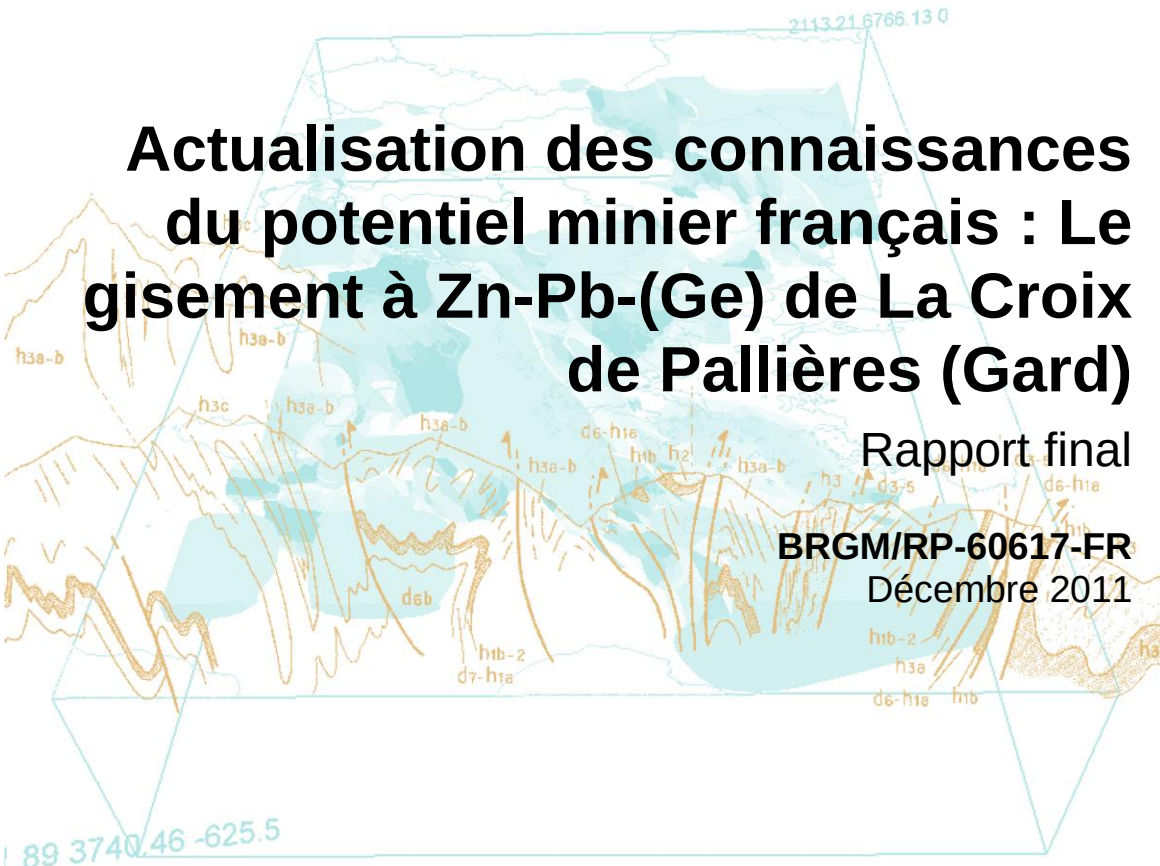




Actualisation des connaissances du potentiel minier français : Le gisement à Zn-Pb-(Ge) de La Croix de Pallières (Gard)

Rapport final

BRGM/RP-60617-FR

Décembre 2011



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Actualisation des connaissances du potentiel minier français : Le gisement à Zn-Pb-(Ge) de La Croix de Pallières (Gard)

Rapport final

BRGM/RP-60617-FR
Décembre 2011

J. Gouin et L. Bailly

Vérificateur :

Nom : Lebre P.

Date : 21/12/2011

Signature :



Approbateur :

Nom : Braux C.

Date : 22/12/2011

Signature :


C. BRAUX
Chef de service
Ressources Minérales

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

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

Mots clés : Inventaire minier, germanium, zinc, La Croix de Pallières, Gard.

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

Gouin J., Bailly L. (2011) – Actualisation des connaissances du potentiel minier français : Le gisement à Zn-Pb-(Ge) de La Croix de Pallières (Gard). Rapport BRGM/RP-60617-FR, 2 annexes, 53 p.

Synthèse

Dans le cadre d'un accord entre le BRGM et le MEDDTL représenté par la DEB, il a été demandé au BRGM de réaliser un réexamen des données de l'Inventaire minier existantes sur une zone à métaux stratégiques potentiels. Il a été choisi une zone à anomalie zincifère de la bordure cévenole, en le complétant des données éventuellement existantes d'une ancienne mine dans cette zone : la Croix de Pallières (Gard, Zn-Pb-Ge). L'objectif de cette opération a été de collecter le plus de d'informations possibles pour d'une part évaluer le temps nécessaire à la recherche et l'examen des données disponibles (dont archives) sur les minéralisations de cette zone, et d'autre part, d'en déduire ce que l'on ne sait pas afin de proposer d'éventuelles suites à donner, que ce soit sous forme de compléments analytiques ou de façon plus lourde, sous forme de travaux d'exploration, à envisager éventuellement par une « junior ».

La prospection géochimique menée dans le cadre de l'Inventaire minier sur l'ensemble de la bordure cévenole n'avait pas permis de mettre de nouveaux gisements en évidence dans cette région. L'évaluation d'anomalies en métaux stratégiques, n'a pas pu être testée car les éléments comme Ge, Ga et Se, potentiellement associés à ce type de minéralisation, n'ont pas été analysés lors de l'Inventaire.

La documentation existante sur le site minier de Zn-Pb de la Croix de Pallières est importante. Près de 130 documents (rapports scientifiques et d'activité des exploitants, logs de sondage, coupes géologiques, plans de la mine, données administratives, données de l'Inventaire minier français...) ont été récupérés dans les archives. Cette mine a été exploitée entre 1844 et 1971 par la Société de la Vieille Montagne, la période de 1948 à 1971 ayant été la plus intense. Elle a produit 80 000 t Zn, 34 000 t Pb, 30 t Ag, 520 t Cd et 28 t Ge à partir du traitement de plus d'1 Mt de minerai tout-venant. L'activité minière cesse définitivement faute de réserves en 1971. Malgré des recherches d'extension par sondages menées par la Société de la Vieille Montagne entre 1975 et 1979, l'activité ne reprendra pas et la concession sera renoncée en 2004 par la Société Umicore. Les seuils de coupure de l'époque ne sont pas connus.

Des études environnementales récentes, notamment réalisées par GEODERIS dans le cadre de l'Inventaire des Risques Miniers, font apparaître la quantité importante de métaux encore contenu dans les résidus miniers (> quelques % Zn-Pb, As...) sur l'ancienne mine de la Croix de Pallières, ainsi que sur les anciennes mines de l'ensemble de la bordure cévenole. Ces tas pourraient constituer aussi un minerai « anthropique » exploitable, les volumes à évaluer semblant considérables.

Il est proposé d'étendre l'étude à l'ensemble de la zone à zinc de la bordure cévenole, en réalisant une centaine d'analyses géochimiques pour vérifier la présence de germanium et galium, et identifier les zones qui sembleraient les plus favorables à des sondages préliminaires pour vérifier l'éventuelle présence de gisements de sub-surface.

Sommaire

1. Introduction	7
2. Documents consultés et chronogramme	9
2.1. DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE	9
3. Données sur le site de La Croix de Pallières.....	13
3.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET ADMINISTRATIVE DU GISEMENT DE ZINC DE LA CROIX DE PALLIÈRES	13
3.1.1. Situation géographique	13
3.1.2. Cadre administratif de la concession de minerai de zinc	14
3.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL DU GISEMENT	15
3.2.1. Géologie et structure	15
3.2.2. La minéralisation	19
3.3. EXPLOITATION ET PRODUCTION	21
3.3.1. Historique	21
3.3.2. Méthodes d'exploitation	22
3.3.3. Production	23
3.4. L'INVENTAIRE MINIER ET LES TRAVAUX RÉCENTS	24
3.4.1. Recherche d'extension de la minéralisation zincifère	24
3.4.2. Etude GEODERIS	29
4. Conclusions et perspectives.....	33
5. Bibliographie	37

Liste des illustrations

Figure 1 : Carte de localisation du site de la Croix de Pallières.....	10
Figure 2 : Principales unités géologiques et principaux gisements du domaine péri-cévenole (Macquar et al., 1988).	13
Figure 3 : Situation géographique générale des concessions de minerai de zinc de la région du gisement de la Croix de Pallières (Fiche GEODERIS, 2008).	14
Figure 4 : Cadre géologique du gîte de la Croix de Pallières (Aubague et al., 1981).	16
Figure 5 : Coupe géologique de la structure de Pallières (Leenhardt, 1972).	17
Figure 6 : Carte géologique de la région de la mine de la Croix de Pallières (Leenhardt, 1972).	18
Figure 7 : Coupe du gisement de la Croix de Pallières.	20
Figure 8 : Localisation des points de prélèvements de géochimie sol et stream sediment de l'Inventaire minier dans un rayon d'environ 15 km autour du gisement de la Croix de Pallières.	25
Figure 9 : Les grandes unités géologiques, paléogéographiques et structurales du sud du Massif central ; Principaux gisements Pb-Zn-Ag du domaine méridional (Stolojan et Viland, 1991).	28
Figure 10 : Localisation des haldes de l'ancienne Mine Joseph au sud et de la concession Pallières et Gravouillère au nord, et positionnement des points de mesures Niton (notés PT) effectués sur la zone. (Fiche GEODERIS, 2008)	31
Figure 11 : Localisation de la digue à résidus de traitement (PR7) et du terroir de résidus miniers (PR8), et positionnement des points de mesures Niton (notés PT) effectués sur la zone. (Fiche GEODERIS, 2008)	31
Figure 12 : Inventaire BRGM, géochimie stratégique. Localisation des échantillons et types d'analyses (d'après Lambert, 2005).	35

Liste des tableaux

Tableau 1 : Chronogramme de l'organisation des visites des archives.	11
Tableau 2 : Production et réserves des gîtes français de plomb – zinc (argent) dans les départements de Lozère, Ardèche, Gard, Hérault, Aveyron et Lot (extrait de Stolojan et Viland, 1991).	26
Tableau 3 : Synthèse des résultats NITON obtenus sur les haldes et les résidus de traitement de la mine de la Croix de Pallières (Fiche GEODERIS, 2008)..	30

Liste des annexes

Annexe 1 : Inventaire minier : Cartes des résultats de la géochimie sol.....	43
Annexe 2 : Inventaire minier : Cartes des résultats de la géochimie stream sediment	49

1. Introduction

Depuis l'époque romaine et jusqu'au début des années 2000, des ressources minérales métalliques de toutes sortes ont été explorées et exploitées en France, tels que : des métaux de base (fer, aluminium, cuivre, plomb, zinc, nickel, étain ...), des métaux précieux (or, argent), et des métaux stratégiques (tungstène, antimoine, uranium, germanium, tantale, cadmium...).

L'envolée des cours des matières premières qui s'est produite au début des années 1970, triplement des prix des phosphates, doublement des cours du zinc et une explosion des cours du brut qui a donné lieu au premier « choc pétrolier », est à l'origine du programme d'Inventaire Géochimique du territoire français. Ce programme a été établi en réponse, d'une part à une crainte pour la sécurité des approvisionnements en matières premières pour l'industrie, et d'autre part à cause des hausses de prix sur les produits de grande consommation provoquant une certaine irritation de l'opinion publique.

Connu sous le nom d'Inventaire minier, ce travail a conduit à la production de très nombreuses données sur la répartition naturelle des métaux dans le sous-sol français. Pris en charge par des financements de l'Etat français, les premiers stades de l'exploration minière ont été confiés au BRGM. De ce fait le BRGM, conformément à sa mission de Service public et à la demande du Ministère de l'Industrie, a effectué de nombreuses campagnes de prospection à vocation minière entre les années 1975 et 1991 ; ces opérations étaient réalisées dans le cadre du programme « Inventaire des ressources minérales du territoire national ». Le but principal de susciter l'intérêt des investisseurs privés à prendre à leur compte la valorisation de gîtes reconnus et au final d'éventuellement exploiter les ressources identifiées associées à ces gîtes.

La présente étude, réalisée dans le cadre d'un partenariat entre le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, représenté par la Directrice de l'Eau et de la Biodiversité (DEB), et le BRGM, a pour objectif de revaloriser les données disponibles sur l'ancienne mine de Zn-Pb de la Croix de Pallières (Gard), notamment les données de l'Inventaire minier français, et d'identifier les travaux complémentaires à réaliser pour évaluer le potentiel de ce gisement en métaux stratégiques, notamment le germanium (Ge).

Il s'agit dans un premier temps de localiser et de collecter l'essentiel des données disponibles (données numériques, données papier, état de l'art bibliographique, localisation des échantillons de l'Inventaire minier...) sur le gisement de la Croix de Pallières, ainsi que d'évaluer le temps nécessaire à la réalisation de cette démarche. Puis, dans un second temps, de présenter un état des lieux actualisé des connaissances, en termes de contexte géologique, d'historique administratif et de travaux miniers (exploitation, inventaire minier).

Le but de cette action est double :

- Amorcer un point de situation sur un ancien site minier pour mesurer le temps nécessaire à la collecte des données (sans retour au terrain), et penser aux possibilités de valorisations futures du potentiel minier vers des compagnies minières ;
- Faire un premier test méthodologique de réexamen des connaissances en ressources minérales disponibles sur un gisement du territoire national et estimer les possibles suites à donner à partir de ce test (procédures de recueil des données, moyens de valorisation, transfert des données thésaurisées, temps passé...).

2. Documents consultés et chronogramme

2.1. DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE

Cette étude a débuté par une phase de collecte d'informations orientée principalement sur la recherche des données de l'Inventaire minier, ainsi que toutes informations concernant le contexte géologique, l'exploration et l'exploitation minière du gisement de zinc et plomb de la Croix de Pallières (Gard), situé à environ 15 km au SO d'Alès, près de la commune d'Anduze (Figure 1).

Les archives du BRGM à Orléans ont été consultées, celles du Service Ressources Minérales et 4 boîtes d'archives historiques présentes dans les archives du BRGM traitant des travaux 1) de coopération BRGM – compagnie de la Vieille Montagne et 2) de l'inventaire minier pour la reconnaissance géologique et la recherche d'extension au gisement de la Croix de Pallières. La base de données des rapports BRGM en ligne, gérée et mise à jour par la bibliothèque centrale du BRGM a été consultée, tout comme la Banque de données du Sous-Sol (BSS). Au total, 70 documents ont été trouvés : 63 rapports et articles scientifiques, la base de données de l'Inventaire Minier et 5 fiches BSS qui sont également consultables sur le site InfoTerre du BRGM (www.brgm.fr), et 1 fiche descriptive des anciens sites miniers (BASIAS). D'autre part, dans les caves du service REM, une partie des échantillons de la prospection géochimique (stream sediment + sol) de l'Inventaire minier est stockée, dont certains pourraient correspondre à la zone de la bordure cévenole. Les données brutes des analyses de ces échantillons sont consultables sur <http://sigminesfrance.brgm.fr/>.

Des contacts et des prises de rendez-vous ont ensuite été établis auprès des organismes susceptibles de posséder des données sur le site de l'étude pour aller consulter les archives en leur possession : i) le DPSM / UTAM Sud basé à Gardanne (Département Prévention et Sécurité Minière / Unité Territoriale Après-Mine), ii) les Archives de la DREAL Languedoc-Roussillon située à l'Ecole des Mines d'Alès, iii) les Services Géologiques Régionaux de Montpellier (Languedoc-Roussillon) et de Toulouse (Midi-Pyrénées), et iv) GEODERIS Sud à Alès.

Lors de la prise de contact avec le Directeur du DPSM Sud, ce dernier a déclaré qu'aucune archive concernant le gisement de la Croix de la Pallières n'était présente sur le site de Gardanne.

La consultation des archives s'est alors focalisée sur les autres organismes cités auparavant. Elle s'est réalisée pendant le mois d'octobre 2011, sur deux missions de 3 jours chacune (Tableau 1) : 1) une première visite au début du mois d'octobre à GEODERIS et la DREAL à Alès, ainsi qu'au SGR à Montpellier, et 2) une seconde visite à la fin du mois d'octobre à la DREAL et à l'Ecole des Mines d'Alès, ainsi qu'au SGR à Toulouse.



Figure 1 : Carte de localisation du site de la Croix de Pallières.

Source des documents	Période
GEODERIS Alès Archives de la DREAL Languedoc-Roussillon à Alès Archives du SGR Languedoc-Roussillon à Montpellier	3 – 5 octobre 2011 (3 jours)
Source des documents	Période
Archives de la DREAL Alès Ecole des Mines d'Alès Archives du SGR Midi-Pyrénées à Toulouse	24 – 26 octobre 2011 (3 jours)

Tableau 1 : Chronogramme de l'organisation des visites des archives.

A GEODERIS Alès, la prise de contact s'est faite auprès du Directeur, qui nous a dirigé vers un Ingénieur Géologue qui avait participé en 2008 à une étude sur les anciens sites miniers dans le cadre de l'Inventaire des Risques Miniers environnementaux, et notamment sur le site de la Croix de Pallières. L'accès au rapport de cette étude a permis d'obtenir quelques résultats d'analyses géochimiques Niton (fluorescence X) sur les déblais miniers, les stériles et autres résidus de traitement du minerai de zinc. D'autre part, cette rencontre avec GEODERIS a permis de consulter la Base de Données des Titres Miniers (BDSTM) sur le site d'étude (n° 30SM0049). Des plans de localisation et des plans miniers scannés, ainsi que quelques documents administratifs ont pu être récupérés. Au total, 10 documents issus des archives de GEODERIS Alès concernent le gisement de la Croix de Pallières.

La prise de contact pour la consultation des archives de la DREAL d'Alès s'est réalisée auprès du Responsable des Archives de la DREAL. Pas moins de 8 casiers d'archives sont recensés uniquement sur la Croix de Pallières. Il s'agit pour l'essentiel, de documents administratifs (demandes de concessions, demandes d'arrêt des travaux, demandes de reprise des travaux, données d'exploitation, PV de visites de mine, gestion du personnel, déclaration d'accidents, demande de réalisation de sondages d'exploration, demande de renonciation de la concession...), mais il y a également quelques plans miniers, des logs et coupes géologiques de sondage. Au total, 12 documents¹ issus des archives de la DREAL Alès concernent le gisement de la Croix de Pallières.

¹ L'ensemble des documents administratifs est regroupé dans un casier d'archives intitulé « Documents administratifs sur la mine ».

La visite des archives de la DREAL Languedoc-Roussillon a permis de rencontrer un enseignant à l'Ecole des Mines d'Alès qui a mentionné la présence de la Thèse de Bernard (1958) intitulée « Contribution à l'étude de la province métallifère sous-cévenole », consultable à la bibliothèque de l'Ecole des Mines.

La prise de contact pour la consultation des archives du SGR Languedoc-Roussillon à Montpellier s'est réalisée auprès de l'Ingénieur Géologue en charge d'une étude des risques miniers environnementaux sur la Croix de Pallières au début des années 2000. Les documents accessibles sur le site de la Croix de Pallières, au nombre de 11, dont la fiche réalisée pendant l'étude des anciens sites miniers dans le cadre de l'Inventaire des Risques Miniers environnementaux par GEODERIS, sont issus de la BDSTM de GEODERIS. Ils proviennent pour certains des archives de la DREAL. D'autres dossiers concernant des concessions minières dans le Gard sont également présents à Montpellier, mais ne traitent ni du site de la Croix de Pallières, ni de concessions pour du minerai de zinc.

La prise de contact pour la consultation des archives du SGR Midi-Pyrénées à Toulouse s'est réalisée auprès du Géologue régional. Le SGR Toulouse constitue l'ancienne base de la Division Minière du Sud-Ouest du BRGM, qui a existé jusqu'à la fin de l'Inventaire des ressources minérales du territoire nationale au début des années 1990. L'ensemble des travaux d'exploration réalisés (campagnes de prospections géochimiques, campagnes de sondages, campagnes de levés géophysique, reconnaissance géologique), des données acquises (géochimie multiéléments, logs de sondage, coupe géologique...) et des rapports d'étude de l'inventaire minier ont été stockés à Toulouse. De plus, des données historiques sont décrites dans des rapports de la Société de la Vieille Montagne sur l'exploration minière dans la région du site de la Croix de Pallières. Au final, 22 boîtes d'archives ont été consultées et 52 documents issus des archives du SGR Toulouse concernent le gisement de la Croix de Pallières. Il s'agit principalement des données brutes de l'inventaire minier (logs de sondage, cartes d'anomalies géochimiques...), parfois interprétées dans des rapports de synthèse qui sont accessibles au BRGM à Orléans.

Pour finir, les prises de contact et de rendez-vous, et la recherche de documents réalisée dans les archives des SGR de Toulouse et Montpellier, de la DREAL Languedoc-Roussillon et à l'Ecole des Mines d'Alès, à GEODERIS Alès, ainsi qu'au BRGM Orléans, a nécessité environ 10 jours. Cela a permis de répertorier 129 documents (rapports BRGM, rapports de l'INERIS, fiche GEODERIS, rapports d'activité des compagnies propriétaires, base de données, fiches BSS, documents administratifs divers, échantillons de la géochimie de l'Inventaire minier...) sur le gisement de zinc-plomb de la Croix de Pallières et la recherche d'extension de minéralisations à zinc-plomb dans la région de cette concession minière. L'essentiel des informations récoltées a été synthétisé dans ce rapport et a servi à estimer les possibles suites à donner à partir de ce test pour valoriser d'autres zones du territoire métropolitain couvertes ou non par l'Inventaire minier.

L'ensemble des documents utilisés est synthétisé dans un tableau inséré dans la partie bibliographie.

3. Données sur le site de La Croix de Pallières

3.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET ADMINISTRATIVE DU GISEMENT DE ZINC DE LA CROIX DE PALLIÈRES

3.1.1. Situation géographique

Le site du gisement de zinc de la Croix de Pallières (Gard) est localisé sur la partie sud-est du Massif Central français, sur la bordure entre les Cévennes et le bassin du sud-est (Figure 2). Plus précisément, la Croix de Pallières se situe à 15 km au sud-ouest d'Alès, à environ 1 km à l'ouest de la commune d'Anduze. Il regroupe un ensemble de 4 concessions minières sur les communes de Saint Félix de Pallières, Thoiras et Anduze, visant à l'exploitation d'un minerai de zinc et plomb argentifère (Figure 3). Le titre minier de la Croix de Pallières est répertorié dans la base de données des titres miniers de GEODERIS et porte le numéro 30SM0049.

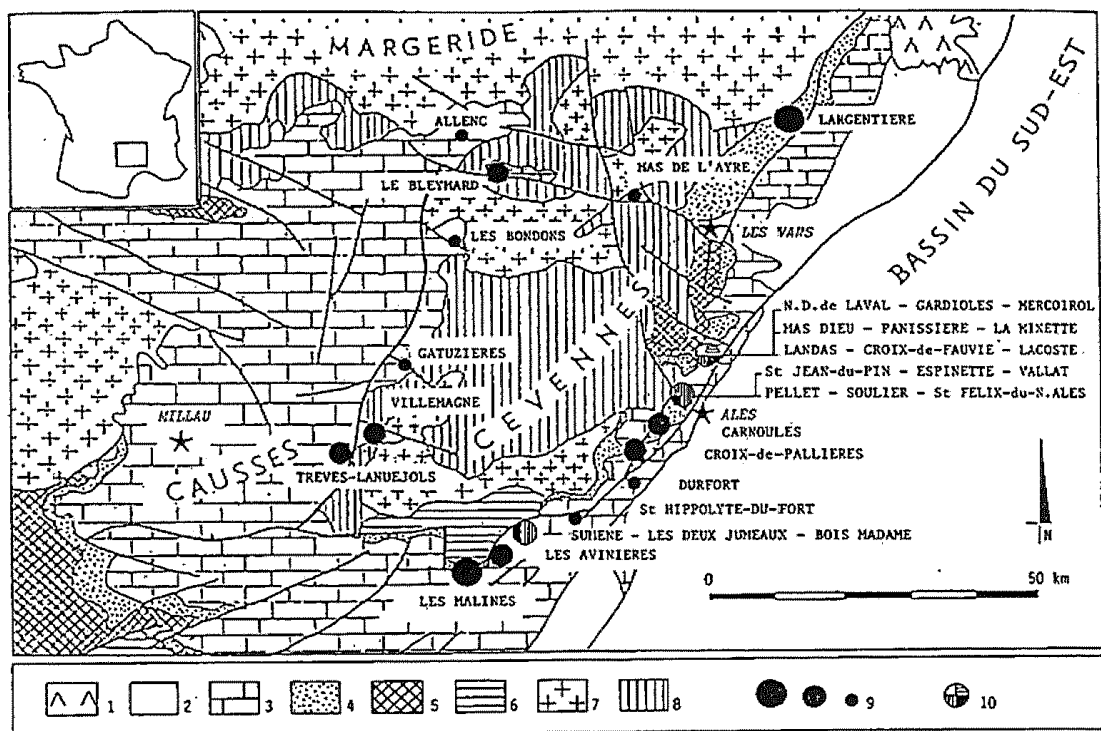


Figure 2 : Principales unités géologiques et principaux gisements du domaine péri-cévenole (Macquar et al., 1988). 1- Volcanisme récent ; 2- Terrains post-jurassiques ; 3- Jurassique ; 4- Trias ; 5- Permien et Carbonifère ; 6- Dévonien à Précambrien ; 7- Granites et migmatites ; 8- Schistes cristallins ; 9- Gisements Zn Pb Ag ($\pm$ Ba, Fe) : > 300 000 t métal, entre 300 000 et 50 000 t, et < 50 000 t ; 10- Ensemble des gîtes comprenant des corps barytiques (blanc), pyriteux (hachuré vertical), plombo-zincifères (noir) ou fluoritiques (hachuré horizontal)

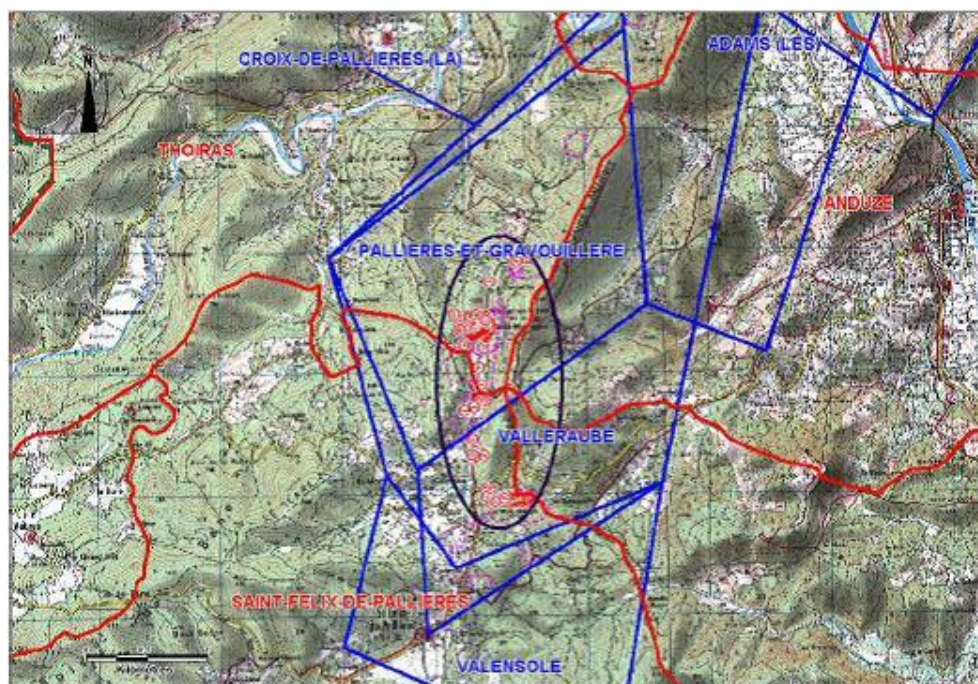


Figure 3 : Situation géographique générale des concessions de minerai de zinc de la région du gisement de la Croix de Pallières, avec en bleu la limite des titres miniers, en rouge les limites de commune et en marine la zone du gisement de la Croix de Pallières-Mine Joseph (Fiche GEODERIS, 2008).

3.1.2. Cadre administratif de la concession de minerai de zinc

Au niveau administratif, le gisement de la Croix de Pallières a été exploité pour la première fois à l'époque romaine pour la galène argentifère au niveau de la « mine Joseph » (Stolojan et Viland, 1991).

En 1844, les premières minéralisations zincifères sont découvertes. La concession de la Croix de Pallières (1048 ha) est instituée par arrêté présidentiel du 27 juillet 1848 et attribuée à plusieurs particuliers (MM. Serre, Adrien, Mirial, Thérond, Gauthier, Huc, Mathieu et Fontanes) réunis en Société de la Croix de Pallières pour Pb, Zn, Ag et métaux connexes. Le 28 septembre 1853, la Société de la Croix de Pallières est transformée en Société des Mines et Usines de Pallières (SMUP).

A partir de 1870, la SMUP a amodié ses concessions à divers exploitants. Celle de la Croix de Pallières sera amodiée par décret du 14 novembre 1913 à la Société des Mines et Fonderies de Zinc de la Vieille Montagne.

Cette dernière mène de façon intermittente des travaux d'exploration et d'exploitation sur les divers amas de 1911 à 1971. Exploitée plus ou moins activement depuis sa concession, la Société de la Vieille Montagne arrête les travaux sur la Croix de

Pallières le 21 juillet 1932. Les travaux d'exploration reprennent dès 1934 et la mine de la Croix de Pallières est remise en exploitation en 1947. En mai 1955, la mine Joseph est fermée après avoir fait l'objet d'une ultime tentative de reconnaissance. L'arrêté préfectoral du 16 juillet 1971 donne acte de la déclaration d'abandon de tous les travaux de la mine de la Croix de Pallières par la Société de la Vieille Montagne après épuisement des réserves exploitables connues à cette époque.

De 1975 à 1981, le BRGM, dans le cadre d'un partenariat pour la recherche d'extension du minerai de Pb-Zn avec la Société de la Vieille Montagne, entreprend une campagne d'exploration générale (géochimie, géophysique, sondages, environnement – étude d'impact) sur le secteur s'étendant de la Croix de Pallières jusqu'à Durfort, au sud du horst de Pallières. L'ensemble des sondages réalisés par le BRGM sur la période n'a pas mis suffisamment de minéralisations économiques en évidence pour relancer l'exploitation, ceci a clôt l'activité minière des concessions de la région.

Le décret du 21 mars 1977 autorise la mutation de la concession de la Croix de Pallières à la Société des Mines et Fonderies de Zinc de la Vieille Montagne.

Le 10 juin 1998, la Société de la Vieille Montagne devenue Union Minière France S.A. introduit un dossier de renonciation pour la concession de la Croix de Pallières, en raison d'études géologiques qui ont conclu à l'absence d'intérêt économique du sujet.

Par arrêté de la ministre déléguée à l'industrie du 19 mars 2004, la renonciation de la société Union Minière devenue Umicore à la concession de mines de zinc, plomb argentifère et autres métaux, le fer excepté, dite « Concession de la Croix de Pallières » (Gard), est acceptée.

3.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL DU GISEMENT

3.2.1. Géologie et structure

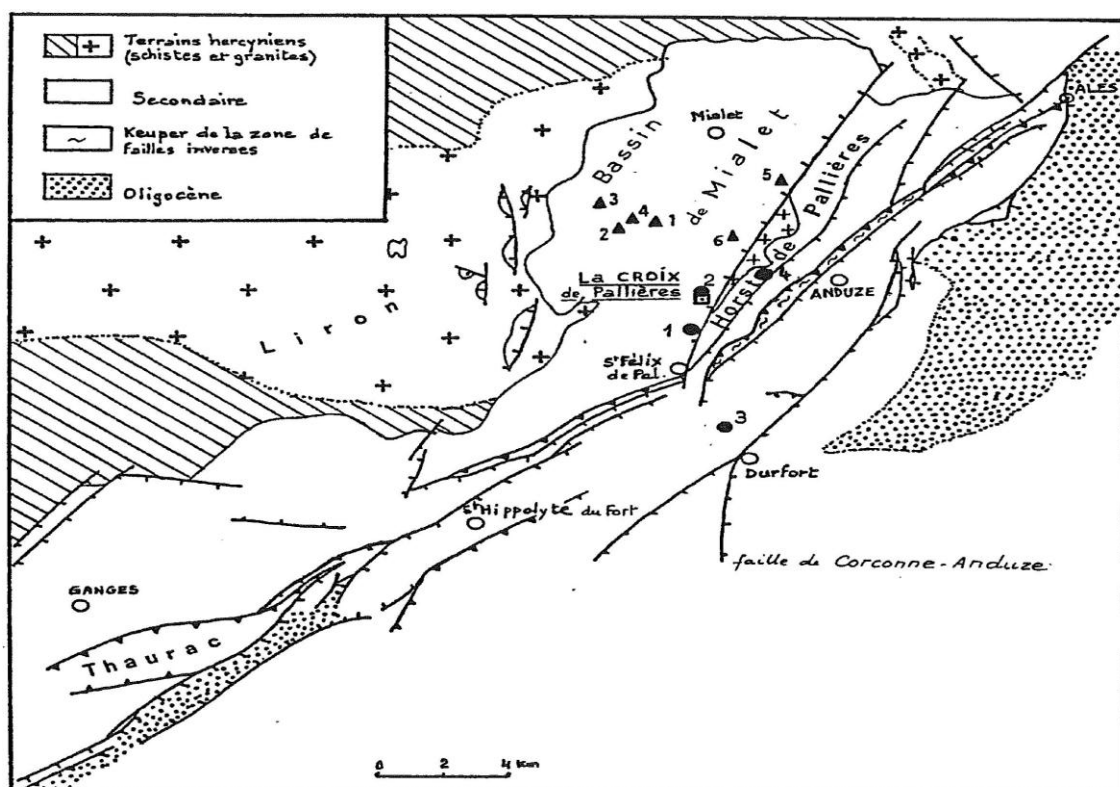
La bordure sous-cévenole dans la région d'Anduze peut être définie comme l'unité tectonique de la couverture secondaire qui s'intercale entre les formations tabulaires crétacées ou tertiaires du bassin languedocien et les affleurements du socle sur la bordure SE du Massif Central.

Cette bordure s'individualisait déjà lors des premiers dépôts mésozoïques. Elle couvrait le domaine de sédimentation correspondant à la plateforme épicontinentale, et participait dans une position de charnière, aux mouvements tectoniques régionaux. Au Trias et au Jurassique, elle a fait l'objet de réajustements locaux, qui se caractérisent par des anomalies dans la sédimentation et la mise en place d'une structuration particulière, repris ultérieurement lors de la tectonique tertiaire.

A cette période tectono-sédimentaire correspond une province métallifère. Encaissées par différents types de roches, des minéralisations, essentiellement à sphalérite –

pyrite – galène, s'échelonnent depuis Largentière au Nord jusqu'au Malines à l'extrémité méridionale.

Dans sa partie médiane, de part et d'autre d'Anduze, la bordure cévenole constituée de dépôts triasiques et jurassiques a une orientation NNE-SSW. Elle s'étend sur une largeur de 10km, depuis le socle granito-schisteux à l'ouest, jusqu'à la faille de Corconne-Anduze qui marque la limite orientale de la plateforme (Figure 4).



- ▲ Coupes utilisées : 1, Salindre, 2, Le Roc, 3, Carrière Camp Soureille, Ponteil, 4, L'Elze, 5, Les Puechs, 6, Corbès
 - Sondages utilisés: 1, Cadeyer 2 et 4, St Félix de Pallières 2
2, Croix de Pallières 1, 3, Cabane 1, 4: CT (VM) -
 - Gîte plombo-zincifère de la Croix de Pallières
- d'après le schéma cartographique de M. Séguret et F. Proust (1965)

Figure 4 : Cadre géologique du gîte de la Croix de Pallières (Aubague et al., 1981).

La bordure cévenole présente une organisation particulière due à la présence d'une ligne de hauts-fonds, qui se met en place dès le Secondaire et qui est réactivée au Tertiaire. Celle-ci isole de façon discontinue un bassin marginal du « large » languedocien, et conduit à une sédimentation différenciée tant par ses épaisseurs réduites que par ses faciès particuliers (Aubague et al., 1981).

La zone d'Anduze a acquis sa configuration particulière, due à l'apparition en pleine couverture secondaire, à 3 km à l'est de la bordure normale du socle, d'une structure en horst qui joue à travers le Lias et ramène en surface le granite du socle et les arkoses du Trias sous-jacents. Cette structure, appelée horst de Pallières (Figure 5), s'étend en direction cévenole sur 10 km depuis son enracinement au nord dans le socle cévenol, jusqu'à Saint-Félix-de-Pallières au sud, où elle est sectionnée par des accidents transversaux.

Le gisement de la Croix de Pallières se situe sur la bordure ouest du horst de Pallières, structure active dès le Lias, qui isole deux domaines sédimentaires (Figure 6) :

- Vers l'ouest, un petit bassin triasique à liasique (bassin de Mialet – Thoiras), qui contient les minéralisations, portées essentiellement par les dolomies de l'Hettangien. Les amas minéralisés sont situés au voisinage de fractures de distension (failles de la Cantine, du Minerai, de Pallières, etc.) ;
- Vers l'est, le bassin languedocien, où les séries jurassiques se raccordent par marches d'effondrement successives.

Le contexte paléogéographique précis du gîte correspondrait à une gouttière transversale au flanc ouest des hauts-fonds. La série porteuse est totalement dolomitisée et abondamment perturbée par des bréchifications et des dissolutions-re cristallisations.

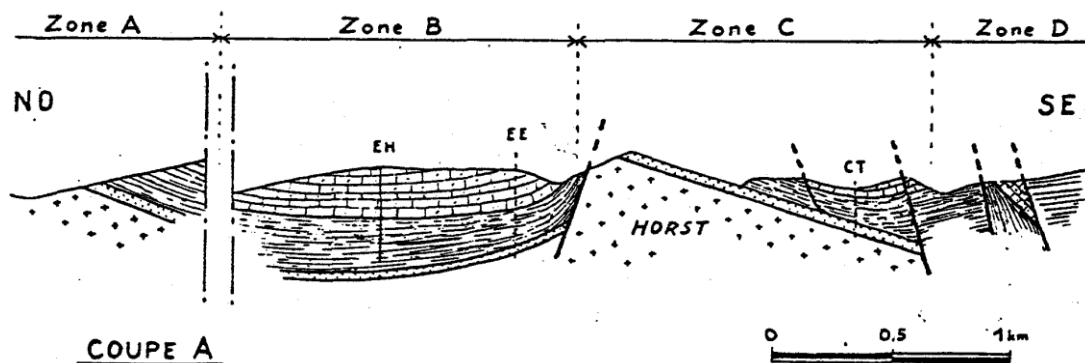


Figure 5 : Coupe géologique de la structure de Pallières (Leenhardt, 1972). Même légende que la Figure 6 où la coupe A est localisée. Zone A : zone littorale à sédimentation détritique ; Zone B : bassin de Mialet-Thoiras à faciès triasique d'anhydrite et gypse avec une légère influence continentale ; Zone C : zone de haut-fond à faciès de barrière avec série triasique peu épaisse ; Zone D : bassin subsident du Languedoc à faciès marneux avec dépôt de sulfates très développés.

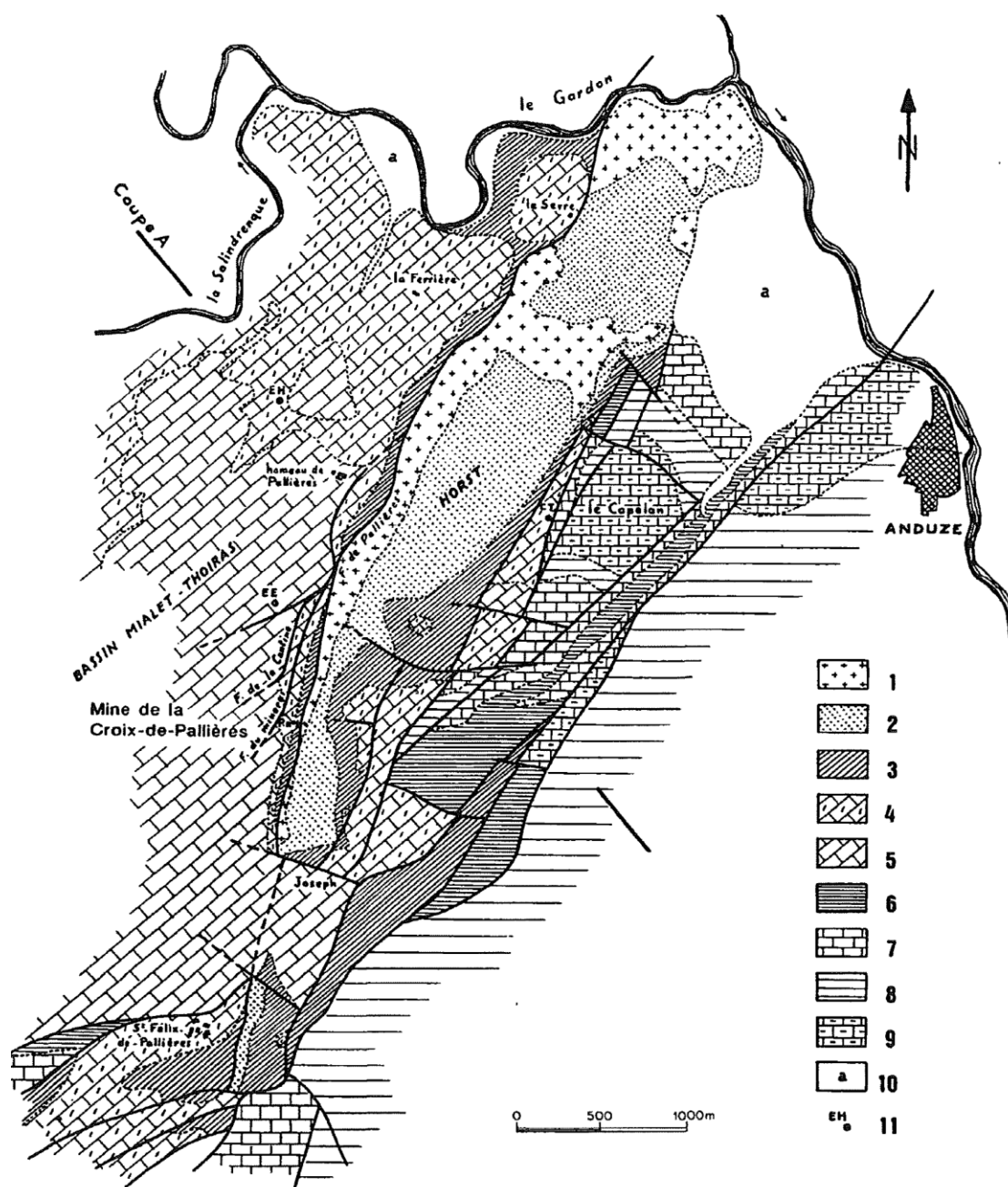


Figure 6 : Carte géologique de la région de la mine de la Croix de Pallières (Leenhardt, 1972).
 1- Granite ; 2- Trias inférieur : grès arkosiques ; 3- Trias supérieur et Rhétien : argile noire, dolomie, argile à anhydrite, marnes bariolées, bancs grésodolomitiques ; 4- Hettangien : dolomie brune cristalline ; 5- Sinémurien : calcaire gris noduleux ; 6- Lias supérieur : calcaire à entroques, oolitique ou graveleux avec chailles, schistes cartons ; 7- Bajocien : calcaire gris à fucoïdes ; 8- Bathonien : dolomie cristalline vacuolaire ; 9- Rauracien-Sequanien : calcaire sublithographique en petits bancs ; 10- Alluvions ; 11- Sondages.

3.2.2. La minéralisation

Le minerai exploité à la Croix de Pallières est principalement constitué de sphalérite (ZnS) – galène (PbS) – pyrite (FeS₂) présente sous forme d'amas ou de lentilles stratiformes de dix à quelques cents mètres d'extension pour des puissances comprises entre 0,25 et 10 m (Leenhardt, 1972), surtout concentrées dans les dolomies hettangiennes. Les caractéristiques géologiques et métallogéniques de ce gisement sont typiques des gîtes MVT ou « Mississippi Valley-Type ». Ces minéralisations se mettent en place en contexte de bassin intracratonique, voire de rift, en bordure de zone de plateforme carbonatée stable ou en contexte épi-orogénique. Les corps minéralisés, souvent associés à des filons dans le socle et la couverture sédimentaire, sont généralement encaissés dans des dolomies (Jébrak et Marcoux, 2008). L'extension des gisements est parfois limitée à l'extension des corps minéralisés, qui sont localisés en général dans des points particuliers de la série sédimentaire : récifs, karsts, failles ou diapirs, parfois des hauts fonds topographiques du socle ou des limites de faciès argileux (Leach *et al.*, 2005). Dans le gisement de la Croix de Pallières, la sphalérite contient près de 14 % Fe – 200 ppm Ag – 6500 ppm Cd – 350 ppm Ge (teneurs mesurées sur le concentré de sphalérite). La galène est argentifère et contient de l'ordre de 300 ppm Ag. Les éléments traces associés à ces minéralisations de zinc et plomb (Co, Tl, As, In, Ge, Sb, Hg) proviennent du socle, et traduisent une origine épi- à mésothermale de la minéralisation sulfurée. Les amas sont généralement de volume restreint mais montrent des teneurs très élevées, en moyenne de l'ordre de 30 % Pb+Zn avec un rapport Zn/Pb = 4, et par endroits des zones de plusieurs mètres de minerai à 70 % Zn+Pb métal ont été trouvées.

Les amas exploités correspondent à des lentilles concordantes avec les niveaux dolomitiques. Ils se situent à cinq niveaux stratigraphiques, tous dans l'Hettangien, soit de bas en haut (Figure 7) :

- les dix mètres de base de l'horizon inférieur, « l'amas principal » (n°4 figure 6) représente à lui seul 70 % du contenu métal de l'ensemble du gîte. La petite exploitation de la mine Joseph se trouvait à ce même niveau ;
- dans la série des dolomies onduleuses de l'Hettangien inférieur (3 % du métal total ; n°5 figure 6) ;
- à la limite Hettangien moyen – Hettangien inférieur, 2 couches de 0,30 m de puissance moyenne chacune située à 60 m au-dessus de la base, constitue « l'amas moyen » (8 % du métal total ; n°3 figure 6) ;
- à la limite entre l'Hettangien moyen et l'Hettangien supérieur, à 130 m au-dessus de la base, se trouve le corps minéralisé dit « amas de Bois Noir » (10 % du métal total ; n°2 figure 6) ;
- au sommet de l'Hettangien, l'amas est situé entre 0 et 10 m sous la base du Sinémurien (1 % du métal total ; n°1 figure 6).

Pour inventorier tout le minerai exploité à Pallières, il ne faut pas oublier de considérer les minerais de remplissage dans des fractures et des brèches dans les zones tectonisées, ainsi que dans le mur triasique (« lentille du mur »). Ils sont la plupart du temps en relation directe avec l'un des amas précédents (8 % du métal).

Il faut enfin signaler les imprégnations de galène et de pyrite des grès arkosiques du Trias sur le flanc Est du horst de Pallières. Ces minéralisations analogues en position stratigraphique et structurale à celles travaillées à Carnoulès, peu étendues et à faible teneur ne présentent aucun intérêt économique.

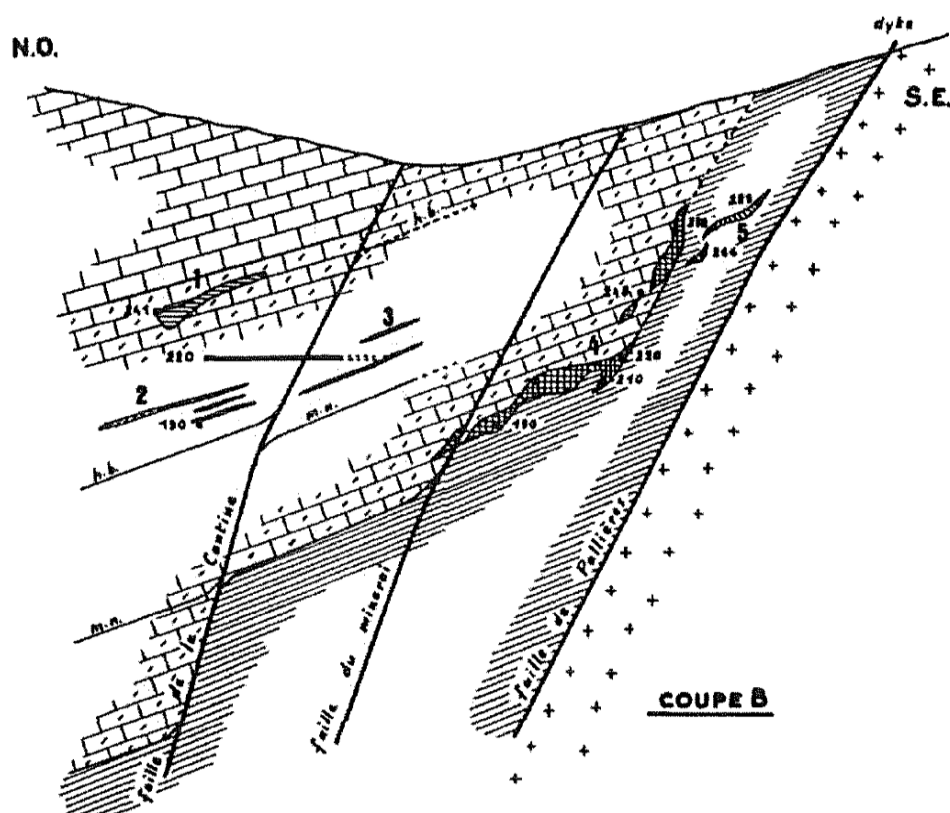


Figure 7 : Coupe du gisement de la Croix de Pallières : 1- minerai sous le contact Hettangien-Sinémurien, 2- amas du Bois Noir ; 3- minerai dans l'Hettangien moyen ; 4- amas principal ; 5- lentille du mur. Même légende que pour la Figure 6 (Leenhardt, 1972).

3.3. EXPLOITATION ET PRODUCTION

3.3.1. Historique

La région fait l'objet de travaux dès l'Antiquité. En particulier, la mine Joseph fut exploitée à l'époque romaine pour la galène argentifère. La galène du secteur d'Anduze était utilisée pour les vernis de poterie tandis que la sphalérite, la calamine² et la pyrite restaient sur le carreau des exploitations.

Les premiers travaux de débouillage des anciens travaux de la mine Joseph sont entrepris dès 1845. Des travaux importants sont engagés :

- fonçage du puits n°1 à la Croix de Pallières ;
- débouillage de la mine Joseph ;
- réouverture d'une ancienne galerie datant de l'Antiquité.

De 1875 à 1878, la Société des Mines et Usines de Pallières (SMUP) amodie la concession à la Société des Zincs du Midi, qui travaille sur les indices de la mine Joseph et exploite les amas calaminaires de la Cantine (~12 000 t de calamine).

De 1884 à 1888, la Société des Zincs Français, anciennement Société des Zincs du Midi, est en liquidation judiciaire et la Société de la Vieille Montagne devient amodiataire de la concession de la Croix de Pallières. Sur cette période, elle continue l'exploitation du gisement de la cantine (quelques centaines de tonnes) jusqu'à son épuisement.

De 1888 à 1900, la SMUP reprend les recherches sur la mine Joseph, notamment sur le traitement des minerais et la récupération de Pb et Zn dans les mixtes pyriteux. L'absence de résultats intéressants conduit à l'abandon des travaux jusqu'en 1910.

En 1910, la concession est amodiée à M. Chauvet, propriétaire des terrains de surface, exploite le chapeau de fer dit de la Gravouillère de manière artisanale. Ces travaux mettent au jour les lentilles plombo-zincifères du gîte principal de la Gravouillère (puits n°3). Cette découverte intéresse la Société de la Vieille Montagne qui récupère la concession de la SMUP par amodiation le 14 novembre 1913.

Des travaux importants sont entrepris à cette période :

- poursuite du puits n°1 ;

² Est appelé « calamine » dans le gisement de la Croix de Pallières un minéral de silicate de zinc hydraté (hémimorphite) associé à de la smithsonite (carbonate de zinc), pouvant contenir également des traces de Fe, Pb, Cd, Co...

- le puits n°0 est foncé jusqu'à 90 m au Sud du n°1. L'étude par deux travers-bancs n'ayant rien donné, ce puits fut rebouché ;
- Puits de la Gravouillère (puits n°3) ;
- Puits intermédiaire (puits n°2) entre les deux précédents et au niveau des anciens travaux de la cantine.

Les puits 1 et 2 ne donnent pas de résultats significatifs, et Vieille Montagne concentra ses efforts au niveau de la Gravouillère avec le creusement de travers-bancs, galeries et recoupes. Un puits n°3bis fut foncé à 85 m au Nord du n°3. L'abattage de la sphalérite reconnue par les travaux du puits commença en 1920 et se poursuivit jusqu'en 1932. La mine a été arrêtée parce que d'une part les cours du zinc et du plomb ne permettaient plus une exploitation rémunératrice, d'autre part le gisement exploité par le puits existant était épuisé.

L'arrêté préfectoral du 21 juillet 1932 donne acte à la Société de la Vieille Montagne de sa déclaration de fin de travaux en mine. La Vieille Montagne réalisera, de 1932 à 1939, une campagne géophysique préliminaire à une campagne de forages.

L'exploitation du gisement de la Croix de Pallières reprend activement après la 2^{nde} Guerre Mondiale en 1947, autour des puits n°1 et 3, reliés par des galeries. Le puits n°1 servant à l'extraction du minerai. En 1955, la mine Joseph est définitivement fermée après avoir fait l'objet d'une ultime tentative de reconnaissance. L'exploitation de la mine de Pallières s'achève en 1971 après épuisement des réserves exploitables connues.

L'arrêté préfectoral du 16 juillet 1971 donne acte de la déclaration d'abandon de tous les travaux de la mine de la Croix de Pallières et de l'ancienne mine Joseph. A la fermeture de la mine, 72 ouvriers ont été licenciés.

La société de la Vieille Montagne employait environ 130 personnes en période d'activité normale du chantier et de la laverie. D'après les informations récupérées auprès des archives de la DREAL Languedoc-Roussillon, principalement sur la dernière période de l'exploitation de la mine de la Croix de Pallières (1948 – 1971), le nombre d'ouvriers a varié entre un minimum de 65 en 1952 et un maximum de 175 en 1954.

3.3.2. Méthodes d'exploitation

La minéralisation exploitée se présente sous des formes très variées :

- Couches plus ou moins imprégnées ;
- Minéralisation concentrée en lentilles ;
- Minéralisations à caractère bréchique ou en remplissage de fractures.

De plus l'allure et la disposition des amas sont aussi très variables, passant de l'amas très épais subvertical à l'amas peu épais à faible pendage.

Ces caractéristiques ont nécessité l'utilisation de méthodes diverses adaptées à chaque cas. Il y a eu cinq principales méthodes d'extraction :

- Tranches et chambres remblayées (minéralisation puissante) ;
- Tranches unidescendantes foudroyées ;
- Chambres à piliers abandonnés (parties minces) ;
- Chambre magasin ;
- Chambres vides (amas peu étendus à éponte solide).

3.3.3. Production

Le gisement de Pallières est de type MVT sulfuré (pyrite, blende et galène) stratiforme. Deux analyses géochimiques multiéléments, réalisées en 1961, sur un concentré de zinc de la mine de Pallières produit par la Société des Mines et Fonderies de Zinc de la Vieille Montagne ont donné pour les éléments qui nous intéressent : ~53 % Zn, >32 % S, 2 à 4 % Pb, ~7 % Fe, ~2000 ppm Cd, 50-100 ppm Ag, 130-190 ppm Ge et des traces de Sb - As. Il s'agit, *a priori*, de la seule mine de Pb-Zn des Cévennes dans laquelle du germanium est mentionné.

Le gisement a été exploité essentiellement sur les périodes de 1844 à 1888, puis de 1911 à 1931 et surtout de 1948 à 1971.

Le site a produit entre 1880 et 1942, plus de 26 300 t de minerai (galène, sphalérite, calamine), dont 25 000 t entre 1921 et 1931 de concentré sulfuré avec 6000 t de calamine, 29 t de galène et 576 t de pyrite.

Entre 1948 et 1971, la production s'établit à près de 800 000 t de minerai tout-venant extrait sur la mine de la Croix de Pallières, à concentration moyenne de 13,6 % Zn+Pb, avec environ 108 500 t métal contenu, pour une production de plus de 22 500 t de plomb et de plus de 66 000 t de zinc. Les minerais étaient concentrés par flottation. L'usine produisit donc près d'un million de tonnes de rejets de laverie qui furent évacués par voie hydraulique puis stockés dans un bassin de décantation adossé au flanc gauche d'un talweg formé par le ruisseau d'Aigues-Mortes.

En 1961, la société de la Vieille Montagne a également essayé une mise en exploitation des haldes de la mine de la Croix de Pallières. 1420 t ont été prélevées pour la réalisation de tests en laverie. Il a été produit 4 t de plomb et 14 t de zinc, mais les produits à traiter ont été jugés trop calaminiers à l'époque et les tests abandonnés.

Sur l'ensemble de la période d'exploitation de la mine, entre 1844 et 1971, la mine a produit 80 000 t de Zn, 34 000 t de Pb, 30 t d'Ag, 520 t de Cd et 28 t de Ge. La laverie traitait aussi le minerai de Durfort qui a produit 20 000 t de Zn.

3.4. L'INVENTAIRE MINIER ET LES TRAVAUX RÉCENTS

3.4.1. Recherche d'extension de la minéralisation zincifère

Prospections géochimiques

Des campagnes de prospection géochimique sol et de sédiments de ruisseau (« stream sediment ») par échantillonnage systématique ont été menées pendant les travaux de l'Inventaire Minier National. La maille de prélèvement était telle (500 x 500 m), qu'un gîte minéral important sub-affleurant pouvait être détecté avec une très forte probabilité.

La bordure cévenole, localisée au SE du Massif Central, a été entièrement couverte par cette prospection géochimique stratégique réalisée au début des années 1980. Les éléments analysés sont au nombre de 22 (Fe_2O_3 , Mn, P, Ba, V, B, Pb, Zn, Cu, As, Ag, Ni, Cr, Co, Sn, Sb, Mo, W, Be, Cd, Nb et Y), et notons qu'aucun des métaux dits stratégiques (Ge, Ga, Se...) potentiellement présents en sous-produit dans ce type de gisement n'a été analysé.

Dans le cadre de cette étude, les données acquises dans la partie Nord-Ouest du département du Gard (Saint-Hippolyte-du-Fort, Anduze, Alès, Bessèges, Malon et Elze) ont fait l'objet d'un traitement cartographique et statistique. La région concernée forme une longue bande au contact de la limite orientale des formations paléozoïques des Cévennes sur une longueur de 60 km et une largeur moyenne de 10 à 15 km (Figure 8). La maille de prélèvement des échantillons de sol était d'environ 500 x 500 m, un peu relâchée dans les secteurs occupés par les calcaires du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur, par contre, resserrée à 250 x 250 m sur quelques secteurs de Saint-André-de-Valborgne, Alès, Le Vigan et Anduze.

Le potentiel minéralisé de cette région est confirmé par les anciennes exploitations (Tableau 2) et de nombreux indices de Pb-Zn-Ag, qui se superposent aux anomalies zinc (géochimie sol + stream sediment) représentées par les points rouges sur la Figure 8 (les cartes d'anomalies Ag, As, Cd et Zn sont présentées en

Annexe 1 et

Annexe 2). Les travaux réalisés dans le cadre de l'Inventaire Minier ne laissent que très peu d'espoir quant à la découverte de nouveaux gîtes affleurant, différents de ceux déjà connus et qui possèderait un intérêt économique. Toutefois, ceci ne signifie pas forcément qu'il n'y a pas de potentiel en profondeur, mais la recherche d'objets minéralisés de dimensions aussi réduites (dix à quelques cents mètres d'extension, pour des puissances de 0,25 à 10 m) par des sondages systématiques est très délicate. Une fois localisés, la reprise dans un premier temps des anciens sondages de la Vieille Montagne et/ou du BRGM pourrait permettre d'optimiser cette recherche.

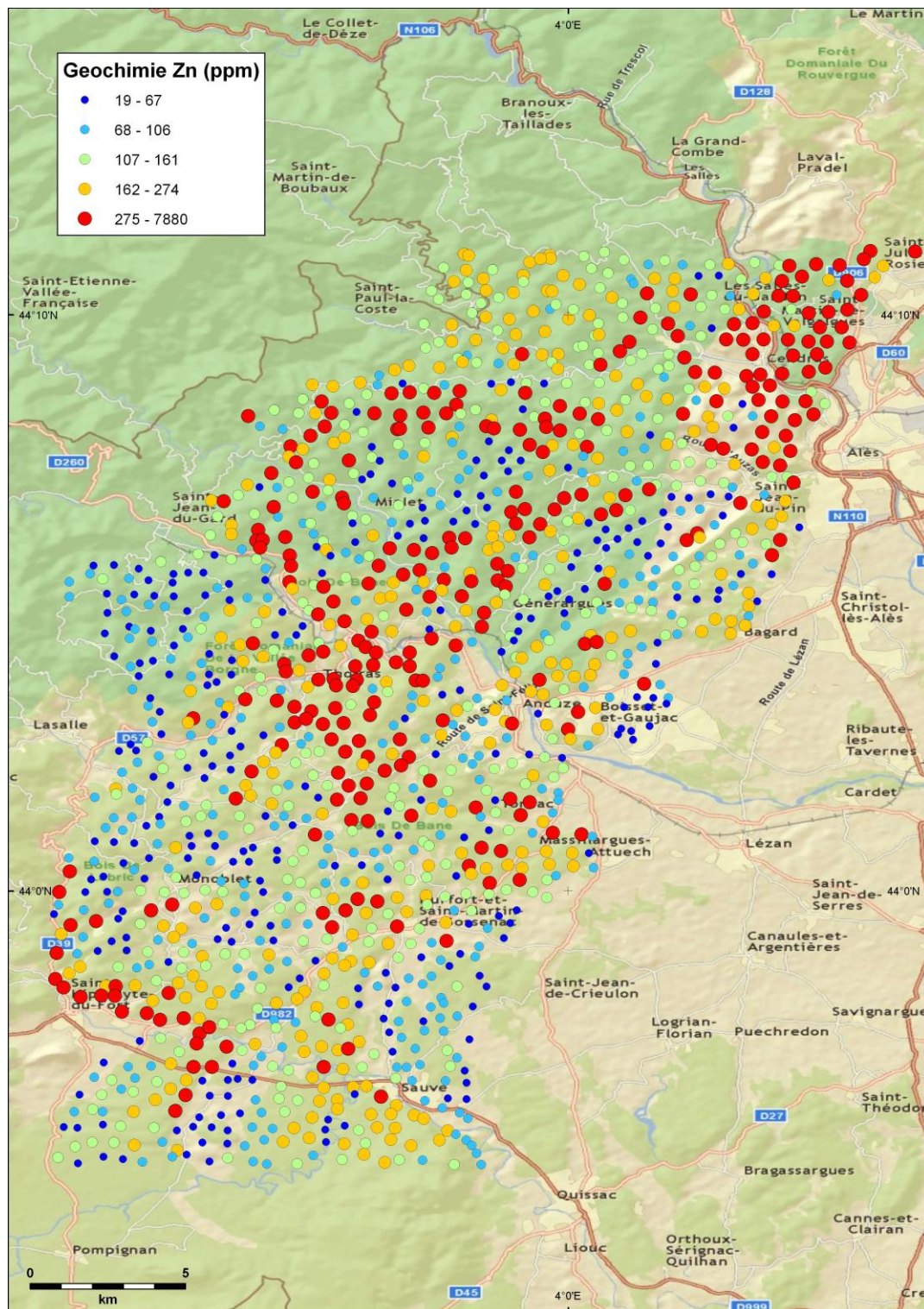


Figure 8 : Localisation des points de prélèvements de géochimie sol et stream sediment de l'Inventaire minier dans un rayon d'environ 15 km autour du gisement de la Croix de Pallières, exemple des résultats obtenus pour le zinc.

Au regard des données reportées dans le Tableau 2, bien que les réserves du gisement de la Croix de Pallières semblent épuisées (d'après les estimations datant des années 1970), d'autres gisements de la bordure cévenole paraissent présenter encore des ressources en Pb-Zn (*i.e.* district des Malines, Trèves, Villemagne... ; Figure 9). Une estimation actualisée des ressources de l'ensemble des gisements pourrait peut-être augmenter le potentiel en minerai de Pb-Zn d'intérêt économique.

De plus, une partie des échantillons de géochimie sol et « stream sediment » prélevés au cours de l'Inventaire minier sont toujours présents dans les caves du service REM (BRGM, Orléans). Une reprise d'une partie des échantillons pour analyse géochimique multiéléments pour tester la présence d'anomalies en métaux stratégiques (Ge, Ga, In, Se...) potentiellement associés à ces gisements de Pb-Zn pourrait donc être envisagée, notamment dans les zones montrant des anomalies en Zn et/ou Pb importantes (> 500 ppm, Figure 8). Dans le cas où les échantillons de la bordure cévenole ne seraient pas présents, le prélèvement et l'analyse d'une centaine d'échantillons dans des contextes géologiques favorables à la présence de minéralisations zincifères (formations de la couverture sédimentaire Mésozoïque d'âge Trias/Jurassique, près des failles bordières NNE-SSO structurants la partie SO du massif des Cévennes), potentiellement associées à des métaux stratégiques pourrait être envisagé comme test.

RÉGIONS et GISEMENTS (n° dépt.)	PRODUCTION PASSÉE				RÉSERVES ET/OU RESSOURCES				OBSERVATIONS
	Pb	Zn	Ag	Années de production	MINERAI (tonnages et teneurs)	Métal			
	(tonnes métal)					Pb (kt)	Zn (kt)	Ag (t)	
Le Bleymard (48)	20 000	45 000	45	1900-1931		45		70	Production d'antimoine
Vialas (48)	17 400		93	1781-1894					
Largentière (07)	356 000	69 000	710	1856-1885 1964-1981					
District Nord-Alès (30)	500	10 000		1900-1960	Arbousset : 1,5 à 2 Mt de minerai oxydé à 9% Zn+Pb				5 Mt de pyrite produite au Soulier ; Arbousset = ressources
St-Sébastien-d'Aigrefeuille (30)	30 000		50	1951-1962	1 à 1,5 Mt de minerai à 3% Pb				Très bonne teneur
La Croix-de-Pallières (30)	34 000	80 000	30	1911-1971	1 Mt à 6% Zn + 1% Pb	10	60	15?	Production de la période industri- elle récente (à partir de 1880)
Durfort (30)	—	20 000	—	1839-1971					
District des Malines (30, 34) (+ Les Avinières, St-Laurent- le-Minier)	73 000	805 000	265	1180-1934 1941-1990					
Trèves (30)	817	3 600		1973-1974		20,3	83,8		Autres ressources possibles
Villemagne (30)	23 900	39 600		1920-1935	Réserves Saint-Sauveur : Réserves "Contact nord" :	21 60	36 32,7		
Le Minier du Tarn (12)		5 000				15	25	8	
Figeac (46)	10 000	60 000		1884-1924 1958-1968	Ressources en mars 1968 :	10,9 Pb+Zn			

Tableau 2 : Production et réserves des gîtes français de plomb – zinc (argent) dans les départements de Lozère, Ardèche, Gard, Hérault, Aveyron et Lot (extrait de Stolojan et Viland, 1991).

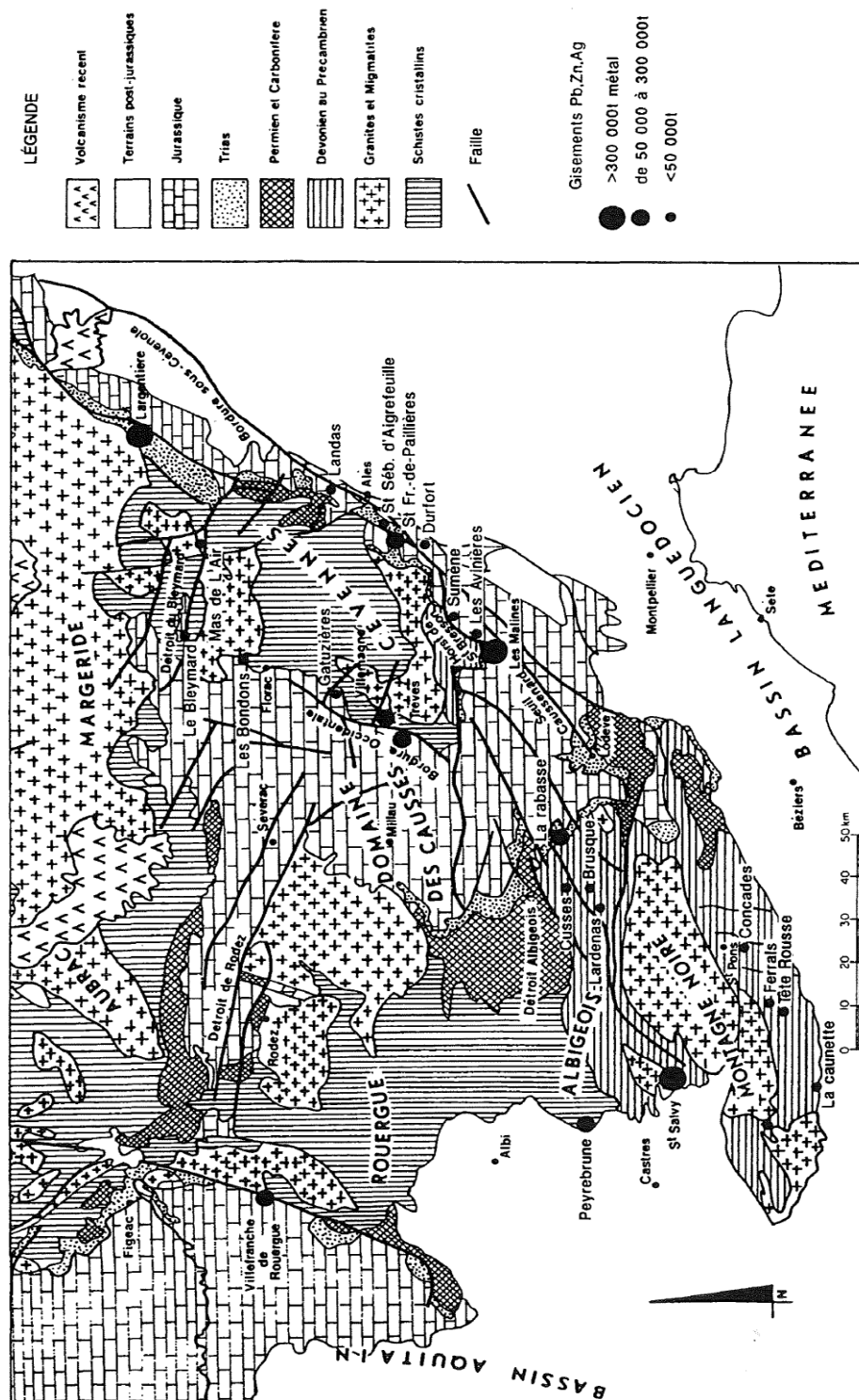


Figure 9 : Les grandes unités géologiques, paléogéographiques et structurales du sud du Massif central ; Principaux gisements Pb-Zn-Ag du domaine méridional (Stolojan et Viland, 1991).

Sondages de reconnaissance

De nombreux sondages de reconnaissance pour la recherche d'extension de minéralisations à Zn-Pb sur la concession de la Croix de Pallières ont été réalisés. Les archives consultées, notamment celles de la DREAL Languedoc-Roussillon, font état de premiers sondages effectués à la Croix de Pallières par la société de la Vieille Montagne au début des années 1930 (1931 à 1934), soit à la fin de la seconde grande période d'exploitation de la mine. Tous les sondages se sont avérés négatifs.

Une autre phase importante de travaux de reconnaissance par sondage a eu lieu au cours de la dernière phase d'exploitation de la mine. Les réserves s'épuisant rapidement, la nécessité de retrouver de nouvelles ressources était primordiale pour l'activité de la mine perdure. Ainsi, entre 1953 et 1955 plus de 10 sondages ont été réalisés sur les concessions de Saint Sébastien d'Aigrefeuille, Lacoste et la Grande Vernissière près de la Croix de Pallières, qui se sont tous révélés peu favorables. Puis, entre 1960 et 1969, ce sont plus de 160 sondages qui ont été faits, pour l'essentiel à la Croix de Pallières (88 sondages), mais aussi à Durfort (10), Anduze (7), Thoiras (20), Saint-Félix-de-Pallières (5), Taussac-La-Billière (1), Saint Martin de Saussenac (1), Saint Martin de Valgagnes (1), Fressac (2), Villecelle (20), Lacoste (1) et Saint Jean du Pin (8). L'ensemble de ces sondages s'est montré peu concluant à cette époque. Il est possible que certains de ces sondages soient encore conservés par le dernier propriétaire de la concession de la Croix de Pallières, la société Umicore qui est basée en Belgique, en vue d'une nouvelle évaluation de la ressource en Pb-Zn et métaux stratégiques associés.

Après la fin de l'exploitation de la mine de la Croix de Pallières en 1971, la société de la Vieille Montagne a conclu un contrat de partenariat avec le BRGM pour la réalisation de quelques sondages de reconnaissance sur la concession de la Croix de Pallières. Les travaux se sont réalisés entre 1975 et 1979. En 1975, 6 sondages ont été effectués sur le panneau Cadeyer et sur les indices découverts par la société de la Vieille Montagne. Deux d'entre eux, Cadeyer 1 et Cadeyer 3, ont montré des passes minéralisées en Pb-Zn jugées économiques (quelques échantillons sont conservés dans la lithothèque du service REM du BRGM Orléans) :

- Cadeyer 1 → 2 passes bimétriques @ 5-6 % Zn+Pb dans le Trias moyen et 6 m @ 5 % Zn+Pb dans le Trias basal ;
- Cadeyer 3 → 2 passes bimétriques @ 7-8 % Zn+Pb dans l'Hettangien.

Toutefois, les travaux sur ces indices n'ont pas été plus loin. En 1978, quatre sondages sont réalisés sur les sites de Lacoste et de la Grande Vernissière, et 5 sur la concession de la Croix de Pallières, qui se sont tous révélés négatifs. Enfin, en 1979, deux nouveaux sondages ont été forés à Saint-Félix-de-Pallières et n'ont pas rencontré plus de minéralisations que les précédents.

3.4.2. Étude GEODERIS

Quelques études ont réalisées ces dernières années sur le site de la mine de la Croix de Pallières, essentiellement sur des problématiques environnementales.

Une étude menée en 2007 par GEODERIS, pour le compte de la DREAL Languedoc-Roussillon, avait pour objectif de faire l'Inventaire des Risques Miniers environnementaux, par la recherche et l'étude des haldes, résidus et autres déblais miniers sur les sites des anciennes mines. Ces dépôts ont notamment fait l'objet d'une évaluation en termes de volume/superficie et de géochimie (analyses en fluorescence X portable Niton). Le site de la Croix de Pallières a ainsi pu être évalué.

Les haldes

Elles se présentent sous la forme de dépôts importants, répartis sur l'ensemble de la concession. On distingue les dépôts de la mine Joseph situés au sud du secteur, qui appartiennent à la concession de Valleraube, et ceux situés au nord sur la concession de Pallières et Gravouillère (Figure 10).

Les haldes de la concession Pallières et Gravouillère sont localisées sur le site minier principal de la concession. Ce site est localisé à environ 500 m au nord du carrefour entre la D133 et le chemin qui mène au hameau de Pallières. Elles représentent un volume très important de résidus. Quelques mesures Niton ont été réalisées sur ces haldes (analyses 39-40-47-48, Tableau 3).

Les haldes de l'ancienne mine Joseph (concession de Valleraube) sont localisées au sud des dépôts précédents, de l'autre côté de la D133. Ces haldes sont situées en rive droite du ruisseau de Palleyrolles. Elles représentent un volume très important de résidus, qui s'étend sur une superficie estimée, à première vue, à 2 ha. Quelques mesures Niton ont été réalisées sur ces haldes (analyses 15 à 22 et 24-25, Tableau 3).

Les résidus de traitement

Les résidus de traitement sont confinés à l'intérieur d'une digue. La digue principale est localisée au nord du site principal de la mine, sur la concession de Pallières et Gravouillère, à environ 500 m au nord du carrefour entre la D133 et le chemin qui mène au lit-dit de Pallières (Figure 11). Cette digue occupe une superficie qui a été estimée à presque 4 ha. Quelques mesures Niton ont été réalisées sur ces résidus (analyses 2 à 6, Tableau 3).

Un terribil de résidus miniers est situé en face de la digue, de l'autre côté du chemin de randonnée qui traverse le site (Figure 11). Il est constitué de résidus miniers dans lesquels on trouve une part importante de matériaux fins attribuables à des résidus de traitement. Ce terribil représente un volume important de résidus, et s'étend sur une superficie estimée à environ 1 ha. Quelques mesures Niton ont été réalisées sur ces résidus (analyses 57-58-63, Tableau 3).

Au sud de la digue à résidus, légèrement en retrait des dépôts de haldes de la concession de Pallières et Gravouillère, existe une zone plate circulaire d'une vingtaine de mètres de diamètre et remplies de résidus de traitement. Le volume de résidus est relativement faible en comparaison avec les deux précédents, et occupe une superficie de 300 à 400 m². Quelques mesures Niton ont été réalisées sur ces résidus (analyses 41-43-44, Tableau 3).

Les résultats des analyses Niton sur les résidus miniers montrent qu'il reste encore du plomb et du zinc en quantité parfois importante, de quelques milliers de ppm à quelques %. Toutefois, ce type d'analyse ne permet pas de détecter la présence de métaux stratégiques (Ge, Ga, In, Se...) dans ces résidus, qui pourraient être associés aux minéralisations de Pb-Zn de la Croix de Pallières.

LA CROIX DE PALLIERES		Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Sb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)
Digue à résidus	2	1164	1855	165	51	37388	837
	3	2164	9454	157	89	25200	462
	4	8379	24726	193	120	40199	431
	5	3705	2611	106	< LOD	38072	1113
	6	1235	12816	207	76	30704	503
Haldes mine Joseph	15	236	< LOD	133	< LOD	723524	< LOD
	16	444	816	277	38	163300	1597
	17	109	< LOD	220	50	10450	< LOD
	18	4856	59	127	< LOD	46097	< LOD
	19	58184	5609	1070	133	271195	< LOD
	20	68899	346	969	< LOD	75498	< LOD
	21	19010	1531	344	< LOD	135734	500
	22	11467	2686	< LOD	< LOD	116780	2149
	24	37837	567	448	< LOD	410776	644
	25	6797	523	388	< LOD	14641	< LOD
Haldes Pallières et	39	905	500	161	36	40954	456
	40	113212	14084	810	62	265493	< LOD
Sud digue à résidus	41	65769	7813	814	86	291400	482
	43	136083	22239	1174	160	240585	< LOD
	44	13612	5753	158	51	49767	1160
Haldes Pallières et	47	4160	10686	350	92	63131	824
	48	1941	9493	262	77	147888	770
Terril	57	4376	13531	36	92	56789	912
	58	6995	6075	414	52	166202	4250
	63	38668	44902	906	183	405338	< LOD

Tableau 3 : Synthèse des résultats NITON obtenus sur les haldes et les résidus de traitement de la mine de la Croix de Pallières (Fiche GEODERIS, 2008). Les résultats sont exprimés en mg/kg (ou ppm), les valeurs inférieures à la limite de détection de l'appareil sont notées < LOD.

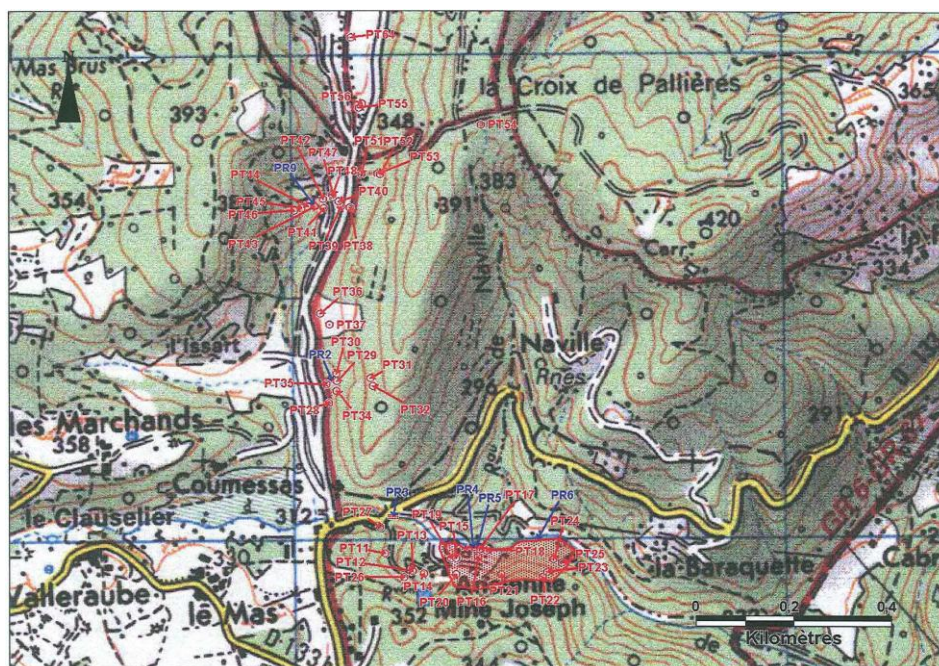


Figure 10 : Localisation des haldes de l'ancienne Mine Joseph au sud et de la concession Pallières et Gravouillère au nord, et positionnement des points de mesures Niton (notés PT) effectués sur la zone. (Fiche GEODERIS, 2008)

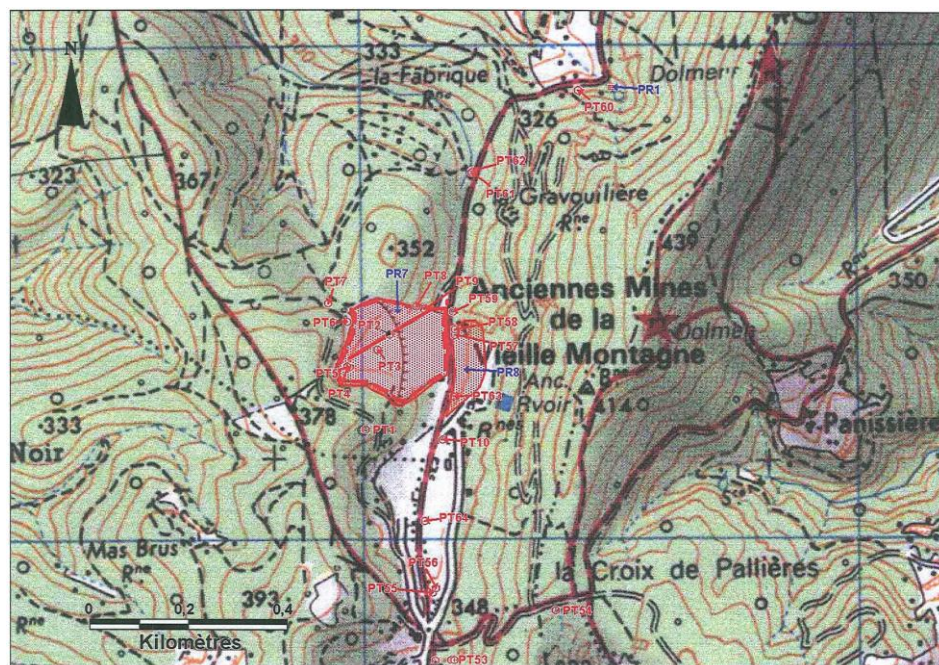


Figure 11 : Localisation de la digue à résidus de traitement (PR7) et du terril de résidus miniers (PR8), et positionnement des points de mesures Niton (notés PT) effectués sur la zone. (Fiche GEODERIS, 2008)

4. Conclusions et perspectives

Le test méthodologique proposé sur l'ancien gisement de Zn-Pb de la Croix de Pallières (Gard) a permis de mettre au jour un grand nombre de documents sur ce site minier, qu'il s'agisse : i) de rapports, ii) d'articles scientifiques, iii) logs de sondage, iv) coupes géologiques, v) plans de la mine, vi) documents administratifs divers sur l'activité de la mine et vii) des données de l'inventaire minier français.

L'essentiel de la documentation, bien que dispersée entre les archives de la DREAL Languedoc-Roussillon basée à l'Ecole des Mines d'Alès, du BRGM Orléans, du SGR Midi-Pyrénées à Toulouse et de GEODERIS Alès est relativement facile d'accès et facilement consultable. L'éloignement géographique des différents lieux rend l'opération de consultation chronophage, car 10 jours ont été nécessaires pour la collecte de données.

Le gisement de Zn-Pb de la Croix de Pallières est de type Mississippi Valley (MVT). Il est constitué d'une minéralisation à calamine – sphalérite – galène – pyrite qui se développe sous forme de lentilles stratiformes dans les dolomies de l'Hettangien. Associés aux minéralisations de Zn-Pb, de nombreux sous-produits ont été exploités comme l'argent, le cadmium et le germanium. Durant toute la période d'exploitation de la mine, de manière plus ou moins active entre 1844 et 1971, plus d'1 Mt de minerai tout-venant a été traité pour une production de 80 000 t de Zn, 34 000 t de Pb, 30 t d'Ag, 520 t de Cd et 28 t de Ge. Ce gisement est le seul de la bordure cévenole (« à zinc ») pour lequel la présence de germanium est mentionnée.

De nombreux travaux (géophysique, sondages) ont été réalisés entre 1930 et 1971 afin de trouver des extensions possibles de la minéralisation pour la concession de la Croix de Pallières. Malheureusement, l'ensemble de ces investigations conclurent à une absence d'extension des minéralisations d'intérêt économique de l'époque (teneurs de coupure non citées dans le rapport). L'épuisement des réserves connues ont provoqué l'arrêt de l'exploitation de cette mine par la société de la Vieille Montagne en 1971. Malgré de nouvelles investigations par sondages menées par le BRGM dans les années 1970, en partenariat avec la Vieille Montagne, et quelques passes minéralisées en Zn-Pb plurimétriques mises en évidence, l'exploitation n'a pas repris et la concession fut renoncée en 2004. Une réévaluation des ressources du gisement, dont les données sont probablement en possession d'Umicore, en fonction des cours actualisés des métaux (Pb-Zn-Ag-Ge), permettrait de confirmer ou non l'épuisement du gisement déclaré en 1971, ainsi que la présence d'extensions d'intérêt économique. La démarche inclurait la vérification d'extensions du gisement en dehors de la zone de galeries actuelles ; cette « fermeture » du gisement ne semble jamais avoir été faite.

L'Inventaire Minier du territoire français a été réalisé dans les années 1980 sur toute la bordure cévenole. Les résultats obtenus à partir des éléments analysés (Pb, Zn, Ag, Sb, Cd, As...) ont montré une grande quantité d'anomalies géochimiques débordant largement l'emprise des sites évidents qui ont fait l'objet de mines depuis plus d'un siècle. Ces anomalies n'ont pas été vérifiées par sondage : aucune certitude sur

l'absence de gisement n'existe. En ce qui concerne le potentiel en métaux stratégiques (Ge, Ga, Se...), aucune analyse n'a été faite dans le cadre l'Inventaire. Pour combler ce manque, le BRGM propose d'effectuer une centaine d'analyses à partir d'échantillons prélevés en surface sur l'ensemble de la bordure cévenole. Ces échantillons seraient pris dans les zones géologiques les plus favorables (formations de la couverture sédimentaire Mésozoïque d'âge Trias/Jurassique, près des failles NNE-SSO de la bordure SO du massif des Cévennes).

Des travaux récents sur cette ancienne concession ont été menés à finalité environnementale. Ils pourraient contribuer à une évaluation approximative du volume des résidus miniers et du contenu en métaux (Pb, Zn, Fe, As...) par des analyses Niton pour identifier un éventuel volume de minerai disponible. Les teneurs en métaux stratégiques n'ont pas été mesurées. Ces résidus pourraient éventuellement faire l'objet d'une récupération de ces métaux par des méthodes de traitement minéralurgique de type « brine leaching³ » :

- Une caractérisation du contenu en métaux sur des échantillons représentatifs des résidus : géochimie ICP multi-élémentaire, minéralogie des porteurs des métaux (microscope optique, Microscope Electronique à Balayage), analyses chimiques ponctuelles (microsonde électronique) ;
- Une évaluation précise du volume des résidus miniers.

Cette proposition d'investigations pourrait constituer les prémices d'une réévaluation des ressources en métaux stratégiques liés aux gisements de Pb-Zn de la bordure cévenole, qu'ils soient naturels ou sous forme des tas « anthropiques ».

Le programme proposé inclurait, outre les analyses chimiques précitées, d'envisager de localiser des sondages carottés à faire sur les zones les plus anomaliques hors des mines elles-mêmes (i.e. Durfort, Les Avinières, Les Malines...). Pour cela, une analyse bibliographique préliminaire analogue au présent travail serait à réaliser sur toute cette zone.

La même démarche que celle mise en œuvre sur cette zone de l'Inventaire, incluant la mine de la Croix de Pallières, pourrait être utilisée sur d'autres types de sites du territoire national, dans l'optique d'une évaluation du potentiel en métaux stratégiques (Li, Be, Sn, W, terres rares, Ge, Ga, Se...). En complément des zones analysées dans le cadre de l'Inventaire minier (Figure 12), la carte des principaux indices et gisements synthétisée en 1995 (Béziat *et al.*) fournit quelques-unes de ces régions cibles (fluor du Morvan, antimoine de Vendée, molybdène des Vosges...).

³ La lixiviation par « brine leaching » (= saumures ou solutions chlorurées) est très efficace pour la récupération des métaux associés au minerai de Pb-Zn, relativement réfractaires aux méthodes bio-hydrométallurgiques (Gouin, 2008). Ce type de traitement se fait en environnement contrôlé avec des solutions chlorurées (NaCl, HCl...), à pH acide (pH $\leq$ 1-2) et à températures modérées (80-90°C).

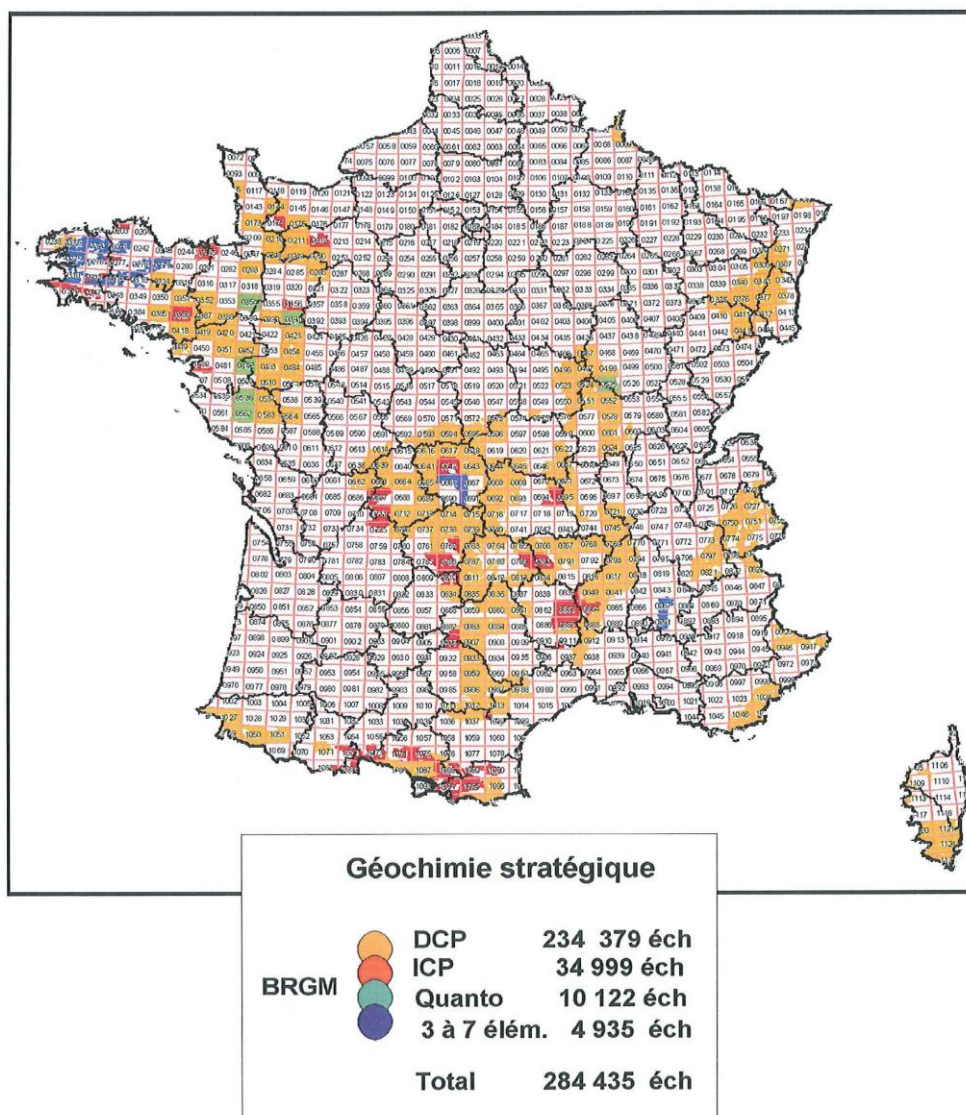


Figure 12 : Inventaire BRGM, géochimie stratégique. Localisation des échantillons et types d'analyses (d'après Lambert, 2005).

5. Bibliographie

Aubague M., Coumoul A., Le Nindre Y.M., L'Homer A., Sureau J.F., 1981. Recherche de guides de prospection pour les gîtes Pb-Zn liés aux strates en environnement carbonaté_2^{ème} phase : Le gîte de la Croix de Pallières (Bordure cévenole, Gard). Rapport BRGM/RR-29460-FR, 274 p.

Bernard A., 1958. Contribution à l'étude de la Province métallifère sous-cévenole. Thèse de l'ENSG appliquée à la prospection minière de Nancy, 640 p. et Sciences de la Terre, Vol. 7, n°3-4, pp. 123-403 (1959-1960).

Béziat P., Thibaut P.M., Bornuat M., 1995. Carte minière de la France métropolitaine : situation en 1994. Carte à 1/1 000 000, notice 102 p.

Gouin J., 2008. Mode de genèse et valorisation et valorisation des minerais de type black shales : cas du Kupferschiefer (Pologne) et des schistes noirs de Talvivaara (Finlande). Thèse de doctorat, Université d'Orléans, 358 p.

Jébrak M., Marcoux E., 2008. Géologie des ressources minérales, *Editions Denis L. Lefevre ing.*, 667 p.

Lambert A., 2005. Les données géochimiques et alluvionnaires de l'Inventaire minier du territoire national. Constitution d'une base de données exhaustive. Rapport BRGM/RP-53546-FR, 116 p., 6 fig., 6 tabl., 6 ann.

Leach D.L., Sangster D.F., Kelley K.D., Large R.R., Garven G., Allen C.R., Gutzmer J., Walters S., 2005. Sediment-hosted lead-zinc deposits: a global perspective. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, p. 561-607.

Leenhardt R., 1972. Le gîte plombo-zincifère de la Croix de Pallières. *Bulletin du BRGM* (deuxième série), Section II, n°3, pp. 1-21.

Macquar J.C., Rouvier H., Thibiéroz J., 1988. In Mobilité et concentration des métaux de base dans les couvertures sédimentaires : manifestations, mécanismes, prospection. *Actes du Colloque international du 28 au 30 mars 1988*. Editions du BRGM, pp 143-158.

Stolojan N., Viland J.C., avec la collaboration de Béziat P., Bigot M., Bomuat M., Cortial Ph., Lagny Ph., Pouit G., 1991. Les gisements de plomb-zinc en France (Situation en 1991). Rapport BRGM/RR-37813-FR, 278 p.

Le reste de la bibliographie consultée est mentionné dans les tableaux ci-après.

Sites internet consultés

INFOTERRE : Base de données géoscientifiques

<http://infoterre.brgm.fr/>

BASIAS : Inventaire des anciens sites industriels et activité de services

<http://basias.brgm.fr>

SIG Mines France :

<http://sigminesfrance.brgm.fr/>

Test méthodologique sur les données de l'Inventaire Minier sur le gisement de Zn de la Croix de Pallières.

	n° Rapport BRGM	Autres	Auteurs	Année	Titre	numérique BRGM	SGR Toulouse	Ecole des Mines Ales	papier DREAL RO Ales	GEDERIS Ales	SGR Montpellier
1		Rapport de l'ingénieur des Mines	Duby, Loitet		Demande en autorisation d'amodiation et de réunion des concessions de Valensolé, Valleraube et Pallières et Grauvillière par la Société de la Vieille Montagne.					X	
2		A-919-3	Prouhet J.P.	1922	Rapport de visite des travaux de recherche situés aux Plantiers (Gard).	papier	X				
3			Leenhardt R.	1955	Recherches de Durfort - Etude géologique.		X				
4			Bernard A.	1956	Contribution à l'étude de la province métallifère sous-cévenole.			X			
5			Calenbert L.	1958	Extraits de "Structures et minéralisations de la montagne de Pallières (Gard, France).		X				
6			Foglietti F.	1958	Aperçu d'ensemble sur le gisement de St-Sébastien-d'Agrefeuille (Gard).		X				
7			Launey P., Leenhardt R.	1959	Les dachres sédimentaires zincifères du Sineunum du Lot.				X		
8			Merlo G.	1959	Note sur l'exploitation de St-Sébastien d'Agrefeuille (Gard).	papier					
9		Note du 10.12.1959	Houdaille R.	1960	Etat des concessions des mines métallifères existant au 1er juillet 1960 (Moselle-Moselle exceptées).	X	X				
10		BRGM/RR-41462-FR	Leenhardt R.	1963	Mine de Pallières. Projet d'exploitation des minéralisations du secteur du Bois Noir.		X				
11			Leenhardt R.	1965	Etude du filon de Roquedur (Le Vigan), décembre 1965.		X				
12		66-DRMM-A-002	Abague M.	1966	Note préliminaire sur la concession des Deux-Jumeaux (Gard) et le permis exclusif de recherches de Cézas _	X	X				
13		66-DRMM-A-012	Gilly R.	1966	Premiers résultats des sondages d'exploration stratigraphique.						
14			Leenhardt R.	1966	Résultats de la prospection alluvionnaire sur les failles au 1/50000 Nant et Le Vigan.	X	X				
15			Van Welden A.	1966	Durfort : sondage exploitable (zone du "montage 3") - novembre 1966.		X				
16			Van Welden A.	1966	Interprétation des résultats de la prospection géochimique dans le secteur Le Vigan - Roquedur (22 - 25 Mars 1966).		X				
17		DS 67-A13	Cachau-Herrellat F.	1967	Prospection géochimique dans le secteur Anduze - Tonac.		X				
18		DS 67-A128	Cachau-Herrellat F.	1967	Résultats de la campagne de prospection géochimique stratégique (pour Pb-Zn) du permis de recherches de Cézas (Gard, Hérault).		X				
19		67-DS-A070	Lille R.	1967	Résultats de la prospection géochimique tactique des secteurs de Mont Méjean et de Patas (PER de Cézas, Hérault, Gard).		X				
20			Leenhardt R.	1967	Etude de trois sondages de la mine St-Félix de Pallières (Vieille Montagne).	X	X				
21		68-DRMM-A-015	Gontier R.	1968	Mine de Pallières. Sondages EXEY forés en août-septembre 1968 au nord du hameau de Pallières. Proposition d'un programme pour le secteur de La Ferrière (novembre 1968).		X				
22		BRGM/DIV. SO	Prouhet M.	1968	Prospection alluvionnaire générale sur les failles 1/50000 Le Vigan, St-André-de-Valborgne, Meyrieux et Ales.	papier					
23		69-RME-048-RMM	Gerbal A.	1969	Syndicat des Deux-Jumeaux. Campagne 1968.	X					
24			Leenhardt R.	1969	Etudes des minéralisations Pb-Zn-Cu de l'ancienne concession d'Argéas (Gard).		X				
25			Leenhardt R.	1969	Concession de Lacoste. Projet d'exploitation des ans du Montage 90 (janvier 1969).		X				
26			Leenhardt R.	1970	Recherche de Durfort (juillet 1970) - Secteur de Cazalis.		X				
27			Leenhardt R.	1970	Durfort : amas Cazalis. Résultats de la campagne juin-octobre 1970. Répartition du minéral - calcul du tonnage et des teneurs.		X				
28			Leenhardt R.	1970	Concession de Lacoste. Projets de travers-bancs (septembre 1970).		X				
29		Arrêté Préfectoral	Leenhardt R.	1970	Projet d'exploitation de l'amas Cazalis à Durfort - novembre 1970.		X				
30		Bulletin du BRGM (2), II, n°3, pp. 1-21	Leenhardt R.	1971	Déclaration d'abandon de tous les travaux de la mine de la Croix de Pallières et de la mine de Durfort.	X			X		X
31		RMM-73-3	Abague M.	1972	Le gîte plombo-zincifère de la Croix de Pallières.	papier					
32		74-RME-FE	Abague M.	1973	Reflexion sur les recherches pour Zn-Pb de V.M. : C.R.A.M. diles du "Nord - Ales" (Gard) _ (Concession Pétichney de Cendras, Le Soulier et St-Félix ; PER V.M. de la Blaquière).		X				
33		Note /RMM-74-002	Abague M.	1974	Résultats des recherches pour Zn et Pb menées par VM-CRAM près de Roquedur (30 - Gard).	papier	X				
34			Abague M.	1974	Bilan à fin 71 des recherches pour Pb-Zn effectuées en syndicat avec VM-CRAM sur la concession des Deux-Jumeaux l'ex-concession de Gargues le PER de Cézas (Bordure cévenole - Gard - Hérault).	papier	X				
35		76.DSO.01.07	Abague M.	1975	Recherche de nouvelles minéralisations Zn-Pb sur le flanc ouest du horst de Pallières (domaine V.M.) (bordure cévenole - Gard). Exploration 1975 sur le panneau de Cadéyer.		X				
36			Abague M.	1976	Pallières - Durfort (Gard) Pb-Zn-Ag-F. Etat des travaux au 31 décembre 1975.		X				
37		77-SGN-685-GWX	Slix	1976	Demande d'autorisation de mutation au profit de la Société des Mines et Fonderies de Zinc de la Vieille Montagne des concessions de mine de la Croix de Pallières, Valensolé et Valleraube détenues par la Société des mines et Usines de Pallières.			X	X	X	X
38			Département Gîtes minéraux du BRGM	1976	Montage des concessions de mine de la Croix de Pallières, Valensolé et Valleraube détenues par la Société des mines et Usines de Pallières.	X					
39		78-SGN-344-GEO	Abague M., Orgeval J.J., Soulié M. avec la collaboration de Boyer F., Combes P.J.	1977	Ressources minières françaises - Tome 2 : Les gisements de Pb-Zn Français (situation en 1977).	X					
40		Confidentiel	Le Nindre Y.M.	1977	Les gîtes minéraux de la terminalion méridionale du Massif Central et de sa bordure languedocienne (essai de synthèse).	X					
41		79-RDM-004-FE	Abague M.	1978	Etude sédimentologique du sondage Cadéyer 9. St-Félix de Pallières (Gard).	X	X				
42		79-DSO-009	Coumou A.	1979	Recherches Pb-Zn sur les concessions V.M. de Pallières et Durfort (Gard). Etat des travaux à fin 1978.		X				
43		Confidentiel	Le Nindre Y.M.	1979	Eléments prévisionnels pour une recherche de minéralisations Zn-Pb dans le lorrainien de la bordure orientale des Grands Causses (Partie Nord de Trèves à Belvezet, Gard).	papier					
44		79-RDM-340-GEO	L'Homer Y.M., Le Nindre Y.M.	1979	Travaux de Durfort (Concessions VM). Note préliminaire sur les sondages BRGM 1978/79.		X				
45		79-RDM-032-FE	Mignon R.	1979	Etude sédimentologique détaillée des matériaux du sondage Cabane 1 (secteur minier de Durfort, Gard).		X				
46			Barber J.	1979	Action concertée : dolomie à sulfures _ Etude du contexte sédimentaire de deux gisements plombo-zincifères : St-Félix de Pallières (Gard), Figeat (Lot).	X					
47		80-RDM-009-FE	Abague M., Gontier R.	1979	Recherches de minéralisations Pb-Zn sur les concessions C.I.M. de Cendras, Le Soulié et St-Félix _ secteur Nord d'Ales (Gard).	X	X				
48		BRGM/RR-29459-FR	Abague M., Giot D., Le Nindre Y.M., L'Homer A., Lelieu M., Sureau J.F., Barber J., Orgeval J.J., Bodeur Y., Le Strat P.	1980	Géochimie en roche autour de quelques gîtes au indices à Pb-Zn en milieu carbonaté. La structure filonienne plombifère de Refrèges - Les Fonzees (Cévennes méridionales - Aveyron-Gard) _ Prospection - Géochimie - Sondages.	X					
49		80-SGN-666-GPH	Dupont F., Mennecchet C., Millon R., Van Den Hoek A.	1980	Recherche de guides de prospection pour les gîtes Pb-Zn liés aux strates en environnement carbonaté.	X	X				
				1980	Prospection gravimétrique et profils dipôle-dipôle à Durfort (Gard).	X	X				

Test méthodologique sur les données de l'Inventaire Minier sur le gisement de Zn de la Croix de Pallières.

		Autres	Auteurs	Année		numérique BRGM	SGR Toulouse	Ecole des Mines Alès	papier DREAL IRO Alès	GEOERIS Alès	SGR Montpellier
	n° Rapport BRGM										
50	80-GPH-014		Ferrandes R.		Etude géophysique par rectangles de résonance à Durtfort (Gard).		X				
51		Note technique	Haas H.	1980	Le Rey, Commune de St-Félix de Pallières (Gard). Feuille IGN au 1/25000 - Le Vigan 3 - 4. Substances : zinc et accessoirement plomb.		X				
52	80-SGN-273-MGA		Lelieu M., Seric C., Sureau J.F.	1980	Utilisation de l'hydrogéochimie en prospection des gîtes cachés : le cas des eaux de la région des Malines (Gard).	X					
53	BRGM/RR-29460-FR		Aubague M., Coumoul A., Le Nindre Y.M., L'Homer A., Sureau J.F.	1981	Recherche de guides de prospection pour les gîtes Pb-Zn liés aux strates en environnement carbonaté - 2ème phase : Le gîte de la Croix de Pallières (Bordure cévenole, Gard).	X	X				
54	81-RDM-005-FE		Coumoul A.	1981	Recherches de minéralisations Pb-Zn sur les concessions C.I.M. du Nord-Alès (Gard) - Campagne de sondages	X					
55	Confidentiel		Le Nindre Y.M.	1981	1980 Révision des perspectives et guides de recherche.		X				
56			Le Nindre Y.M., L'Homer A.	1981	Mission Cévennes Saint-Félix-de-Pallières - Durtfort. Campagne 1980 Travaux de sédimentologie.		X				
57	81-SGN-776-GEO		Le Strat P.	1981	Etude des formations hettangiennes et de leurs relations avec les sables sulfurés de Saint-Félix-de-Pallières.		X				
58	Note/BRGM-DSO		Aubague M.	1982	Etude sédimentologique de l'Hettangien du secteur Nord-Alès et du Las inférieur du secteur de Pallières (Bordure sous Cévenole).	X					
59	Chronique de la Recherche Minière, 466, pp. 41-60		Aubague M., L'Homer A., Sureau J.F.	1982	Note de synthèse sur les travaux de recherche effectués par V.M. sur le fait et le lanc du horst de Pallières.		X				
60	82-RDM-062-FE		Coumoul A., Aubague M.	1982	Recherche de guides de prospection pour les gîtes Pb-Zn liés aux strates en environnement dolomitique. Travaux effectués sur les gîtes de Bois-Madame (Hérault), La Croix de Pallières (Gard) et Figac (Lot).	X					
61	Note n°868		Lebas R.	1982	Recherches de minéralisations Pb-Zn sur les concessions C.I.M. du Nord-Alès (Gard) - Point des travaux au 30 juin 1982.	X					
62	82-SGN-117-GMX		Letalenot J.	1982	Etude de l'Hettangien du Nord-Alès (Gard) et de ses minéralisations - Synthèse des travaux effectués.	papier					
63	Note/82-GMX-GCA-INV-163		Letalenot J., Boulanger P., Montheil J.	1982	Tests hydrogéochimiques dans le secteur des Malines et la bordure Sud des Causses du Larzac (Aveyron, Gard et Hérault). Méthodologie de recherche des gisements cachés et profondes couvertures sédimentaires.	X					
64	82-SGN-005-MGA		Sureau J.F., Letalenot J., Sina M., Boulanger P.	1982	Prospection géochimique stratigraphique. Bessèges-St-André-de-Vallergue-Alès et La Vigan-Anduze. Interprétation des résultats analytiques.	papier					
65	BRGM/DSO			1982	Etude d'une anomalie Pb-Zn en environnement carbonaté - L'anomalie de "Tute" du Mas Gauzin (Gard).	X					
66	BRGM/DSO		Maubert F.	1982	Déclaration de sondages à Valensolle - Le Rey, Communes de Durtfort, St-Martin-de-Sossenac, Tornac et St-Félix-de-Pallières (Gard).		X				
67	83-SGN-583-ENV		Geldron A.	1983	Constat d'impact de deux anciennes exploitations minières : 1) Le cas de la mine de la Croix de Pallières (Gard).	X					
68	Chronique de la Recherche Minière, 470, pp. 25-32			1983	Le germanium : un élément valorisant des gisements hydrothermaux à Zn-Cu-(Pb).	X					
69	84-RDM-035-FE		Coumoul A., Aubague M.	1984	Déclaration du sondage "Montagu" près d'Anduze (Gard).	X					
70	84-SGN-151-GMX		Germain H.	1984	Recherches de minéralisations Zn-Pb sur les concessions CIM du Nord Alès (Gard), point des travaux au 31 Mars 1984.	X					
71	84-GEO-E5-071		Le Nindre Y.M.	1984	Les filons quartziteux polyphasés à Pb-Zn-Ba entre Causses et Cévennes : la structure de Pourcarès.	X	X				
72	84-GPH-039		Lescol J.P.	1984	Cadre géologique des minéralisations de la bordure cévenole entre Alès et St-Hippolyte-du-Fort.	papier					
73	84-SGN-086-GEO		Roger J.	1984	Rapport de contrôle de la prospection E.M. Helioporee du secteur "Vallées Françaises" (Gard).	X					
74	85-SGN-530-GEO		Bonjoly D.	1985	Etude sédimentologique et pétrographique des grès de base du Trias dans le bassin d'Alès (Gard - France).	X					
75	85-RDM-008-FE		Coumoul A., Haas H., Aubague M.	1985	Etude structurale de la bordure occidentale du horst de Pallières (Gard) - Caractérisation du contexte structural des minéralisations à Fe-Pb-Zn.	X					
76	GMX/GCA-INV280		Letalenot J.	1985	Nord-Alès - minéralisation Zn oxydé du panneau Aroussert : Résultats des sondages 1984 à maille serrée, sondages percuteurs FORASUD - sondages carottés CFEM.	X					
77	Lettre à la DREAL		Société des mines et foreries de zinc de la Vieille Montagne	1985	Prospection géochimique tactique Combescur et La Ferrière (Bordure Cévenole).		X		X	X	X
78	86-DAM-012-OP4		Aubague M.	1986	Concession de "La Croix de Pallières".						
79	86-SGN-702-GEO		Robelin C.	1986	Inventaire du territoire métropolitain - recherches de minéralisations Pb-Zn (Ag-Ba) dans les grès de base du Trias d'Alès.	X					
80	Note/PGN'82		Sureau J.F., Letalenot J., Michard, Aubague M., Meyroud, Coumoul A., Chauprade.	1986	Minéralisations Pb-Zn-F de la Grande Vermislière (concession de Durtfort, Gard - France) - Etude des processus sédimentaires et diagénétiques.	X	X				
81	87-DAM-007-OP4		Coumoul A., Haas H.	1986	Compte-rendu de mission. Minéralisations de la bordure cévenole.	X					
82	87-DAM-012-DEX		Robelin C.	1987	Inventaire du territoire national - Recherches Pb-Zn-Ag dans les grès de base triasiques du bassin d'Alès (Gard) - bilan des prospections au Trias à la pointe du socle gréseux du Rouvège, sondages 1985 de Notre Dame de Laval.	X					
83	87-DAM-014-OP4		Aubague M.	1987	Quelques types de manifestations fluorinées à la périphérie du bassin de Mallet-Thorac (Gard), relation avec la couverture - Annexe 4.		X				
84	87-DAM-022-OP4		Aubague M.	1987	Recherches de minéralisations Zn-Pb-(Ag) menées par le BRGM (1979-1984) dans le secteur Nord-Alès (Gard). [Concessions C.I.M. de Cendras, le Soulier et St-Félix], bilan et synthèse	X					
85	87-DAM-030-OP4		Coumoul A., Aubague M.	1987	Inventaire du territoire national - Exploitation de la géochimie multilémanitaire, prospection de la couverture secondaire de la coupure 50000 Alès.	X					
86	Chronique de la Recherche Minière, 493, pp. 5-32		Aubague M., Coumoul A., Lebas R., Macquar J.C., Sureau J.F.	1988	Inventaire du territoire national - Exploitation de la prospection géochimique multilémanitaire sur la couverture secondaire de la coupure Alès, travaux effectués en 1981-1982 sur les indices à Pb-Zn du panneau hettangien de Caussè - Lavabrèille - Clémentine.	X					
87	88-DAM-020-OP4		Aubague M.	1988	Géologie des minéralisations Fe-Zn-Pb de l'Hettangien du horst de Rochebelle-Fontaines (bordure cévenole, secteur Nord-Alès, Alès).	X					
88	88-DAM-001-OP4		Coumoul A., Aubague M.	1988	Recherche de mineral Pb-Zn da Campestre (à no maille géochimique du Mas Gauzin) Cause du Larzac-Gard/Aveyron.	X					
89	88-DAM-007-OP4		Coumoul A., Haas H., Aubague M.	1988	Recherches de nouvelles minéralisations Zn-Pb sur le flanc ouest du horst de Pallières (bordure cévenole, Gard) : travaux 1975-81 sur les panneaux Cadayer et St-Félix de Pallières.	X	X				
90	89-DAM-016-DEX		Letalenot J. avec la collaboration de Aubague M., Coumoul A., Sureau J.F.	1988	Recherches de minerais Zn-Pb sur la concession CIM de Panissière (bordure cévenole - Gard).	X					
				1988	Couverture sédimentaire de la bordure sud-est du massif central français. Synthèse géochimique.	X					

Test méthodologique sur les données de l'Inventaire Minier sur le gisement de Zn de la Croix de Pallières.

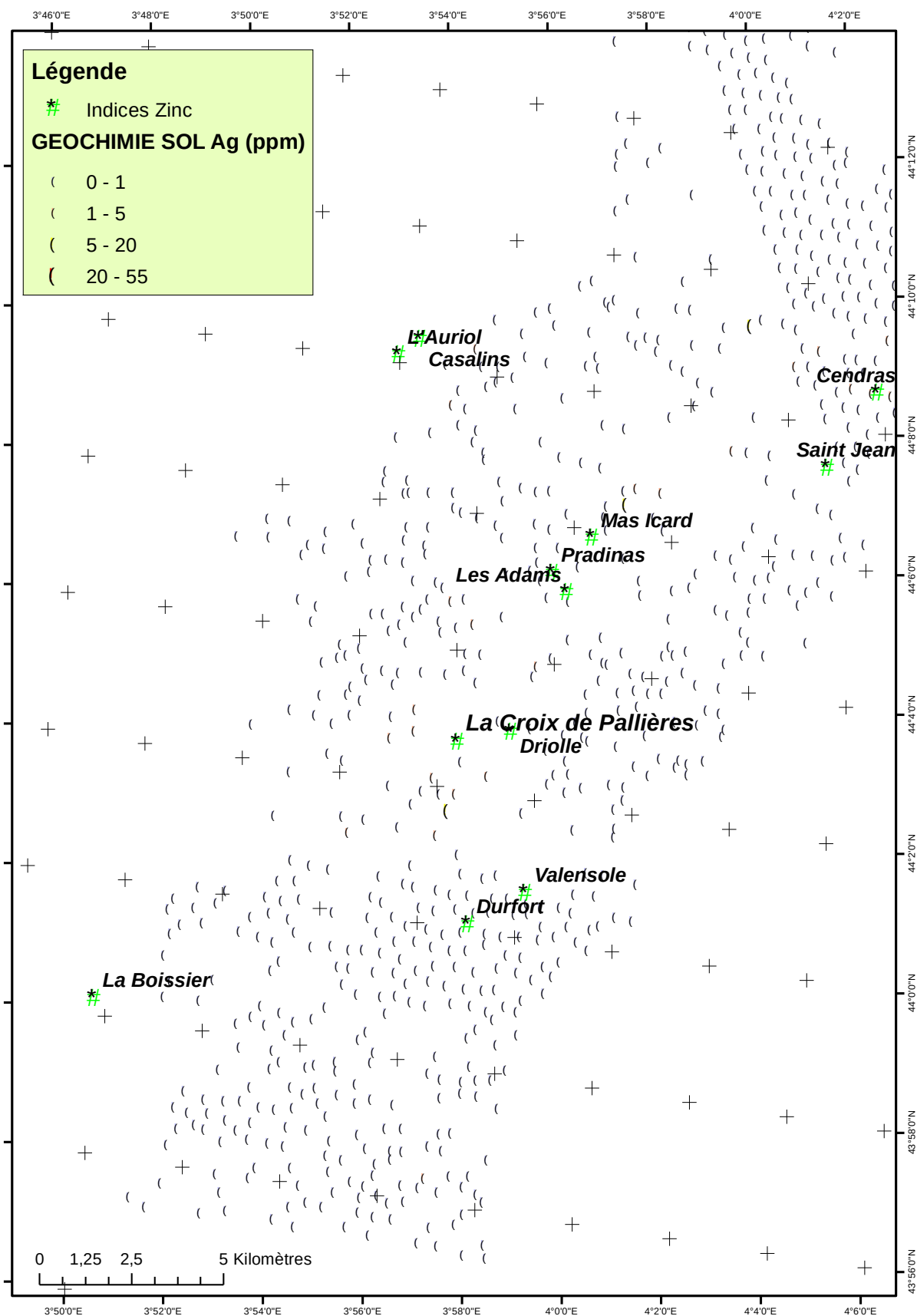
	n° Rapport BRGM	Autres	Auteurs	Année	Titre	numérique BRGM	SRT Toulouse	Ecole des Mines Als	papier	GÉODÉSIALES	SGR Montpellier
91	88-DAM-010-DEX		Silpateur I.	1988	Prospection géochimique (Au et multi-éléments) semi-stratégique autour des indices de La Vainny-Tréglarières (Saint-Jean-du-Gard, Cévennes, France)	X			DREAL LHO ALES		
92	89-DAM-005-DEX		Aubague M., Orgeval J.J.	1989	La province métallogénique sous-cévenole (Bassin des Causse inclus).	X					
93	89-DAM-007-OP4		Coumoul A., Aubague M.	1989	Recherche de nouvelles minéralisations Zn-Pb à l'Ouest du horst de Pallières (zone dite de Combescure-la Ferrière) : Bordure cévenole, Gard.	X	X				
94	89-DAM-009-OP4		Coumoul A., Aubague M.	1989	Recherche de minéralisations Zn-Pb sur le faite et le flanc Est du horst de Pallières : Bordure cévenole, Gard.	X	X				
95	BRGM/RR-30858-FR		Aubague M.	1990	Recherche de minéralisations Zn-Pb dans la Lotharingen de la bordure occidentale des Cévennes (segment Treves-Nant, Gard-Aveyron).	X					
96	BRGM/RR-31674-FR		Bonjoly D. avec la collaboration de Cassard D., Haas H.	1990	Le sondage de Combescure dans son contexte structural : Chronologie des déformations et des transformations des sédiments dans le bassin de Mallet (Gard, France).	X	X				
97	90-GPH-062		Debaglia N., Dupont F., Mercier F.	1990	Etude gravimétrique sur la bordure sous-cévenole. Bassin de Mallet mai, juin, juillet 1990.		X				
98	90-GPH-093		Stoijan N., Viland J.C. avec la collaboration de Béziat P., Bigot M., Bomuat M., Cortial Ph., Lagry Ph., Pouit G.	1990	Etude gravimétrique dans la région de Blandas - Les Malines (Gard).	papier					
99	BRGM/RR-37813-FR			1991	Les gisements de plomb-zinc en France (Situation en 1991).	X					
100	Noie technique		DREAL LRO	1985	Note sur la concession de La Croix de Pallières.						
101	Rapport		Union Minière & BUGECO	1994	Concession de Saint Félix de Pallières. Première phase de réhabilitation du site.				X		X
102	Demande de renonciation		Union Minière France S.A.	1998	Renonciation aux concessions de La Croix de Pallières, de Valeraube, de Pallières et Gravouillère.				X		
103	Etat des lieux et travaux d'aménagement		Union Minière & BUGECO	1998	Concessions de La Croix de Pallières, de Valeraube, de Pallières et Gravouillère. Etat des lieux et travaux d'aménagement.				X		
104	BASIAS : Inventaire historique de sites industriels et activités de service		Viret E.	1998	Fiche détaillée LRO3000137 - Mine de la Croix de Pallières.	X					
105	Rapport Dossier de renonciation		DREAL LRO	1999	Concessions de mines de zinc, plomb, argent et autres métaux, le fer excepté dite "concession de La Croix de Pallières", de mines de pyrite de fer dites "concession de Valeraube" et "concession de Pallières et Gravouillère". Renonciation.				X	X	
106	In Mineral Deposits at the beginning of the 21th Century. Balkema, Rotterdam, pp.157-160.		Leach D., Premo W., Lewchuk M., Henry B., Le Goff M., Rouvier H., Macquar J.C., Thibléroz J.	2001	Evidence for Mississippi Valley-Type lead-zinc mineralization in the Cévennes region, Southern France, during Pyrenees orogeny.	X					
107	Note du Technicien Supérieur de l'industrie et des Mines		Aygou A.	2003	Concessions dites de La Croix de Pallières, de Pallières et Gravouillères et de Valeraube détenues par la Société UMICORE France anciennement UNION MINIERE France). Demande de enoncication.					X	X
108	Rapport GEODERIS		Coste B.	2003	Base de données environnementales de Languedoc-Roussillon (Programme Géodériss 2002). Interprétation et résultats.					X	
109	Rapport/INERIS-DNC-03-42956/DISP-401b		Kimmel M.	2003	Synthèse des données relatives à l'ancienne Mine Joseph et avis pour fermeture du dossier.					X	X
110	Note du Technicien Supérieur de l'industrie et des Mines		Aygou A.	2004	Evaluation détaillée des risques liés aux eaux de surface du ruisseau de la Paleyrolle, s'écoulant depuis le pont du CD 133 jusqu'à la confluence avec l'Ourne.				X	X	X
111	Rapport/INERIS-DNC-04-59605/DISP-401a		Denys S.	2004	Evaluation détaillée des risques liés aux eaux de surface du ruisseau de la Paleyrolle, s'écoulant depuis le pont du CD 133 jusqu'à la confluence avec l'Ourne. Version finale					X	X
112	Arrêté du 19 mars 2004		Journal Officiel de la République Française	2004	Arrêté du 19 mars 2004 acceptant la renonciation à une concession de mines de zinc, plomb argentifère et autres métaux, le fer excepté.				X		
113	BRGM/RP-53546-FR		Lambert A.	2005	Les données géochimiques et allométraires de l'inventaire minier du territoire national. Constitution d'une base de données exhaustive.	X					
114	BRGM/RP-55054-FR		Marroncle J.L.	2006	Examen d'installations hydrauliques de sécurité dans les concessions minières du département du Gard (30).	X					
115			Caudron M.	2007	Audit de la digue de résidus de traitement d'origine de Saint Félix de Pallières (30).					X	X
116	Piche GEODERIS		Géodériss Ales	2008	La Croix de Pallières					X	X
117	BDSIM		GEODERIS ALES	2008	Plan d'ensemble / Concession La Croix de Pallières,					X	X
118	BRGM/RP-56454-FR		Maton D., Lapercie V. avec la collaboration de Le Strat P.	2008	Recherche d'une zone "l'énoir" dans le cadre de la démarche IEM sur la commune de Saint-Laurent-le-Minier (30). Contexte géologique et géologique de la minéralisation en Pb-Zn de la bordure sous-cévenole.	X					
119			Coumoul A.	??	Minéralisations Zn/Pb/F dans le Lotharingien de Burfort.		X				
120			??	??	Le horst de Générargues et ses minéralisations (bordure cévenole - Gard).		X				
121			??	??	Impacts résiduels d'anciennes mines „La Croix de Pallières.				X		
122			MM, Serre, Adrien, Miral, Théron, Gauthier, Hic, Melhieu et Fontanes qui se réunissent en Société des Mines et Usines de Pallières ; Société des mines et foreries de zinc de la Vieille Montagne ; Société Union Minière France ; Unimcore	de 1848 à 2004	PV de visite de mine, Compte-rendus annuels d'activité, demandes de réalisation de sondages, déclarations d'accident, demandes d'arrêt des travaux, demandes de reprise des travaux....				X		
123			BRGM / Division sud-ouest	de 1975 à 1991	Logs de sondage + chimie, géochimie sol et sédiment de ruisseau + interprétations.		X				
24	SIG MINES FRANCE		BRGM		Base des données de l'Inventaire Minier du territoire français.	X					

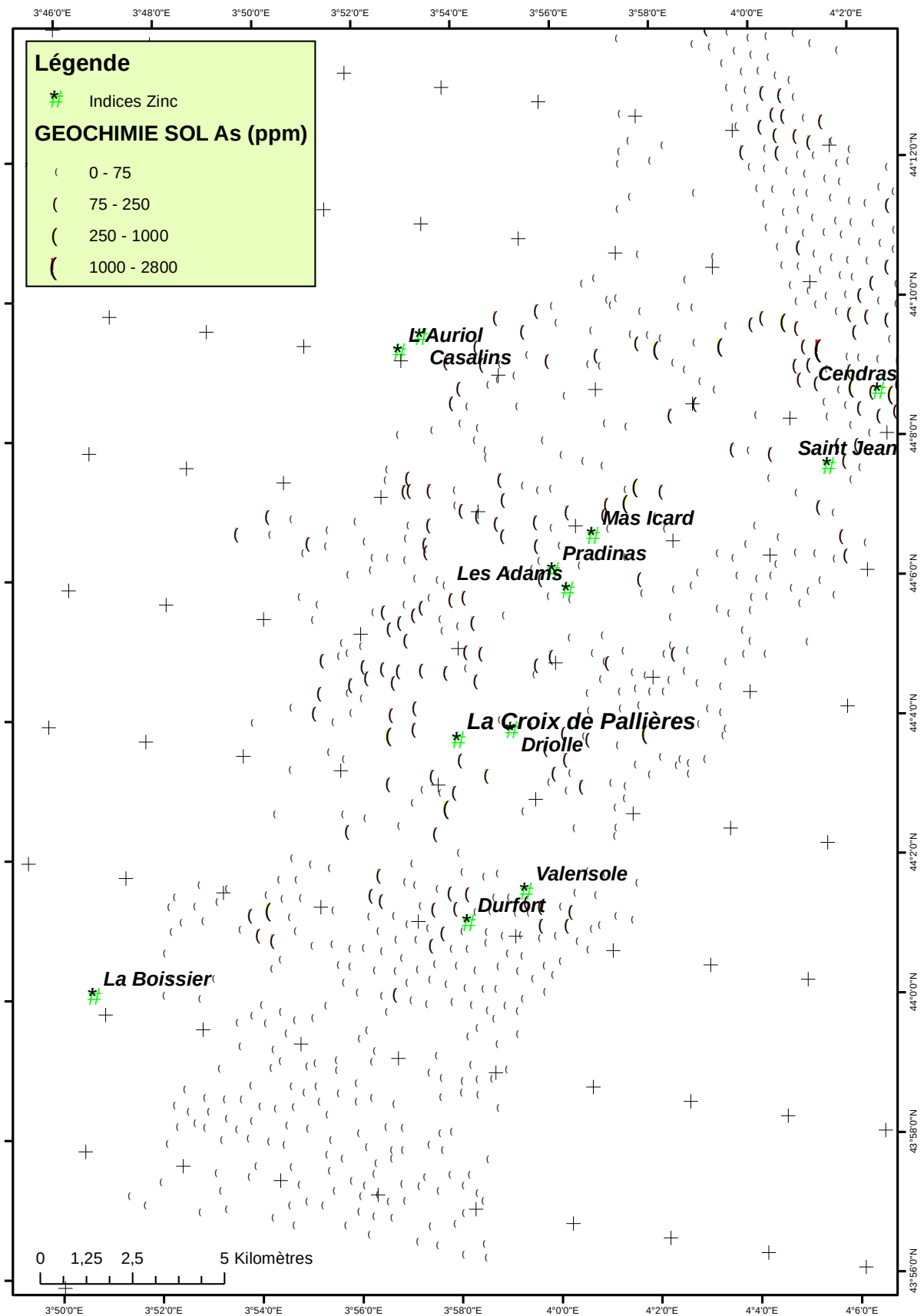
Test méthodologique sur les données de l'inventaire Minier sur le gisement de Zn de la Croix de Pallières.

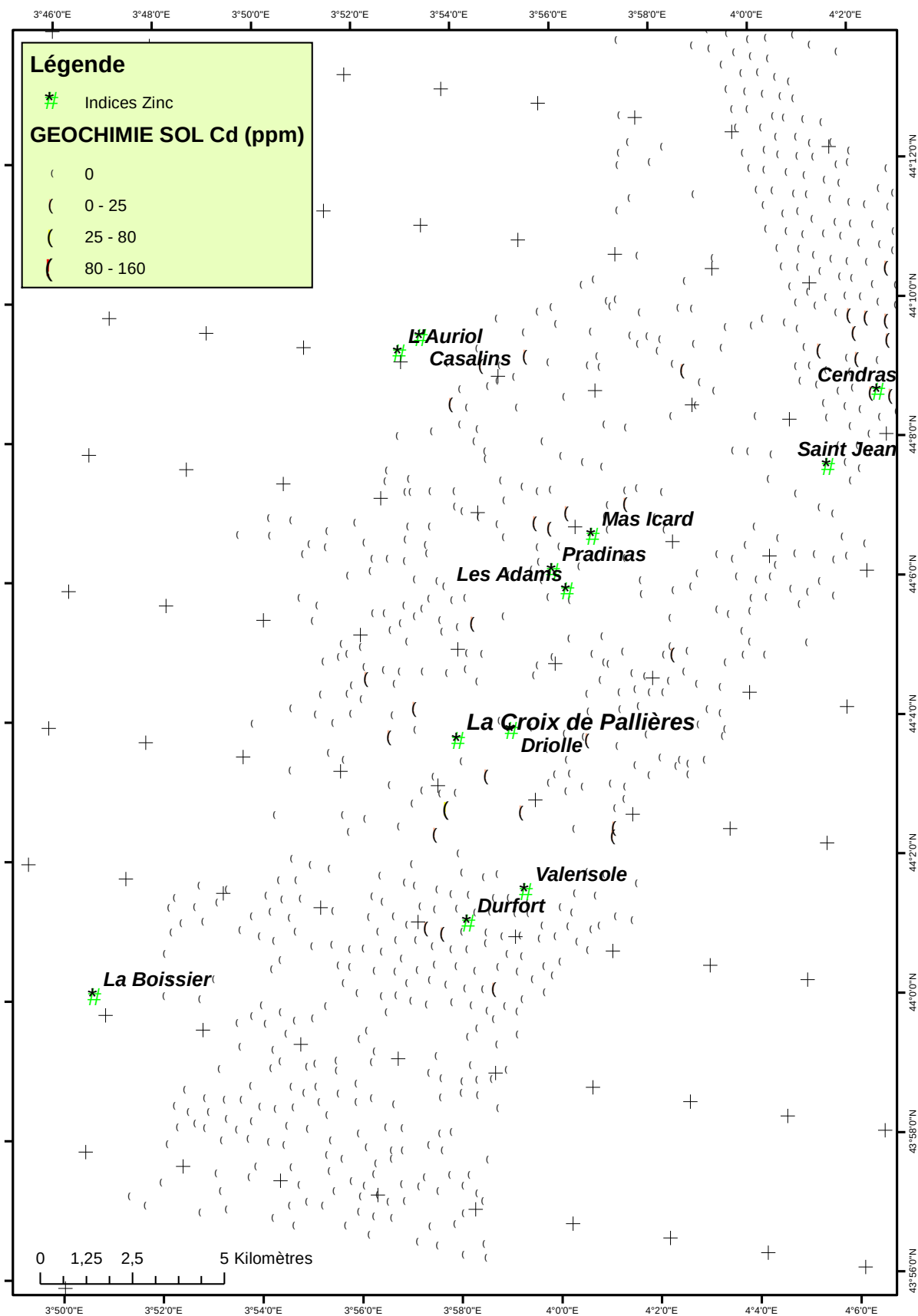
	n° Rapport BRGM	Autres	Point BSS	Auteurs	Année	Titre	numérique BRGM	papier			
								SGR Toulouse	Ecole des Mines Alès	DREAL LRO Alès	SGR Montpellier
125			09374X002GT			Croix de Pallières.	X				
126			09377X0044S			Saint-Félix de Pallières	X				
127			09377X0043S			Saint-Félix de Pallières	X				
128			09378X002GT			Durfort	X				
129			09378X001GT			Pressac	X				

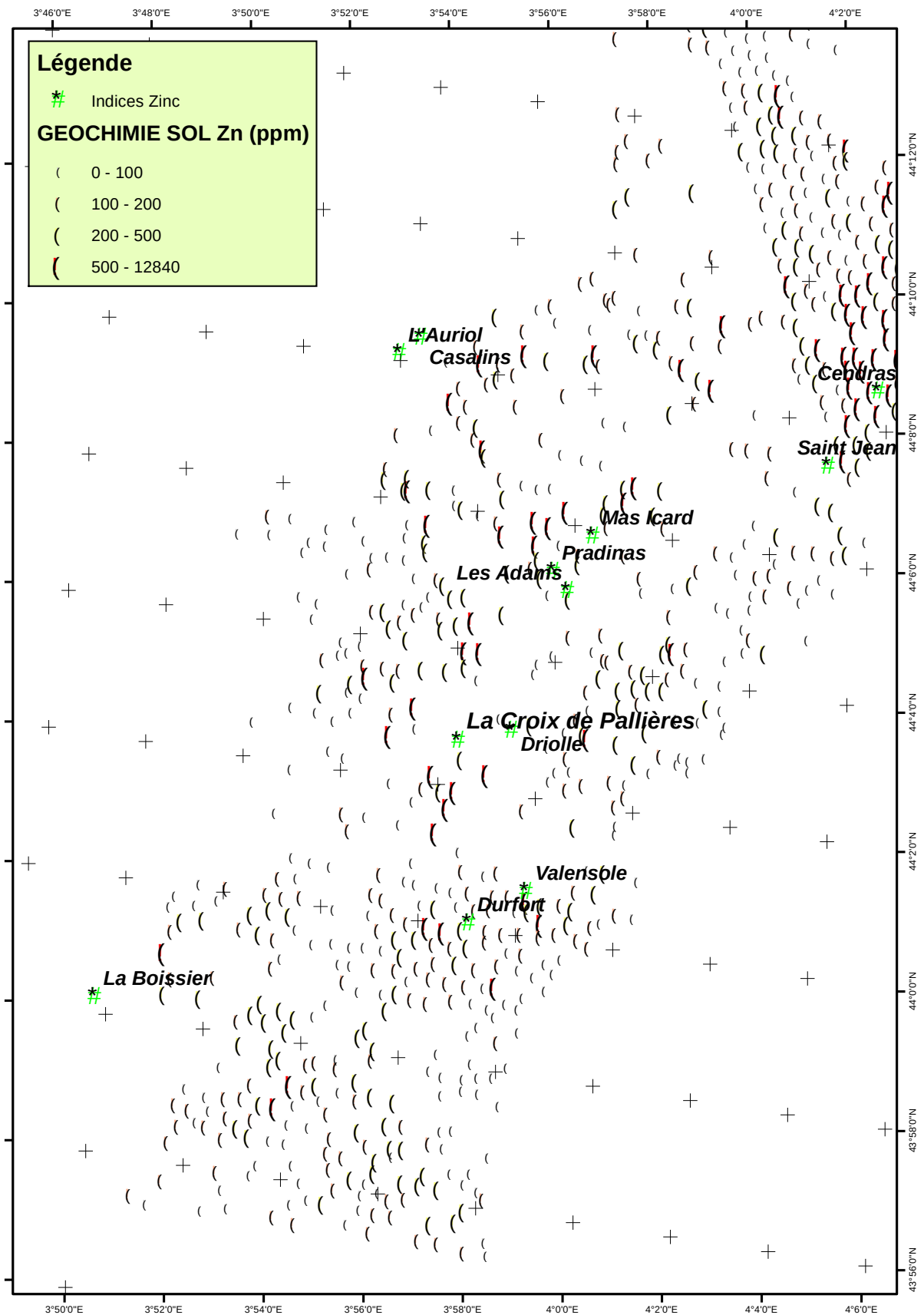
Annexe 1

Inventaire minier : Cartes des résultats de la géochimie sol



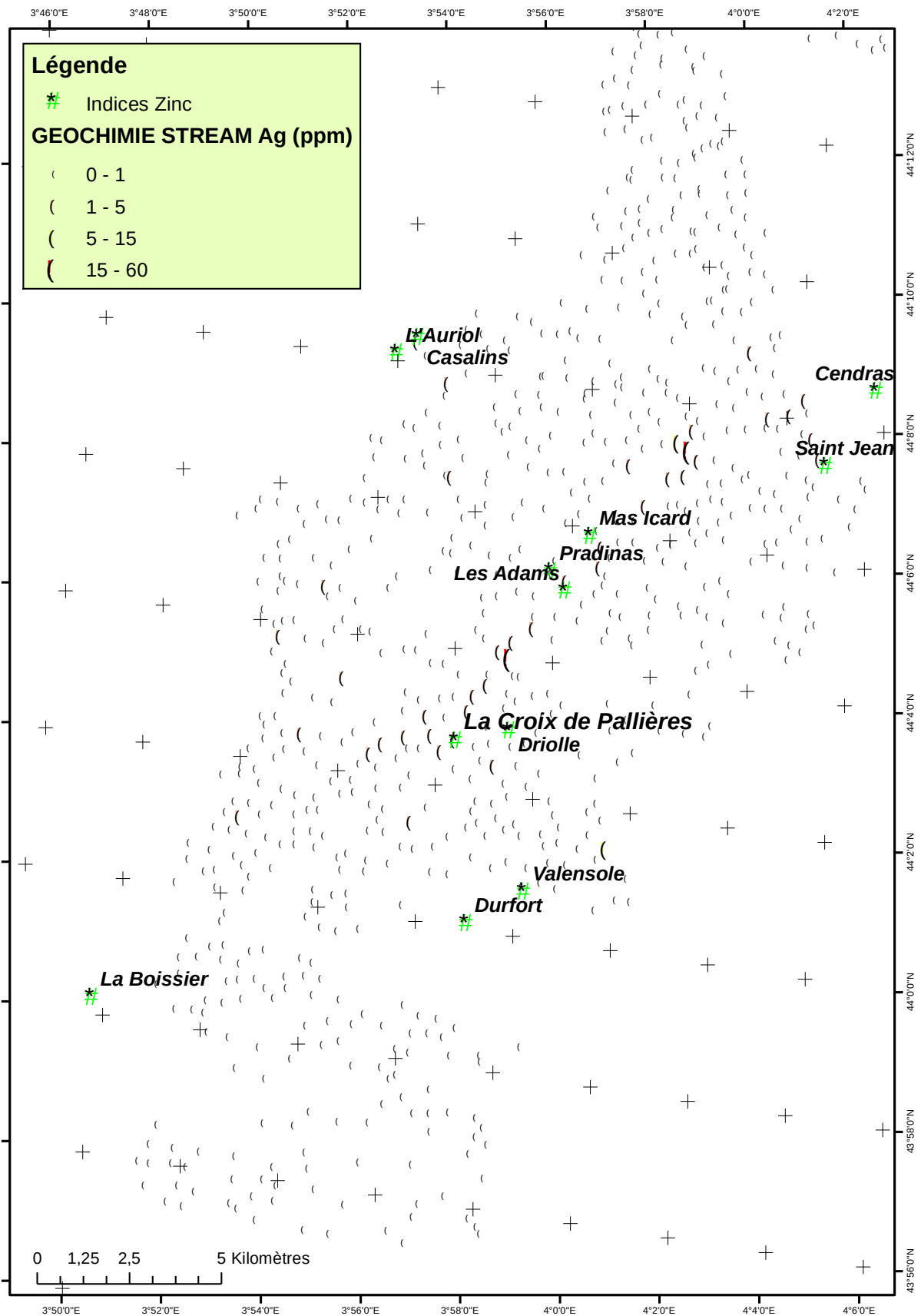


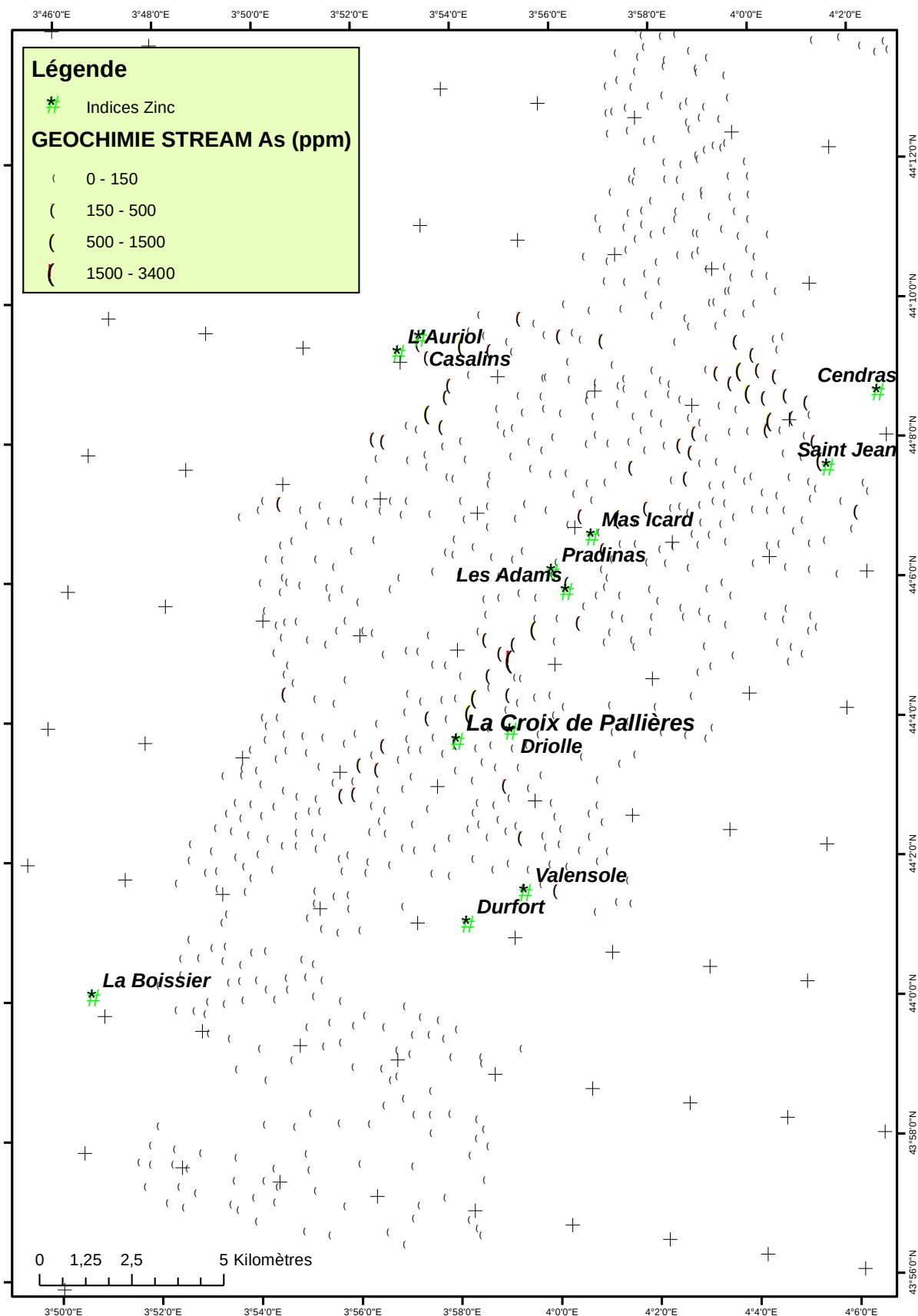


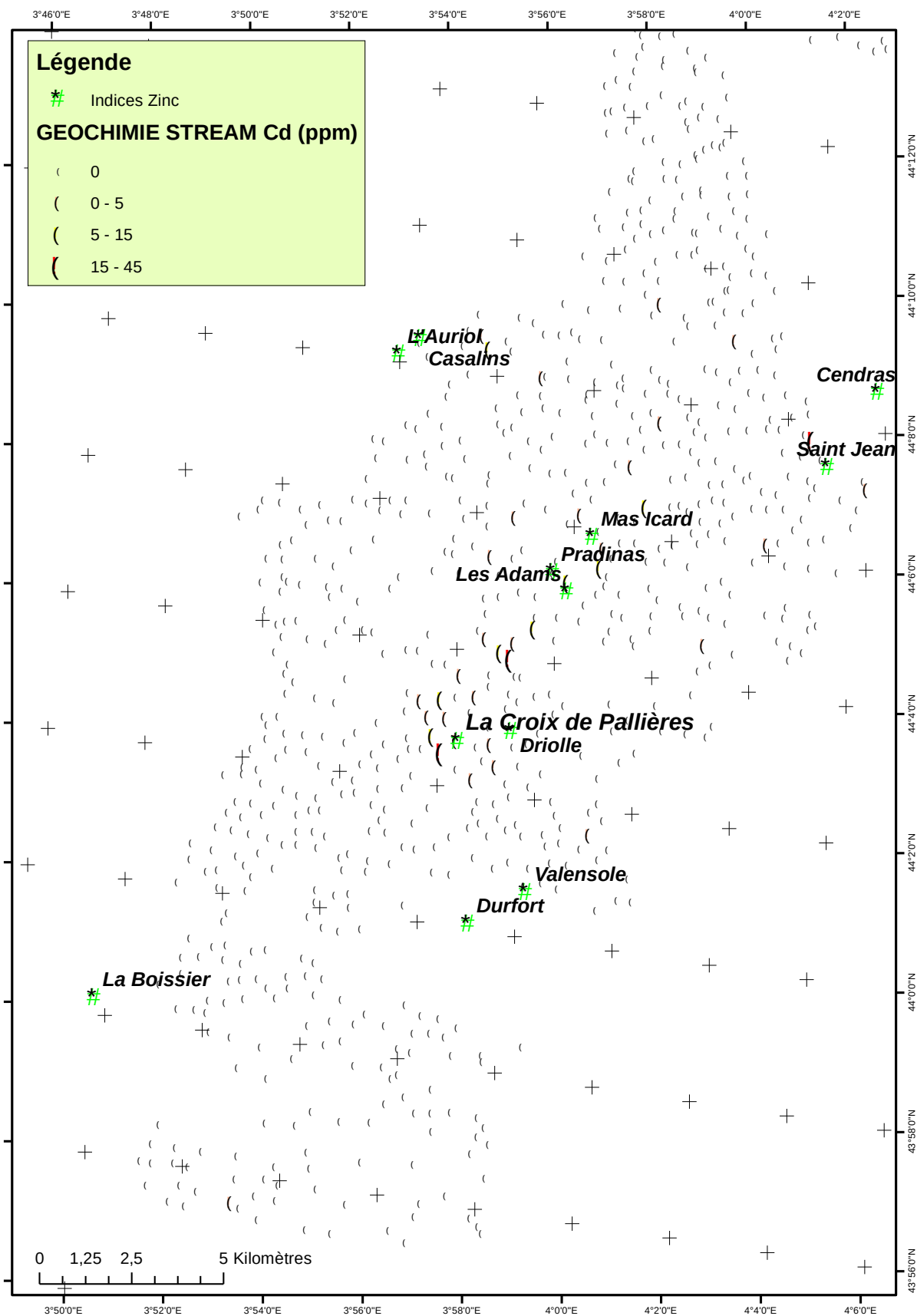


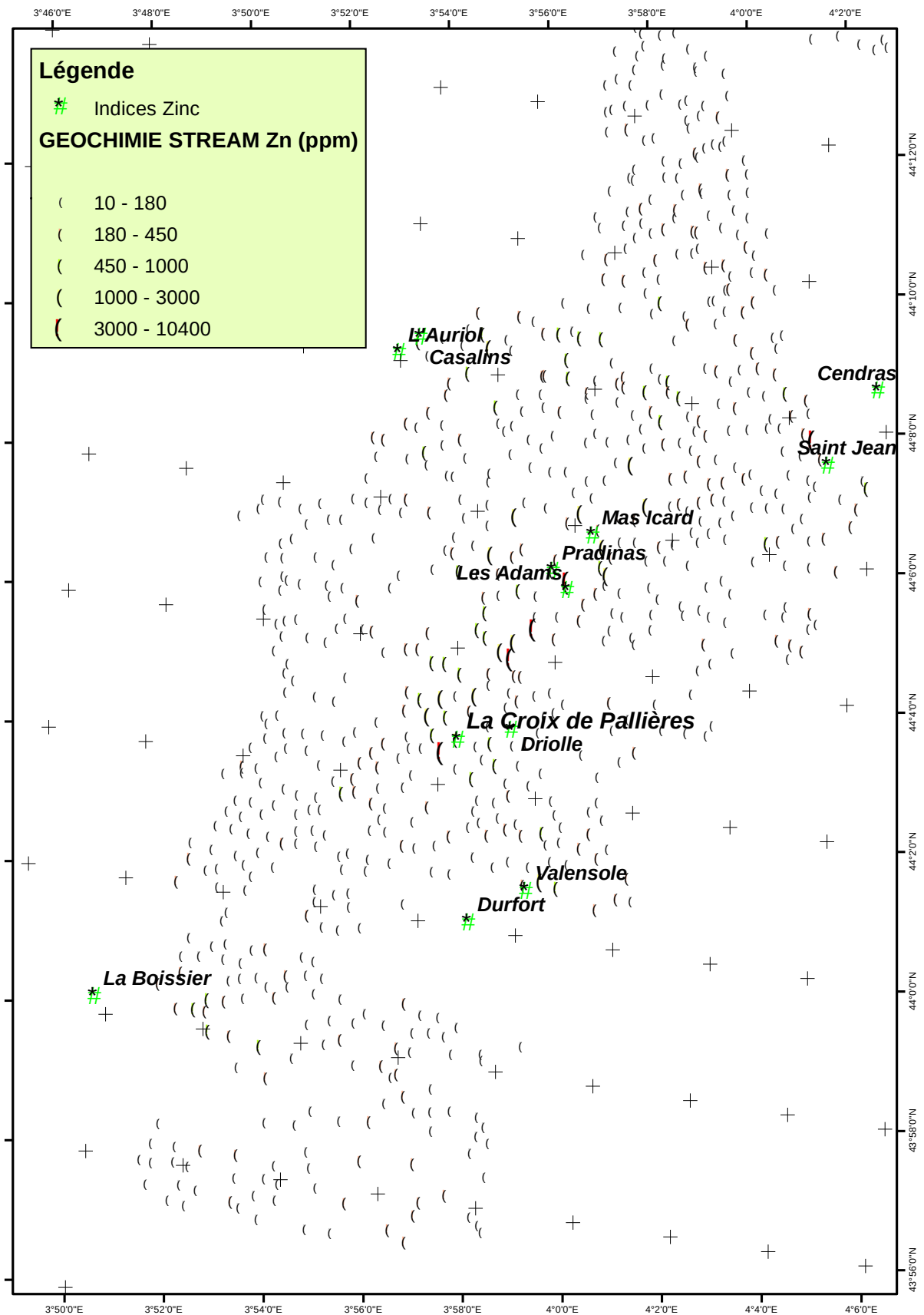
Annexe 2

Inventaire minier : Cartes des résultats de la géochimie stream sediment











**Centre scientifique et technique
Service Ressources Minérales**

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34