking ne prend en compte que les formations pertinentes présentes dans les cellules étalons, les autres formations sont ignorées. Dans notre hypothèse, plus le score sera élevé, plus la cellule contiendra d'associations définies dans les cellules étalon. Un biais induit par cette méthode est de favoriser les cellules présentant le plus de formations, c'est-à-dire qui correspondent à un environnement géologique complexe.

4.4.2. Résultat et interprétation

Le ranking sur CBA basé sur la lithologie (Figure 27) est très lié à la distribution spatiale des dolérites car les cellules étalon en contiennent systématiquement, d'où un ranking très fort (Tableau 7). Ceci a pour effet de cibler également des zones dans les schistes du briovérien où se trouvent également des dolérites (est de Rennes). Ce ranking suggère des prolongements est et ouest du district connu et on observe peu de dispersion avec des clusters de cellules bien groupés en différentes endroits où la couverture paléozoïque est recoupée par des dykes de dolérite.

Code lithologique	FDOLE	FQTZ	GRES4	GRES5	SCSH4	SCSH5	Mag	GRAVI
Rapport de fréquence	19,23	5,35	1,83	7,26	2,04	4,00	1,41	4,53

Tableau 7 : Rapports de fréquence sur les formations géologiques associées aux gîtes étalons avec prise en compte des signatures géophysique (gravimétrie et magnétisme). La forte valeur du rapport de fréquence des dolérites (FDOLE) est liée à la présence systématique de dolérites dans les cellules étalon alors qu'ellse sont régionalement peu représentées (il s'agit de filons).

Le ranking sur CBA basé sur la lithologie et la géophysique (Figure 28) a pour effet de renforcer un ciblage dans et autour du district connu et de suggérer la présence d'un autre district à l'extrémité est de la zone d'étude. Par ailleurs l'intégration de la géophysique dans le ranking a plutôt pour effet corrélativement de diminuer l'importance des cellules dispersées et isolées. En première analyse, on peut supposer que les cellules dont le score a fortement augmenté avec la géophysique constituent des cibles privilégiées.

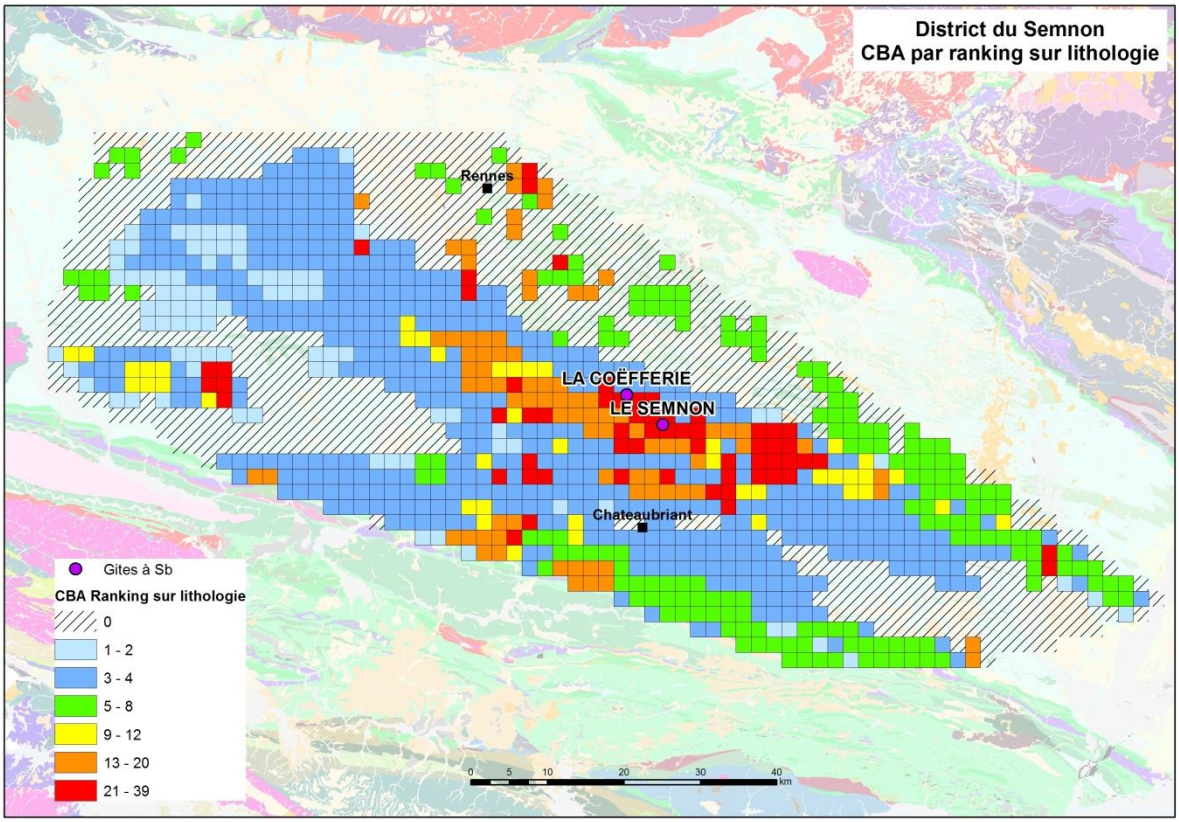


Figure 27 : District du Semnon, CBA - Ranking sur associations lithologiques.

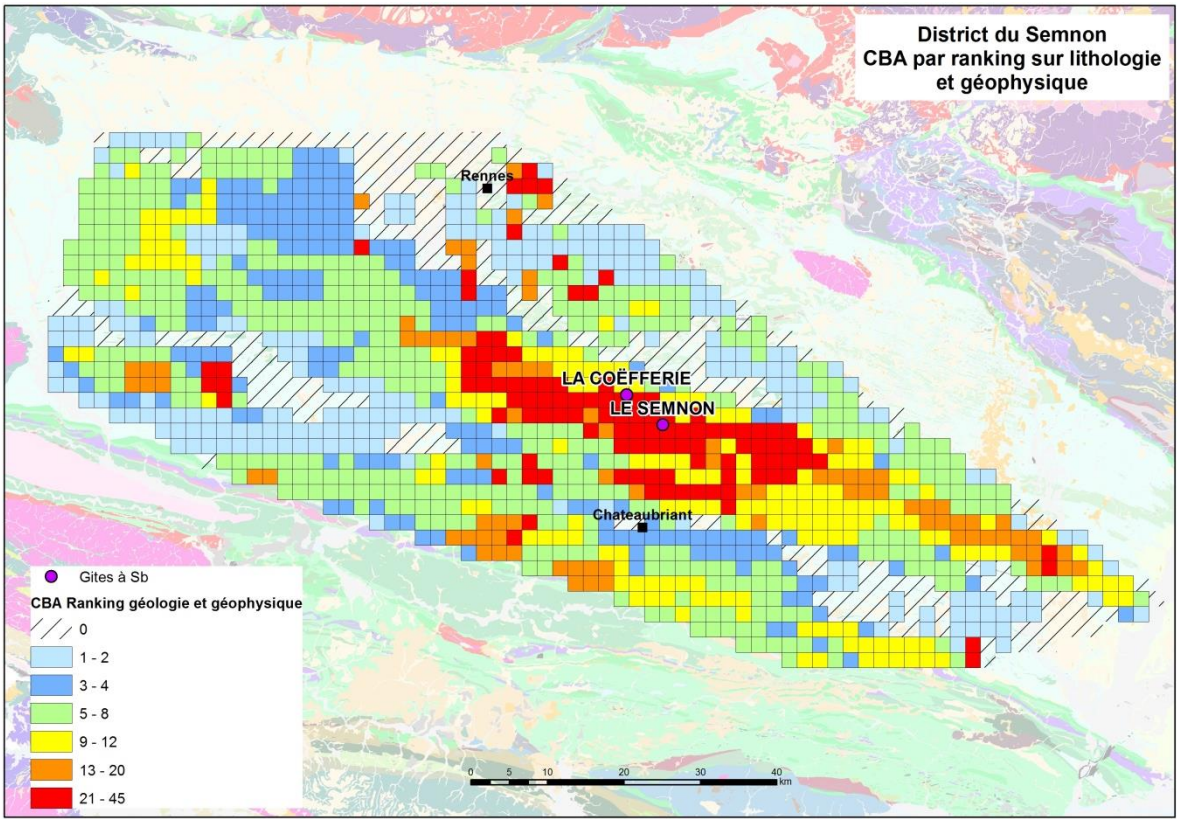


Figure 28 : District du Semnon, CBA - Ranking sur associations lithologiques et géophysiques.

4.5. SYNTHÈSE

La Figure 29 intègre l'ensemble des cellules favorables définies par les différentes modalités de CBA. Les superpositions indiquent les zones les plus prospectives pour la recherche de minéralisations antimonifères. L'est du gîte du Semnon est particulièrement mis en évidence, soit une zone approximativement de 8 x 8 km située à 10 km à l'est de la mine du Semnon. De même, toute la surface comprise entre Le Semnon et La Coëfferie et leurs abords immédiats apparaissent comme des zones à privilégier pour la recherche.

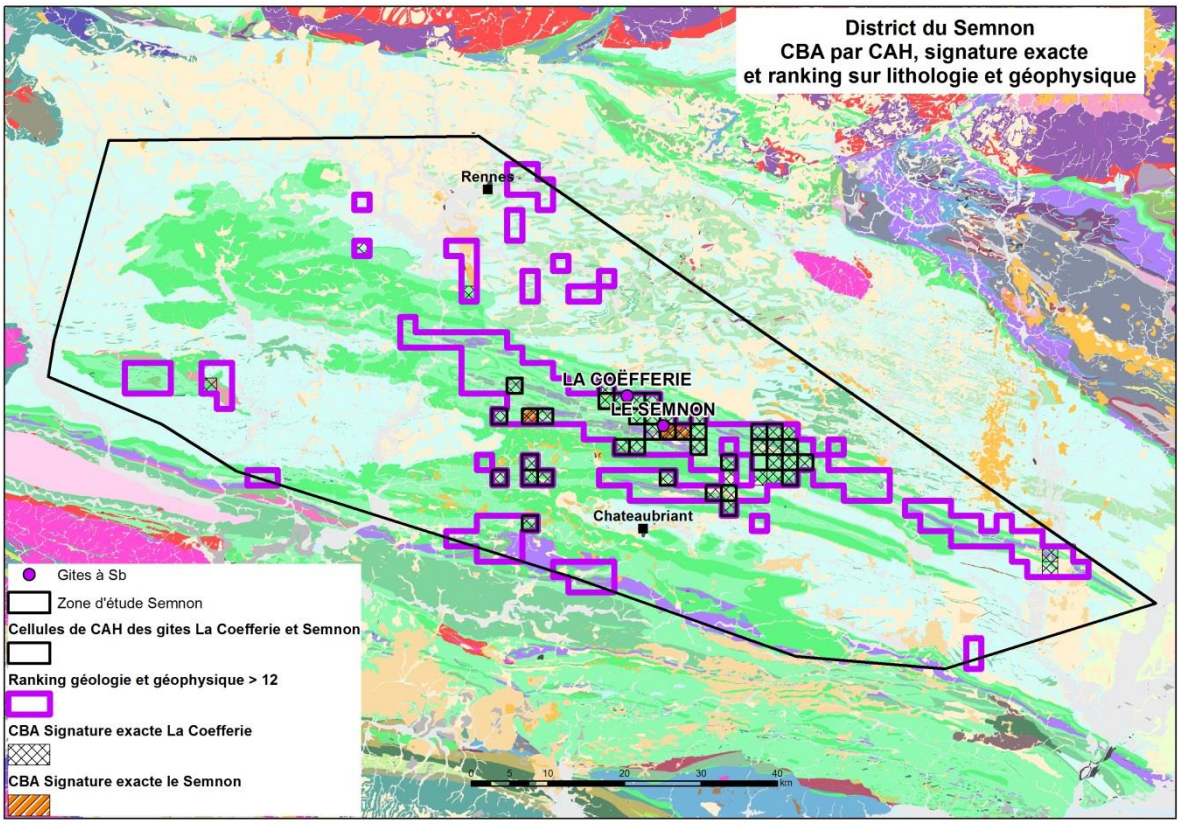


Figure 29 : District du Semnon. Intersection des paramètres de CBA favorables à la présence de gîtes à Sb.

5. Conclusion

Le district du Semnon a au minimum une longueur de 17 km et une largeur de 3 km. Ce district se localise dans un anticlinal érodé dont le cœur est constitué par les schistes de la formation d'Angers-Traveusot. Dans cet anticlinal, les schistes sont recoupés par un important faisceau de dykes de dolérites N140°E, de 10 cm à 25 m de puissance, datés à 360 Ma (Pochon *et al.,* 2016b). Ces dykes sont affectés par la déformation varisque ce qui se traduit par du plissement, des épontes schistosées et la présence de veines de quartz minéralisées recoupant les dolérites et l'encaissant proche. La distribution aléatoire des veines de 2 à 20 cm de puissance ainsi que des zones hydrothermalisées et localement la forte densité de petits dykes de dolérite **conduit à considérer cette minéralisation comme un stockwerk**. Les travaux de prospection et d'exploitation ont conduit à la mise en évidence de trois principaux prospects : l'ancienne mine du Semnon (La Liborière), le prospect de La Coëfferie et celui des Touches. Ces trois principaux prospects sont très comparables, avec une minéralisation en antimoine portée par des veines de quartz-carbonate à stibine – berthiérite ± or natif (aurostibite + électrum probable) ainsi que par des disséminations dans les zones hydrothermalisées au sein des dolérites et des schistes encaissants. De l'arsénopyrite aurifère se trouve également fréquemment en disséminations dans les zones hydrothermalisées. L'or est donc présent sous deux formes, une forme piégée et une forme libre, sans que la proportion de ces formes ne soit connue. L'arsénopyrite aurifère étant précoce dans la paragenèse et la stibine plus tardive, la corrélation antimoine-or est localement nulle ce qui indique l'existence de zones uniquement aurifères ou antimonifères au sein des stockwerks.

Les données sont trop peu nombreuses ou trop parcellaires pour réaliser une estimation normée[6] de ces prospects du fait des géométries en stockwerk des zones minéralisées. L'estimation des teneurs qui semble raisonnable pour les minéralisations du district est de **1,65 % Sb et 1,2 g/t Au**. À partir de ces chiffres et de la synthèse des travaux, **une estimation minimale du stock métal de l'ordre de 45 000 t Sb et 3,3 t Au pour le district est proposée**. Ce stock métal est répartit sur trois cibles, la Liborière (19 488 t Sb + 1,46 t Au), Les Touches (11 484 t Sb + 835 kg Au) et La Coëfferie (14 355 t Sb + 1,044 t Au), sans prise en compte de nombreux satellites potentiels, avec une investigation limitée entre 120 et 60 m sous la surface topographique. Par ailleurs, l**a teneur en tungstène n'a pas été évaluée et pourrait valoriser le district.**

L'ensemble des prospects de ce district ayant été découverts au moyen de prospection de surface (prospection marteau et géochimie sol), la tranche -100 à -500 m doit être considérée comme vierge. Il n'y a raisonnablement aucun argument pour dire qu'il n'y a pas de minéralisation dans cette tranche car la géologie doit y être strictement identique à celle de la surface (schistes recoupés par des dolérites). De plus, ce faisceau de dyke de dolérite et la minéralisation hydrothermale qui le recoupe pourrait également recouper les 4 couches de minerai de fer oolithique carbonaté situées 400 à 500 m sous la surface topographique et former des niveaux de sulfures massifs comme celui connu à Saint-Aubin-des-Châteaux (Gloaguen *et al.,* 2007). La structure en anticlinal est une géométrie qui peut de plus focaliser les fluides en augmenter les teneurs dans les pièges représentés par les couches de minerai de fer carbonaté.

Les extrémités nord-ouest et sud-est du district ne sont pas clairement définies mais la superposition des anomalies géophysiques (magnétisme et gravimétrie) avec les occurrences de dolérites cartographiées (Figure 30) suggèrent que le district pourrait

[6] Norme Canadienne NI-43-101 ou Australienne JORC

s'étendre sur plus de 20 km à l'est et à l'ouest par rapport à ces dimensions actuelles. L'approche prédictive au moyen de la méthode CBA et de ces variantes montre une convergence remarquable en particulier sur le prolongement sud-est du district avec un ciblage géographique très similaire à celui de la Figure 30, zone qui doit donc être considérée comme prioritaire une fois le district connu déjà rigoureusement exploré.

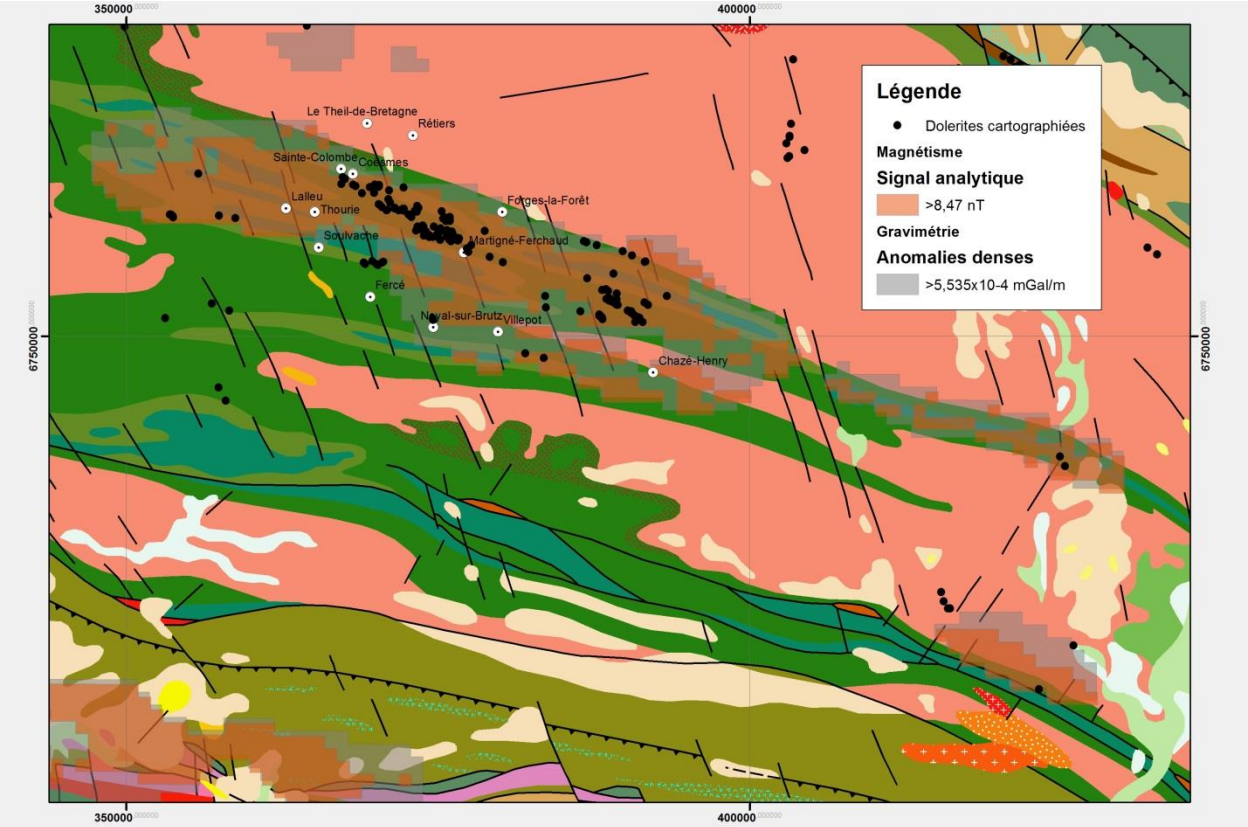


Figure 30 : Extensions potentielles du district du Semnon marquées par l'anomalie magnétique et l'anomalie de densité issues du traitement des données géophysiques (Étude de Pochon et al., *2016a). Ces anomalies sont interprétées comme étant liées à la présence d'intrusions mafiques/ultramafiques en profondeur dont les dolérites pourraient représenter l'expression de surface. Les dolérites cartographiées sur les cartes au 1/50 000 sont ici représentées par des points noirs. Le fond géologique est issu de la carte géologique de la France au 1/1 000 000 (Chantraine* et al., *1996).*

6. Bibliographie

Ballard J.-F., Brun J.P., Durand J. (1986) - La discordance Briovérien-Paléozoïque inférieur en Bretagne Centrale : signature d'un épisode de distension ordovicienne. C R Acad Sci Paris 303 (II), 1327-1332.

Ballèvre M., Bosse V., Dabard M.-P., Ducassou C., Fourcade S., Paquette J.-L., Peucat J.-J., Pitra P. (2013) - Histoire géologique du Massif armoricain : actualité de la recherche. Bull. Société Géologique Minéralogique Bretagne D, 10-11, 5–96.

Bonham-Carter G.F. (1994)- Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS: Pergamon, Oxford, 398 pp.

Bonham-Carter G.F., Agterberg F.P. and Wright D.F. (1989) - Weights of evidence modeling: a new approach to mapping mineral potential. In: Statistical Applications in the Earth Sciences, Agterberg F.P. and Bonham-Carter G.F. (Eds.), Geological Survey of Canada, Paper 89-9, p. 171-183.

Bouchot V., Milési J.-P., Lescuyer J.-L., Ledru P. (1997) - Les minéralisations aurifères de la France dans leur cadre géologique autour de 300 Ma. Chron. Rech. Minière 528, 13-62.

BRGM (1982) - Syndicat La Coëfferie, point des travaux au 15.11.82. Note BRGM RDM/FE Division Massif Armoricain. BRGM, Orléans.

BRGM (1983a) - Permis Exclusif de Recherches de La Coëfferie (Ille-et-Vilaine), rapport annuel 1983, programme 1984. Note BRGM Division Massif Armoricain, BRGM, Orléans, 3 p.

BRGM (1983b) - Plan métaux, Opération La Coëfferie, programme 1983 (deuxième phase de travaux). Demande d'assistance financière. BRGM, Délégation géographique France Europe, Division Massif Armoricain, BRGM, Orléans, 11 p.

BRGM (1984) - Plan métaux, Opération La Coëfferie et extension Concession du Semnon (Ille-et-Vilaine). Programme 1984 (troisième phase de travaux) Demande d'assistance financière. BRGM, Orléans, 12 p.

BRGM (1985) - Plan métaux La Coëfferie – Le Semnon. Compte-rendu final mai 1985. BRGM, Orléans, 10 p.

Chantraine J., Autran A., Cavelier C. (1996) - Carte géologique de la France au 1/1 000.000, 6ème édition.

Chauris L., Houlgatte E., Laforet C., Picot P. (1985) - Un district antimono-aurifère à gangue quartzo-carbonatée, Le Semnon (Ille-et-Vilaine, Massif Armoricain, France). Hercynica I, 111-119.

Chauris L., Marcoux E. (1994) - Metallogeny of the Armorican Massif, in: Keppie, J.D. (Ed.), Pre-Mesozoic Geology in France and Related Areas. Springer-Verlag, Berlin, pp. 243–264.

Chauvel J.-J. (1968) - Contribution à l'étude des minerais de fer de l'Ordovicien inférieur de Bretagne. Mém Soc Géol Minéral Bretagne 16 (1971), 244 p.

Chauvel J.-J. (1974) - Les minerais de fer de l'Ordovicien inférieur du bassin de Bretagne-Anjou. Sedimentology 21, 127-147.

Chauvel J.-J., Philippot A. (1961) - Sur la discordance de base du Paléozoïque dans la région de Rennes (I & V). Bull Soc Géol Minéral Bretagne 1 (1960, nouvelle série), 1–7.

Choukroune P., Lopez-Munoz M., Ouali J. (1983) - Cisaillement ductile sud-armoricain et déformations discontinues associées: mise en évidence de la déformation régionale non coaxiale dextre. Comptes-Rendus Académie Sci. Paris série II, 657-660.

Dabard M.-P., Loi A. (2012) - Environmental control on concretion-forming processes: Examples from Paleozoic terrigenous sediments of the North Gondwana margin, Armorican Massif (Middle Ordovician and Middle Devonian) and SW Sardinia (Late Ordovician). Sediment. Geol. 267–268, 93–103.

Dabard M.-P., Loi A., Paris F. (2007) - Relationship between phosphogenesis and sequence architecture: Sequence stratigraphy and biostratigraphy in the Middle Ordovician of the Armorican Massif (NW France). Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 248, 339–356.

Duplessix E. (1920) - Le champ de fractures de Martigné-Ferchaud. Bull Soc Géol Minéral Bretagne I, 69–78.

Faure P. (1979) - Les grès à rutile et zircon du Massif Armoricain. Chron Rech Min 451, 5-44.

Faure P.-P. (1978) - Le grès à rutile et zircon du Massif armoricain. Thèse, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, Paris, 307 p.

Florant J.P., Casalis J.A., Campi R. (1986) - Syndicat de La Coëfferie. Rapport de synthèse préliminaire pour une évaluation économique. Rapport Société Minière et Métallurgique de Peñarroya, Direction Mines et Exploration, n° DEG.T. 86.42, 19 p.

Foglierini F. (1975) - Gisement d'antimoine et d'or du Semnon (Ille-et-Vilaine). Rapport Société minière et métallurgique Peñarroya, Direction Mines et Exploration, n° 31/G, 3 p.

Gapais D., Brun J.-P., Gumiaux C., Cagnard F., Ruffet G., Le Carlier de Veslud C. (2015) - Extensional tectonics in the Hercynian Armorican belt (France). An overview. Bull. Société Géologique Fr. 186, 117-129.

Gloaguen E. (2002) - Étude structurale et métallogénique du minerai de fer hydrothermalisé de la carrière de Saint-Aubin-des-Châteaux, Loire-Atlantique (France). Rapport de stage de Recherche de DEA, Université d'Orléans, 41 p.

Gloaguen E., Branquet Y., Boulvais P., Moëlo Y., Chauvel J.-J., Chiappero P.-J., Marcoux E. (2007) - Palaeozoic oolitic ironstone of the French Armorican Massif: a chemical and structural trap for orogenic base metal-As-Sb-Au mineralisation during Hercynian strike-slip deformation. Miner. Deposita 42, 399–422.

Gloaguen E. Tourlière B. Angel J.M. (2016) - Revalorisation du potentiel minier français. Méthodes prédictives appliquées à la province à antimoine du Massif armoricain. Rapport final. Rapport BRGM/RP-65534-FR, BRGM, Orléans, 52 p.

Gumiaux C., Brun J.P., Gapais D. (2004) - Strain removal within the Hercynian Shear Belt of Central Brittany (western France): methodology and tectonic implications. Geol. Soc. Lond. Spec. Publ. 224, 287–305.

Gumiaux C., Gapais D., Brun J.P., Chantraine J., Oltra R., Ruffet G. (2004) - Tectonic history of the Hercynian Armorican Shear belt (Brittany, France). Geodin. Acta 17, 289–307.

Herrouin Y., Rabu D., Chantraine J., Chauvel J.-J., Etienne H. (1990) - Notice explicative, carte géologique de la France (1/50 000), Châteaubriant (389).

Herrouin Y., Rabu D., Fourniguet J. (1988) - Carte géologique de la France au 1 :50000 – feuille Châteaubriant (389). BRGM, Orléans.

Le Corre C. (1975) - Analyse comparée de la cristallinité des micas dans le Briovérien et le Paléozoïque centre-armoricains: zonéographie et structure d'un domaine épizonal. Bull Soc Géol Fr. XVII, 8.

Le Corre C. (1978) - Approche quantitative des processus synschisteux : l'exemple du segment hercynien de Bretagne centrale (Thèse d'état). Université de Rennes I, Rennes, 381 p.

Le Corre C., Auvray B., Ballèvre M., Robardet M. (1991) - Le Massif Armoricain. Sci Géol Bull 44, 31-103.

Marot A. (1984) - Étude géologique de la concession du Semnon. Rapport BRGM, Division Massif Armoricain, n° AGI/OST/84.02 MA, BRGM, Orléans, 56 p.

Marot A. (1987) - Syndicat de La Coëfferie. PER de La Coëfferie. Situation des travaux réalisés en 1986. Rapport Société Minière et Métallurgique de Peñarroya, 24 p.

Maudet, L. (1911) - Les mines d'or en France, une visite aux mines du Semnon. Financia, revue minière économique, industrielle et financière, 15 octobre 1911, pp. 285-290.

Méloux J., Rouveyrol P., Guigues J., Dumas J., Durand G., Gorichon A., Le Fur Y., Lemarchand R., Mulot B. (1979) - Carte des gîtes minéraux de la France au 1/250 000 - Feuille Nantes.

Michaud J.G. (1975) - Fiche concession du Semnon, inventaire des concessions Peñarroya en France. 12 p.

Morancé E. (1912) - Rapport de l'Ingénieur Chimiste, Service des Mines, Nantes, 2 p.

Picot P. (1980) - Résultats d'études, étude d'échantillons minéralisés. Etude M5799, note SGN/MGA 80/59, BRGM, Orléans, 3 p.

Picot P. (1983) - Résultats d'études, étude d'échantillons de Bretagne, provenance : Les Touches (La Coëfferie). Etude M4047, note SGN/MGA, BRGM, Orléans, 2 p.

Pochon A., Gapais D., Gloaguen E., Gumiaux C., Branquet Y., Cagnard F., Martelet G. (2016a) - Antimony deposits in the Variscan Armorican belt, a link with mafic intrusives? Terra Nova 28, 138–145.

Pochon A., Poujol M., Gloaguen E., Branquet Y., Cagnard F., Gumiaux C. and Gapais D. (2016b) - U-Pb LA-ICP-MS dating of apatite in mafic rocks : evidence for a major magmatic event at the Devonian-Carboniferous boundary in the Armorican Massif (France). American mineralogist, in press. Doi: 10.2138/am-2016-5736

Rolet J., Gresselin F., Jegouzo P., Ledru P., Wyns R. (1994) - Intracontinental Hercynian events in the Armorican Massif, in: Keppie J.D. (Ed.), Pre-Mesozoic Geology in France and Related Areas. Springer-verlag, Berlin Heidelberg New-York, pp. 195–219.

Serment R. (1968) - Concession du Semnon (No. Action concertée “Dimensions Gisements”). Ecole des Mines, Paris.

Stouvenot M. (1918) - Procès-verbal de visite. Service des Mines, Nantes.

Tartèse R., Poujol M., Gloaguen E., Boulvais P., Drost K., Košler J., Ntaflos T. (2015) - Hydrothermal activity during tectonic building of the Variscan orogen recorded by U-Pb systematics of xenotime in the Grès Armoricain formation, Massif Armoricain, France. Mineral. Petrol. 109, 485–500.

Tourlière B., Pakyuz-Charrier E., Cassard D., Barbanson L. and Gumiaux C. (2015) - Cell Based Associations: A procedure for considering scarce and mixed mineral occurrences in predictive mapping. Computers & Geosciences 78: 53–62. doi:10.1016/j.cageo.2015.01.012.

Tuduri J., Pourret O., Gloaguen E., Gouin J., Potel S., Dörr W., Colin S., Chevillard M. (2014) - U-Pb age and geochemistry of authigenic monazites of the Armorican Massif. Implications for formation of monazite-(MREE) from paleozoic shales, in: Résumés de La RST, Thème 7 Ressources. 24ème réunion des Sciences de la Terre, Pau, pp. 342–343.

Annexe 1

Historique de production de la mine du Semnon d'après les rapports du Service des Mines

Année	Minerai brut* extrait au jour (t) min	Minerai brut* extrait au jour (t) max	Minerai marchand produit (t)	Teneur moyenne du concentré (% Sb)	Équivalent Sb métal du minerai marchand (t)	Minerai basse teneur produit min.(t)	Minerai basse teneur produit max.(t)	Teneur du minerai (% Sb) min	Teneur du minerai (% Sb) max	Équivalent Sb métal du minerai basse teneur (t) min	Équivalent Sb métal du minerai basse teneur (t) max	**Total Équivalent Sb métal produit (t) min**	**Total Équivalent Sb métal produit (t) max**	Références
1895 - 1908	2000	2000	0	0	0	0		6	6	120	120	**120**	**120**	Cochin, 1913 in Stouvenot, 1918
1909	100	100	0			0		10	10	10	10	**10**	**10**	Leclère, 1910
1910	410	410	0			0		6	10	24,6	41	**24,6**	**41**	Leclère, 1911
1911	250	250	0			0		6	10	15	25	**15**	**25**	Leclère, 1912
1912	30	30	0			0		6	10	1,8	3	**1,8**	**3**	Leclère, 1913
1913	1800	2000	0			0		6	6	108	120	**108**	**120**	
1914	0	0	0			0				0	0	**0**	**0**	
1915	160	160	50	36,274	18,137	160		0	10	0	16	**18,137**	**34,137**	Bellanger, 1917; Pawlowski, 1919; Broquin, 1949
1916	4285	4286	163	30,21	49,2423	1037		8	10	82,96	103,7	**132,2023**	**152,9423**	Bellanger, 1917; Broquin 1949; Stouvenot 1918
1917	4620					850	912	15	20	127,5	182,4	**127,5**	**182,4**	Stouvenot, 1918; Broquin, 1949
1918	2500					213		10	12	21,3	25,56	**21,3**	**21,3**	Stouvenot, 1918 (manque productions mois juin à aout)
Estimation 1895-1908	**2000**											**120**	**120**	
Total 1909-1912	**790**											**51,4**	**79**	
Total 1913-1918	**13365**											**407,1393**	**510,7793**	
Total 1909-1918	**14155**											**458,5393**	**589,7793**	
Total	16155											578,5393	709,7793	

Références :

Bellanger (1907). Service des Mines, rapport de l'ingénieur en chef. In: Conseil Général de l'Ille-et-Vilaine, session d'août 1907, Oberthur imprimeur, Rennes. p. 316-331.

Bellanger (1909). Surveillance de l'industrie minérale et des appareils à vapeur. Service des Mines, rapport de l'ingénieur en chef. In: Conseil Général de l'Ille-et-Vilaine, session d'août 1909, L. Caillot et fils imprimeur, Rennes. p. 373-389.

Bellanger (1917). Surveillance de l'industrie minérale et des appareils à vapeur en 1916. Service des Mines, rapport de l'ingénieur en chef. In: Conseil Général de l'Ille-et-Vilaine, session de septembre 1917, L. Caillot et fils, imprimeur (1918), Rennes, p. 638-652.

Broquin (1948). Concession d'antimoine du Semnon. Rapport de l'Ingénieur des T.P.E. (Mines) adjoint à l'Ingénieur des Mines. Services des Mines de Nantes, 7 p.

Leclère (1910). Surveillance de l'industrie minérale et des appareils à vapeur en 1909. Service des Mines, rapport de l'ingénieur en chef. In: Conseil Général de l'Ille-et-Vilaine, session d'aout 1910, L. Caillot et fils, imprimeur, Rennes, p. 341-352

Leclère A.(1911). Surveillance de l'industrie minérale et des appareils à vapeur en 1910. Service des Mines, rapport de l'ingénieur en chef. In: Conseil Général de l'Ille-et-Vilaine, session d'octobre 1911, L. Caillot et fils, imprimeur, Rennes, p. 926-940.

Leclère A.(1912). Surveillance de l'industrie minérale et des appareils à vapeur en 1910. Service des Mines, rapport de l'ingénieur en chef. In: Conseil Général de l'IIle-et-Vilaine, session de septembre 1912, L. Caillot et fils, imprimeur, Rennes, p. 882-899.

Leclère A.(1913). Surveillance de l'industrie minérale et des appareils à vapeur en 1913. Service des Mines, rapport de l'ingénieur en chef. In: Conseil Général de l'Ille-et-Vilaine, session de septembre 1913, L. Caillot et fils, imprimeur (1914), Rennes, p. 935-952.

Pawlowski A. (1919). Annuaire des mines & minerais métalliques de France et d'Algérie. Annuaires Industriels Heudelot, Paris, 216 p.

Stouvenot (1918). Procès-verbal de visite, service des Mines de Nantes.

Annexe 2

Analyses chimiques d'échantillons de roches de la Concession du Semnon par la SMMP (Michaud, 1975)

Haldes de la mines du Semnon		Au g/t	Sb %
SEM1	Quartz, échantillon moyen obtenu par quartage d'un tas d'environ 5 kg	<1	
SEM2	Dolérite, échantillon moyen, sulfures abondants	2	
SEM3	Quartz dans schiste chloriteux très écrasé	2	
SEM4	Quartz riche en stibine avec éponte de dolérite (30%)	5	
SEM5	Dolérite riche en sulfures	2	
SEM6	Quartz en veinule dans dolérite (60 % de l'échantillon)	<1	
Coupe de la dolérite et de son encaissant au niveau de la mine			
SEM10	Dolérite massive (mur)	<0,1	<0,005
SEM11	Dolérite massive (mur)	<0,1	0,008
SEM12	Dolérite schistosée (mur)	<0,1	<0,005
SEM13	Dolérite massive (mur)	<0,1	0,015
SEM14	Dolérite massive (mur)	<0,1	0,013
SEM15	Schistes très riches en pyrite (toit)	<0,1	<0,005
SEM16	Schistes très pauvres en sulfures (toit)	<0,1	0,010
Affleurements de dolérites en dehors de la zone de la mine			
SEM17	À 1 km à l'est des travaux miniers (prolongement mine)	<0,1	<0,005
SEM18	À 1 km à l'est des travaux miniers (prolongement mine)	<0,1	0,010
SEM37	Au nord-est, vieille voie ferrée, dolérite altérée	<0,1	<0,005
SEM38	Au nord-est, vieille voie ferrée, dolérite massive avec sulfures	<0,1	0,008
SEM39	Au nord-est, vieille voie ferrée, dolérite en charnière synclinale	<0,1	<0,005

SEM40	Au nord-est, vieille voie ferrée, schistes à sulfures	<0,1	<0,005
SEM41	Au nord-ouest, vieille voie ferrée, dolérite altérée	<0,1	<0,005
SEM42	Au nord-ouest, vieille voie ferrée, faciès tufacé altéré	<0,1	<0,005
SEM43	Au nord-ouest, vieille voie ferrée, dolérite un peu altérée	<0,1	<0,005
Mine du Semnon, niveau -17 m, traçages et recoupes			
SEM22	Extremité est du traçage, dolérite à sulfures	<0,1	<0,005
SEM23	A l'est du traçage, quartz à stibine	<0,1	0,46
SEM24	Dans le traçage, dolérite claire à sulfures	<0,1	0,091
SEM25	Dans le traçage, dolérite massive à sulfures	<0,1	0,022
SEM26	Dans le traçage, schistes broyés avec quartz, pyrite et stibine	1,1	12,00
SEM27	Dans le traçage, schistes à gros cristaux de pyrite	1,5	0,14
SEM28	Recoupe nord, schistes du mur très riches en sulfures	<0,1	0,017
SEM29	Recoupe nord, quartz à stibine et sulfures	0,3	0,67
SEM30	Recoupe nord, dolérite massive, sulfures peu abondants	1,5	0,024
SEM31	Recoupe nord, dolérite massive, sulfures peu abondants	<0,1	0,069
SEM32	Recoupe nord, dolérite massive	<0,1	0,084
SEM33	Recoupe nord, dolérite schistosée, peu de sulfures	0,8	0,59
SEM34	Recoupe nord, schistes du toit très riches en pyrite	<0,1	0,022
SEM35	Vers le puits, dolérite massive à sulfures	0,2	0,27
SEM36	Au puits, dolérite avec un peu de sulfures	<0,1	0,013

Annexe 3

Analyse chimique à la microsonde électronique d'une traverse le long d'un cristal d'arsénopyrite du Semnon

No	S	Fe	As	Se	Ag	Au	Bi	Co	Ni	Sb	Total
1	21.71	35.35	41.80	0.09	-	0.15	-	-	-	-	99.13
2	21.38	35.49	42.63	0.07	-	-	-	-	-	0.04	99.60
3	21.60	35.56	42.14	-	-	-	0.20	-	-	0.06	99.55
4	21.70	35.73	42.85	-	-	-	-	-	-	0.08	100.36
5	20.17	35.82	42.59	0.09	-	-	-	-	-	0.09	98.75
6	21.69	35.61	42.13	0.11	-	-	0.22	-	-	0.14	99.90
7	21.85	35.72	41.75	0.13	-	-	-	-	0.11	0.14	99.69
8	21.62	35.68	41.96	0.13	-	-	-	-	-	0.52	99.91
9	21.10	35.52	42.34	-	-	-	0.17	-	-	0.68	99.81
10	21.85	35.69	41.87	-	-	-	-	-	-	0.57	99.98
11	21.44	35.58	42.46	-	-	-	-	-	-	0.32	99.80
12	21.37	35.63	42.42	0.13	-	0.09	0.12	-	-	0.28	100.05
13	21.13	35.78	42.83	0.12	-	-	-	-	-	0.26	100.11
14	21.12	35.38	42.30	0.10	-	0.16	-	-	-	0.20	99.25
15	21.26	35.21	42.97	0.13	-	-	-	-	-	0.24	99.81
16	21.25	35.03	42.58	-	-	-	-	-	-	0.35	99.22
17	20.99	35.29	42.81	-	-	-	0.21	-	0.12	0.71	100.11
18	21.30	35.83	43.05	0.07	-	0.10	0.15	-	0.12	0.23	100.84
19	21.51	35.55	42.77	0.15	-	-	-	-	0.06	0.25	100.29
20	21.74	35.70	42.14	0.07	0.07	-	-	-	-	0.24	99.95
21	21.02	35.60	42.25	0.08	-	-	-	-	-	0.52	99.46
22	21.90	35.72	42.35	0.06	-	-	-	-	-	0.27	100.30
23	21.27	35.74	42.45	0.07	-	0.09	0.17	-	-	0.11	99.90
24	21.34	35.66	42.69	-	-	-	0.11	-	-	0.08	99.89
25	21.40	36.21	42.70	0.16	-	0.10	0.24	-	-	-	100.84

	Fe	As	S	Au	Ag	Se	Co	Ni	Bi	Sb	
1	1.015	0.895	1.086	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	3
2	1.018	0.912	1.068	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	3
3	1.020	0.901	1.078	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	3
4	1.016	0.908	1.075	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	3
5	1.046	0.927	1.026	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	3
6	1.018	0.898	1.080	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.002	0.002	3
7	1.020	0.888	1.086	0.000	0.000	0.003	0.000	0.003	0.000	0.002	3
8	1.022	0.896	1.079	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.007	3
9	1.026	0.912	1.061	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.009	3
10	1.020	0.892	1.088	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	3

11	1.021	0.908	1.071	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	3
12	1.022	0.907	1.067	0.001	0.000	0.003	0.000	0.000	0.001	0.004	3
13	1.026	0.916	1.055	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.003	3
14	1.022	0.911	1.063	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.003	3
15	1.012	0.921	1.064	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.003	3
16	1.013	0.917	1.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	3
17	1.019	0.921	1.055	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	0.009	3
18	1.021	0.915	1.057	0.001	0.000	0.001	0.000	0.003	0.001	0.003	3
19	1.015	0.910	1.070	0.000	0.000	0.003	0.000	0.002	0.000	0.003	3
20	1.020	0.897	1.081	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.003	3
21	1.029	0.911	1.058	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.007	3
22	1.016	0.898	1.085	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.003	3
23	1.026	0.908	1.063	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	3
24	1.022	0.912	1.065	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	3
25	1.030	0.905	1.060	0.001	0.000	0.003	0.000	0.000	0.002	0.000	3

Analyse (en poids %, en haut) à la microsonde électronique d'une traverse le long d'un cristal d'arsénopyrite du Semnon (les valeurs inférieures au seuil de détection sont indiquées par « -«) et formules structurales normalisées sur 3 atomes (en bas). Cristal situé dans les schistes hydrothermalisés à l'éponte du dyke de dolérite (niveau -17 m, mur de l'éponte sud à 45 m au nord-ouest du puits du Coudray.

Microsonde CAMECA SX50 laboratoire commun BRGM-CNRS-Université d'Orléans. Conditions d'analyses : 20 kV, 25 nA. Eléments, raies d'émission (standards) et temps de comptage : Co Kα (cobalt métal, 20s), Ni Kα (nickel métal, 20s), Au Mα (or métal, 30s), Sb Lα (stibine, 30s), Ag Lα (argent metal, 20s), Se Lα (selenium metal, 20s), Bi Mα (bismuth métal, 20s), Fe Kα (pyrite, 10s), S Kα (pyrite, 10s), As Lα (AsGa synth. 10s).

Annexe 4

Liste des fichiers numériques sur le CD

Tous les fichiers sont en coordonnées projetées RGF Lambert 93 (EPSG 2154).

Répertoire \ArcGIS_Explorer_Desktop_Install :

Fichier d'installation du visualisateur gratuit ArcGIS Explorer à installer (version windows uniquement) pour ouvrir les fichiers shapefile.

Répertoire \SIG :

Nom du fichier	Description	Type	Nombre
Anomalies_gravi.shp	Contours des anomalies denses (issues de la gravimétrie) en profondeur issues de l'analyse de Pochon *et al.,* 2016a	Polygones	11
Anomalies_mag.shp	Contours des anomalies magnétiques (signal analytique) en profondeur issues de l'analyse de Pochon *et al.,* 2016a	Polygones	31
District_cadre.shp	Cadre d'emprise de la zone d'étude	Polygones	1
District_hydro.shp	Réseau hydrologique dans le district	Polylignes	56
District_hydro_bassin_versant.shp	Bassins versants dans le district	Polygones	4
District_mnt	Modèle Numérique de Terrain du district (maille 25 m)	Grille	1
District_villes.shp	Localisation des principales villes du district	Points	13
Geochimie_bedrock.shp	Points d'analyses et valeurs Sb et Au d'échantillons de bedrock sur le prospect des Touches	Points	39
Geochimie_sol	Interpolation inverse distance 8 voisins des valeurs en antimoine des grilles de géochimie sol	Grille	1
Geochimie_sol_emprise.shp	Emprise des zones couvertes par la géochimie sol	Polygones	10
Geochimie_sol_points.shp	Point d'échantillonnage de sol et résultat d'analyse Sb et/ou Au	Points	2312
Geochimie_sol_profils.shp	Localisation de profils d'analyse de géochimie sol sans valeurs (à priori négatif)	Polylignes	8
Geologie_50k.shp	Géologie de la carte au 1 : 50000 sur l'emprise du district	Polygones	573
Geologie_50k_failles.shp	Failles de la carte au 1 : 50000 sur l'emprise du district	Polylignes	251
Geologie_Contours.shp	Contours interprétés des dolérites du district issu de la synthèse des intersections dans les tranchées	Polylignes	388

Geologie_dolerites.shp	Tracé interprété des dolérites du district issu de la synthèse des intersections dans les tranchées et des plans miniers	Polygones	99
Limites-PER-Concession.shp	Limites administratives des PER et de la Concession de SMMP	Polylignes	3
Localisation_Prospects.shp	Localisation des principaux prospects du district	Points	5
Mine_Analyses.shp	Localisation et résultat d'analyses Sb-Au de roches du niveau -17 m de la mine du Semnon (voir annexe 2)	Points	15
Mine_Galeries.shp	Tracé du niveau -17 m de la mine du Semnon (Marot, 1984) et tracé approximatif des traçages de la mine.	Polylignes	14
Mine_puits_Coudray.shp	Position XYZ du fond du Puits Coudray	Polylignes	1
Mine_puits_niv_01.shp	Puits et cheminées du niveau -17 m	Polylignes	4
Mine_puits_niv_02.shp	Puits et cheminées du niveau -29 m	Polylignes	2
Mine_puits_niv_03.shp	Puits et cheminées du niveau -51 m	Polylignes	1
Mine_puits_niv_04.shp	Puits et cheminées du niveau -77 m	Polylignes	2
Mine_puits_niv_05.shp	Position XYZ du fond du Puits Coudray	Polylignes	8
Scene_3D.sxd	Document ESRI Arcscene à ouvrir pour visualiser les prospects en 3D		
Sondages_DD_dolerites.shp	Interception de dolérite en sondage carotté	Polylignes	34
Sondages_DD_passes_Sb_Au.shp	Sections minéralisées dans les sondages carottés et valeurs pour Sb et/ou Au	Polylignes	35
Sondages_RC_passes.shp	Sections minéralisées dans les sondages destructifs et valeurs pour Sb et/ou Au	Polylignes	246
Sondages_tetes.shp	Position XYZ des têtes de sondage et caractéristiques des sondages	Points	41
Sondages_traces.shp	Trace 3D des sondages	Polylignes	41
Tranchees.shp	Trace des tranchées en surface	Polylignes	22
Tranchees_analyses.shp	Résultats d'analyses de rainurages métriques pour Sb et/ou Au dans les tranchées	Points	102
Volumes_mineralises.shp	Parallélépipèdes sur lesquels sont basés les estimations de ressources pour les prospects des Touches et de La Coëfferie	Polygones	2

Répertoire \LOGS SONDAGES :

Nom du fichier	Description
0389_00001_LA-COEFFERIE_LOG-SC-SEM1.jpg	Log du sondage SEM-1 et analyses ponctuelles Sb, Au, W, As
0389_00001_LA-COEFFERIE_LOG-SC-SEM2.jpg	Log du sondage SEM-2 et analyses ponctuelles Sb
0389_00001_LA-COEFFERIE_LOG-SC-SEM3.jpg	Log du sondage SEM-3 et analyses ponctuelles Sb et Au
0389_00001_LES-TOUCHES_LOG-SC-TCH1.jpg	Log du sondage TCH-1 et analyses ponctuelles Sb et Au
0389_00001_LES-TOUCHES_LOG-SC-TCH2.jpg	Log du sondage TCH-2 et analyses ponctuelles Sb et Au
0389_00001_LES-TOUCHES_LOG-SC-TCH3.jpg	Log du sondage TCH-3 et analyses ponctuelles Sb
0389_00002_LA-LIBORIERE_LOG-SC-LIB1.jpg	Log du sondage LIB-1 et position des analyses ponctuelles Sb et Au SANS les résultats.
0389_00002_LA-LIBORIERE_LOG-SC-LIB2.jpg	Log du sondage LIB-2 et position des analyses ponctuelles Sb et Au SANS les résultats.
0389_00002_LE-HAUT-COUDRAY_LOG-SC-HCD1.jpg	Log du sondage HCD-1 et position des analyses ponctuelles Sb et Au SANS les résultats.
0389_00002_LE-HAUT-COUDRAY_LOG-SC-HCD2.jpg	Log du sondage HCD-2 et position des analyses ponctuelles Sb et Au SANS les résultats.
0389_00002_LE-HAUT-COUDRAY_LOG-SC-HCD3.jpg	Log du sondage HCD-3 et position des analyses ponctuelles Sb et Au SANS les résultats.
0389_00002_LE-HAUT-COUDRAY_LOG-SC-HCD4.jpg	Log du sondage HCD-4 et position des analyses ponctuelles Sb et Au SANS les résultats.
0389_00002_LE-HAUT-COUDRAY_LOG-SC-HCD5.jpg	Log du sondage HCD-5 SANS les analyses

Géosciences pour une Terre durable
brgm

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