



Document public



**Recherche d'une zone « témoin »
dans le cadre de la démarche IEM
sur la commune de
St Laurent-le-Minier (30)**

Contexte géologique et gîtologique de la minéralisation en
Pb-Zn de la bordure sous-cévenole

Rapport final

BRGM/RP-56454-FR

Juin 2008

**Recherche d'une zone « témoin »
dans le cadre de la démarche IEM
sur la commune de
St Laurent-le-Minier (30)**

Contexte géologique et gîtologique de la minéralisation en
Pb-Zn de la bordure sous-cévenole

Rapport final

BRGM/RP-56454-FR

Juin 2008

Etude réalisée dans le cadre de la convention
MEDAD/SEI-BRGM 2007 n°000877 (action 4)

D. Maton, V. Laperche,
Avec la collaboration de
P. Le Strat

Vérificateur :

Nom : P. PIANTONE

Date : 22/07/08

Signature :



Approbateur :

Nom : H. GABORIAU

Date : 19/08/08

Signature :



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

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots clés : Arsenic, cadmium, environnement témoin, fond géochimique, Gard, interprétation de l'état des milieux, Saint-Laurent-le-Minier, Plomb, Zinc.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : D. Maton, V. Laperche, avec la collaboration de P. Le Strat. (2008). Recherche d'une zone « témoin » dans le cadre de la démarche IEM sur la commune de Saint-Laurent-le-Minier (30), Contexte géologique et gîtologique de la minéralisation en Pb-Zn de la bordure sous-cévenole. BRGM/RP-56454-FR – 95 p

Synthèse

Dans le cadre de ses missions de Service Public, le BRGM a mené pour le compte du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire – MEEDDAT (convention n°000877 MEDAD/SEI-BRGM 2007), une étude préliminaire consistant en la recherche d'une zone « témoin » pour la mise en œuvre d'une démarche d'Interprétation des l'Etat des Milieux (IEM) sur la commune de Saint-Laurent-le-Minier (30).

La commune de Saint-Laurent-le-Minier dans le Gard a été le siège d'une importante activité minière depuis l'Antiquité (mines métalliques plombo-zincifères). Cette activité a cessé définitivement en 1995. Une étude simplifiée des risques (ESR) réalisée par un bureau d'étude à l'initiative de la mairie a mis en évidence en 2005 des niveaux de pollution des sols très élevés en particulier dans le hameau de la Papeterie construit sur un ancien site de traitement de minerai.

Le MEEDDAT a donc souhaité développer une étude environnementale et sanitaire sur le site de Saint-Laurent-le-Minier pour laquelle sont associés l'InVS, l'INERIS, le BRGM et l'ADEME en fonction de leurs spécificités techniques

Dans le cadre de la première phase de ce programme «Elaboration d'un protocole d'investigation», l'étude préliminaire menée par le BRGM avait pour objectif de fournir une caractérisation des fonds géochimiques locaux au niveau de la bordure sous-cévenole où le contexte géologique et gîtologique est relativement similaire à celui de la commune de Saint-Laurent-le-Minier.

Cette caractérisation a été conduite sur la base d'une synthèse bibliographique des données existantes et, en particulier, celles issues de l'Inventaire Minier National et des anciennes activités anthropiques minières exercées dans ce secteur géographique. Elle a pu aboutir à une sélection de 12 communes proches géographiquement de Saint-Laurent-le-Minier qui sembleraient les plus intéressantes comme susceptibles d'être un « environnement témoin » dans le cadre de la démarche IEM.

Après une visite de terrain par le groupe de travail et sur la base de critères généraux tels que :

- le contexte naturel : géologie, topographie, hydrographie,
- l'activité humaine : la zone devant être exempte d'activité anthropique industrielle ou minière de dimension importante,
- la population : types de populations présentes, exposition des populations,

le choix final de trois communes potentiellement représentative d'un « environnement témoin » de la commune de Saint-Laurent-le-Minier s'est porté sur les communes d'Alzon, d'Arrigas (site de Vernes), et de Saint-Roman-de-Codières.

Sommaire

1. Présentation de la commune de Saint-Laurent-le-Minier.....	11
1.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE.....	11
1.2. LA PROBLEMATIQUE DE LA POLLUTION DES SOLS.....	12
1.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL ET DISTRIBUTIONS SPATIALES DES MINERALISATIONS.....	14
2. Description des anciennes exploitations minières dans le département du Gard	17
2.1. LES MINES DES MALINES (COMMUNES DE ST-LAURENT-LE-MINIER ET MONTDARDIER).....	17
2.1.1. Historique	17
2.1.2. Nature et contexte géologique des substances exploitées	18
2.1.3. Travaux effectués	18
2.1.4. Installations en surface.....	19
2.2. LA MINE DES AVINIERES (COMMUNE DE SAINT-LAURENT-LE-MINIER)....	20
2.2.1. Historique	20
2.2.2. Nature et contexte géologique des substances exploitées	20
2.2.3. Travaux effectués	20
2.2.4. Installations en surface.....	20
2.3. LA MINE DE LA CROIX DE PALLIERES (COMMUNES THOIRAS, TORNAC ET SAINT-FELIX-DE-PALLIERES)	21
2.3.1. Historique	21
2.3.2. Nature et contexte géologique des substances exploitées	21
2.3.3. Travaux effectués	22
2.3.4. Installations en surface.....	22
2.4. LA MINE DE DURFORT (COMMUNES DUFORT ET SAINT-MARTIN-DE- SOSSENAC, FESSAC, TORNAC ET SAINT-FELIX-DE-PALLIERES).....	23
2.4.1. Historique	23
2.4.2. Nature et contexte géologique des substances exploitées	23

2.4.3. Travaux effectués.....	23
2.4.4. Installations en surface	24
2.5. AUTRES EXPLOITATIONS MINIERES DE LA BORDURE CEVENOLE	25
2.5.1. Les Deux Jumeaux (communes de Saint-Julien-de-la-Nef, Sumène et Ganges)	25
2.5.2. Saint-Hippolyte-du-Fort (communes de Saint-Hippolyte-du-Fort et la Cadière-et-Cambo)	25
2.5.3. Saint-Sébastien-d’Aigrefeuille (communes de Saint-Sébastien-d’Aigrefeuille, Saint-Jean-du-Pin, Générargues et Mialet)	26
2.5.4. Autres concessions minières	26
2.6. RESUME HISTORIQUE DES EXPLOITATIONS MINIERES DE LA BORDURE CEVENOLE	30
3. Données de l’inventaire Minier National	31
3.1. METHODOLOGIE DE L’INVENTAIRE MINIER NATIONAL	31
3.2. DISTRIBUTION SPATIALE ET STRATIGRAPHIQUE DES MINERALISATIONS Pb-Zn-As.....	33
3.3. DETERMINATION DES FONDS GEOCHIMIQUES COMMUNAUX Pb-Zn-As-Cd	34
4. Proposition de typologie des communes susceptibles d’être « environnement témoin ».....	37
4.1. DEFINITION DES CRITERES	37
4.2. IDENTIFICATION DES COMMUNES SUSCEPTIBLES D’ETRE « ENVIRONNEMENT TEMOIN »	41
5. Visite sur le terrain des communes « témoins » présélectionnées.....	43
5.1. DEROULEMENT DE LA VISITE	43
5.2. CHOIX DES COMMUNES REPRESENTATIVES D’UN « ENVIRONNEMENT TEMOIN »	46
6. Conclusion.....	49
7. Bibliographie	51

Liste des illustrations

Figure 1 : Plan de la commune de Saint-Laurent-le-Minier (IGN)	11
Figure 2 : Localisation des mines principales de la bordure cévenole. En inclusion, localisation du Massif Central, du Bassin d'Aquitaine (BA), du Bassin de Paris (BP), du Bassin du Sud-Est (BSE) (d'après Leach et al., 2001)	15
Figure 3 : Localisation des concessions, exploitations et indices miniers plomb dans le département du Gard (30).....	29
Figure 4 : Localisation des points de prélèvement de sol réalisés dans le cadre de l'Inventaire Minier National.....	32
Figure 5 : Localisation des communes « témoins » présélectionnées	42
Figure 6 : Notice de la carte géologique du Vigan.....	44
Figure 7 : Extrait de la carte géologique de la région de Saint-Laurent-le-Minier	45

Liste des tableaux

Tableau 1 : Indicateurs statistiques concernant la distribution des concentrations en éléments métalliques mesurées par spectromètre portable de fluorescence X sur le territoire communal de Saint-Laurent-le-Minier.....	13
Tableau 2 : Concentrations totales en éléments traces dans les sols en France (d'après D. Baize, 1997)	35
Tableau 3 : Liste des 49 communes ayant un fond géochimique naturel pouvant être considéré régionalement comme normal.....	39
Tableau 4 : Liste des 14 communes ayant un fond géochimique naturel comportant des anomalies élevées en Zn, Pb, As ou/et Cd.....	40
Tableau 5 : Liste de 12 communes non couvertes par l'inventaire minier national mais possédant un indice ou un gîte plombo-zincifère	40
Tableau 6 : Analyses Pb, As et Zn (en mg/kg) par l'appareil portable de fluorescence x sur site.....	47

Liste des annexes

Annexe 1 Liste des gisements, gîtes et indices Pb - Zn dans le département du Gard (30)	53
Annexe 2 Les minéralisations Zn, Pb, Fe, Ba, F péricévenoles, cadre structuro - sédimentaire et distribution spatio-temporelle.	59
Annexe 3 Extrait de la carte des gîtes minéraux de la terminaison méridionale du Massif Central	77

Annexe 4 Cartographies de la répartition géographique des concentrations en Pb, Zn, As et Cd et représentations graphiques des distributions des concentrations par commune	81
Annexe 5 Géor@pports BRGM des communes d’Alzon, d’Arrigas et Saint-Roman-de-Codières	91

Introduction

La commune de Saint-Laurent-le-Minier dans le Gard a été le siège d'une importante activité minière depuis l'Antiquité. Cette activité a cessé définitivement en 1995. Une étude simplifiée des risques (ESR) réalisée par un bureau d'étude à l'initiative de la mairie en 2005 a mis en évidence des niveaux de pollution des sols très élevés en particulier dans le hameau de la Papeterie construit sur un ancien site industriel de traitement de minerai. Parmi les polluants mis en évidence, les concentrations en plomb mesurées représentaient 10 à 100 fois les valeurs de fond géochimique couramment rencontrées sur le territoire national. Des mesures relatives à l'interdiction de commercialisation des produits de l'agriculture, à la non consommation des produits des jardins potagers ont été décidées et une campagne de dépistage du saturnisme auprès des enfants, des femmes enceintes et allaitantes ont été mises en œuvre dans la commune. Dans le même temps des études environnementales complémentaires étaient réalisées.

La multitude des sources de pollutions potentielles (dépôts de stériles, remblais, résidus de décantation, déchets miniers) ne permet pas une interprétation claire et précise des différentes sources d'exposition et des voies de transfert. Ces difficultés sont renforcées par un historique minier complexe et bien souvent mal connu.

Le Ministère de l'Ecologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire - MEEDDAT souhaite donc développer une étude environnementale et sanitaire sur le site de Saint-Laurent-le-Minier pour laquelle sont associés l'InVS, l'INERIS, le BRGM et l'ADEME en fonction de leurs spécificités techniques. Ce projet ambitieux mené par une équipe pluridisciplinaire devrait permettre :

- d'apporter des éléments de réponse aux autorités locales pour qu'elles puissent ajuster les mesures de gestion déjà mises en place. Pour ce faire, la nouvelle démarche en matière de gestion des sols pollués proposé par le MEEDDAT¹ depuis le 8 février 2007, notamment «l'Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM)», sera appliquée sur ce site. Cette démarche consiste à apprécier la compatibilité entre les niveaux de contamination des milieux (sol, eau, air, végétaux...) et leur usage, notamment dans les zones qui font actuellement l'objet de mesures de gestion sanitaires. Ainsi, une comparaison sera faite entre le site industrialisé de St-Laurent-le-Minier et un site possédant un fond géochimique naturel similaire, notamment des minéralisations semblables, sélectionné dans la région, mais n'ayant pas connu d'activité anthropique (extraction importante de minerai, usine d'enrichissement métallurgique,..). Par la même, un essai de déconvolution entre l'effet induit par l'activité industrielle et l'effet intrinsèque d'un milieu naturel comportant des anomalies géochimiques naturelles sera

¹ Pour plus de précisions sur les nouvelles modalités de gestion et de réaménagement des sites et sols pollués et sur la démarche d'interprétation de l'état des milieux, il est possible de consulter le site Internet du MEDAD à l'adresse : <http://www.ecologie.gouv.fr/Consultation-sur-les-nouveaux.html>

tenté. Outre le plomb d'autres métaux tels que le As, le Cd, le Tl,... devraient également être aussi considérés ;

- et ensuite, de poursuivre l'évaluation de l'impact sanitaire sur la commune de Saint-Laurent-le-Minier. Il s'agit de répondre à l'interrogation majeure concernant les modes effectifs d'exposition des populations (transfert des polluants présents dans le sol dans l'organisme humain, notamment de manière directe par l'ingestion de sol et de poussières ou de manière indirecte par la consommation domestique de légumes cultivés sur ces terres). Ce dernier objectif relève très clairement de l'amélioration des connaissances scientifiques sur l'exposition humaine à des polluants métalliques présents dans les sols qui sont à la fois présents naturellement et liées à l'exploitation d'un important gisement minier. Elle s'inscrit dans un cadre plus large de la connaissance des fonds géochimiques, du transfert sol-plante, de la bio-accessibilité et biodisponibilité de ces polluants et de la connaissance du niveau d'imprégnation de la population résidant sur des sols pollués.

Dans le cadre de la première phase de ce programme «Elaboration d'un protocole d'investigation», l'étude préliminaire présentée dans ce document a été menée par le BRGM pour fournir une caractérisation des fonds géochimiques locaux au niveau de la bordure sous-cévenole où le contexte géologique et géologique est relativement similaire à celui de la commune de Saint-Laurent-le-Minier.

Cette caractérisation a été conduite sur la base d'une synthèse bibliographique des données existantes et, en particulier, celles issues de l'Inventaire Minier National et des anciennes activités anthropiques minières exercées dans ce secteur géographique. Elle a pu aboutir à une sélection de communes proches géographiquement de Saint-Laurent-le-Minier susceptible d'être retenu comme environnement témoin dans le cadre de la mise en œuvre de la démarche IEM.

La démarche d'interprétation de l'état des milieux (IEM) : il s'agit de s'assurer que l'état des milieux est compatible avec des usages déjà fixés.

Les objectifs de l'IEM sont de s'assurer que l'état des milieux étudiés ne présente pas un écart significatif par rapport à la gestion sanitaire mise en place pour l'ensemble de la population française. Ainsi, en cohérence avec les dispositifs de gestion sanitaire et environnementale en place, la démarche d'interprétation de l'état des milieux vise à différencier les situations qui permettent une libre jouissance des milieux, de celles qui sont susceptibles de poser un problème et de nécessiter des actions à envisager dans le cadre du plan de gestion.

L'IEM est une démarche de gestion à part entière, progressive et réfléchie à toutes ses étapes. Elle se base sur des campagnes de mesures réalisées dans les différents milieux d'expositions susceptibles de poser problème. La définition de ces campagnes de mesure, leur mise en œuvre puis leur exploitation peut nécessiter plusieurs années qui font parties intégrantes de la démarche de gestion.

L'état des milieux d'exposition mis en évidence à travers ces campagnes de mesure est ensuite comparé à la fois à l'état initial de l'environnement ou à l'état des milieux naturels voisins ainsi qu'aux valeurs de gestion et aux dispositions réglementaires en vigueur. Lorsqu'il s'avère que l'état des milieux d'exposition est dégradé, en l'absence de valeur réglementaire de gestion sur les milieux d'exposition, une évaluation quantitative des risques sanitaires doit alors être menée. Les résultats sont interprétés à l'aide des intervalles d'appréciation des risques qui ont été définis spécifiquement pour cette démarche.

Précisons que la méthodologie d'acquisition de l'état des milieux conduit nécessairement à déterminer les usages réels des milieux, à connaître les modes de contaminations plausibles, et donc à identifier de manière précise les enjeux à protéger. **L'IEM constitue une démarche de gestion adaptée aux situations où les usages des milieux sont fixés : découverte de milieux pollués, impacts hors site des installations classées.**

1. Présentation de la commune de Saint-Laurent-le-Minier

1.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

Saint-Laurent-le-Minier est une commune située dans la partie Sud-Est du département du Gard (région du Languedoc-Roussillon) à la frontière de l'Hérault. Le village de Saint-Laurent-le-Minier appartient au canton de Sumène et à l'arrondissement du Vigan. Géographiquement, elle se situe aux pieds des Cévennes méridionales à 45 km au Nord-Ouest de Montpellier, à proximité des villes de Ganges et du Vigan. Sa superficie est de 13,2 km². Elle se situe à une altitude de 180 mètres environ. Les habitants de cette commune étaient au nombre de 362 au recensement de 1999 (données INSEE).

Le climat est à dominante méditerranéenne avec des influences montagnardes marquées. Au pied du Causse de Blandas, le territoire communal est traversé par deux vallées encaissées où coulent la rivière la Vis et son affluent la Crenze. Les coteaux sont boisés de forêts de résineux, de châtaigniers et de chênes verts. Le bourg de Saint-Laurent-le-Minier s'organise le long des rives de la Crenze et de son affluent le Naduel. Le hameau de la Papeterie est principalement situé sur la rive droite de la Vis, en aval du bourg. Des petits hameaux composés d'habitat dispersé (La Matte, Le Rigal, Le Jalet, Les Tourelles, Le Mazel,...) sont accrochés sur les versants de la montagne ou implantés dans de petits vallons à proximité du bourg (cf. figure 1).

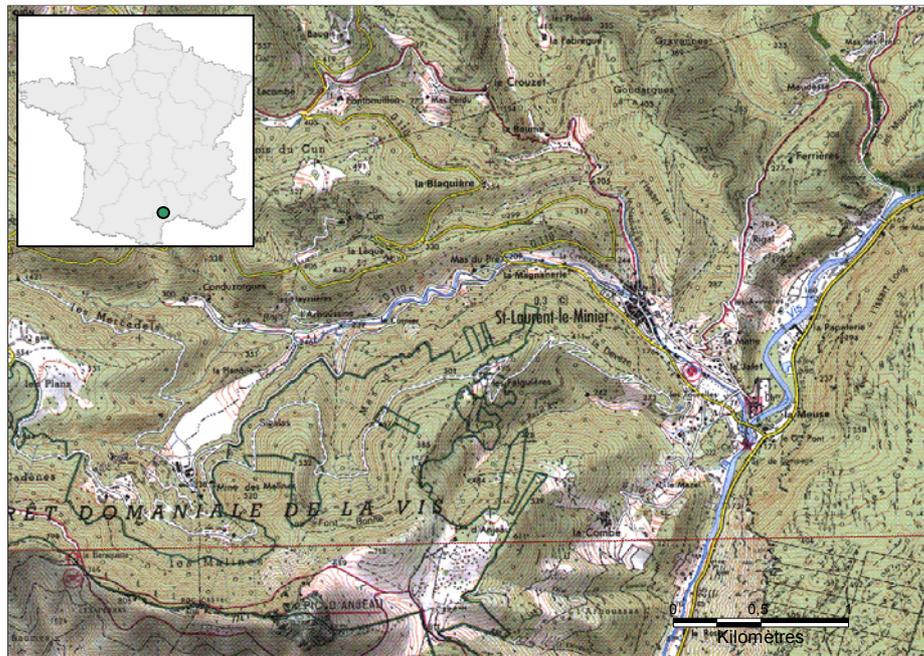


Figure 1 : Plan de la commune de Saint-Laurent-le-Minier (IGN)

L'économie de cette commune repose actuellement en grande partie sur le tourisme vert en été et une agriculture de petites exploitations agricoles (vergers, vignes, élevage pastoral, pisciculture,...). Par le passé, la vie du village fut également fortement dépendante de l'industrie minière avec les Mines « Les Avinières » et « Les Malines », et celle du textile, notamment à la sériciculture. Le ralentissement et les cessations de ces deux activités économiques ces dernières décennies ont induit une forte baisse démographique (610 habitants en 1969 pour 362 en 1999).

En été, il est à noter que les bords de la Vis, de la cascade au niveau du « Pont de la Meuse » à l'aval du « Pont de Mange-Châtaigne » sont très fréquentés par les estivants qui s'adonnent notamment aux activités de baignade.

1.2. LA PROBLEMATIQUE DE LA POLLUTION DES SOLS

Début 2004, sur un terrain du hameau de la Papeterie, un propriétaire a fait réaliser des prélèvements de sols. Les résultats analytiques obtenus ont mis en évidence des niveaux de pollution métallique très élevés, en particulier en arsenic (concentration variant de 73,4 à 910 mg/kg).

La mairie a mandaté alors le bureau d'études BURGEAP pour réaliser une Evaluation Simplifiée des Risques (ESR) à la fin de l'année 2004. Celle-ci a indiqué une pollution des sols du hameau de la Papeterie par le plomb, le cadmium, l'arsenic, le baryum, le cuivre, l'antimoine, le zinc, le thallium, le mercure, les HAP (benzo(a)anthracène) et les hydrocarbures totaux. Pour le plomb, les trois analyses réalisées sur les terrains communaux situés à proximité des habitations montraient des concentrations en plomb de 10 000, 18 000 et 31 000 mg/kg soit entre 1 à 3,1 %.

En outre, ce rapport mentionnait l'existence d'anciennes activités de traitement de minerais métalliques à la Papeterie au début du 20^{ième} siècle à l'emplacement des habitations actuelles.

Des analyses sur des végétaux ont par ailleurs été diligentées par la DDCCRF², et ont révélées des concentrations importantes en métaux (taux de Pb et Cd mesurés jusqu'à plus de 10 fois la norme admise) dans les légumes cultivés, sur le hameau de la Papeterie mais aussi sur des terrains au bord de la Crenze en amont.

Les résultats ont été communiqués le 10 février 2005 lors d'une réunion publique à la mairie de St-Laurent-le-Minier. Des principes de précaution à adopter dans leur comportement ont été exposés aux habitants pour protéger leur santé. Un arrêté municipal a été pris le 3 mars 2005 et interdit, notamment, l'usage alimentaire des eaux d'ouvrages privés, la production et la consommation de productions des jardins potagers et le gel des permis de construire. Il incite également à des précautions d'hygiène renforcées pour la population.

² DDCCRF : Direction Départementale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes

A l'issue de la mise en application de l'arrêté municipal, l'ensemble de mesures prescrites a entraîné de fortes contraintes qui pèsent sur le développement de la commune (permis de construire...) mais aussi sur les libertés individuelles (libre jouissance des sols, de la consommation des produits du potager,...). Aujourd'hui, l'opportunité du maintien, de la suspension ou de l'ajustement de ces mesures mérite d'être étudiée de manière approfondie. Suite au rapport de l'INERIS transmis à la Préfecture du Gard en juin 2005 et aux résultats de la campagne de dépistage de saturnisme pilotée par la DDASS³ qui a révélé deux cas bénins de saturnisme infantile chez 41 enfants dépistés dans la commune, la DRIRE a demandé au dernier exploitant industriel du site (METALEUROP SA) de mettre rapidement en sécurité les habitations du hameau de la Papeterie.

Des travaux de décapage des terres polluées sur une profondeur de 50 cm et le remplacement par de la terre propre ont été réalisés en janvier et février 2006 dans les jardins du hameau.

En 2006, sur l'ensemble du territoire communal, une campagne d'analyse de terrain à l'aide d'un spectromètre portable de fluorescence X (Niton®, XL723S) a été réalisée par le BRGM pour le compte du GIP⁴ GEODERIS. Elle a démontré des concentrations en plomb et en zinc très variables, allant de quelques dizaines de mg/kg à des concentrations de plusieurs pourcents en plomb et zinc. Les fortes concentrations en plomb et en zinc (supérieures au pourcent) sont souvent accompagnées par des concentrations élevées en arsenic et/ou en cadmium.

Indicateurs statistiques	Pb	Zn	As	Cd
Nb. d'analyse	544	553	328	148
Min.	24	37	1	1
10 ^{ème} percentile	105	173	21	5
1 ^{er} quartile	224	396	35	12
Médiane	705	1 220	67	31
Moyenne	3 255	9 032	482	208
3 ^{ème} quartile	1 657	3 690	149	127
90 ^{ème} percentile	5 671	13 911	539	653
Max.	99 251	228 966	43 187	3 520

Tableau 1 : Indicateurs statistiques concernant la distribution des concentrations en éléments métalliques mesurées par spectromètre portable de fluorescence X sur le territoire communal de Saint-Laurent-le-Minier

³ DDASS : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales

⁴ GIP : Groupement d'Intérêt Public

L'interprétation de ces données a permis de discerner la part entre l'impact environnemental lié à l'activité minière (zones de dépôts d'origine anthropique) et les zones à fond géochimique naturel élevé : les formations géologiques du Cambrien, du Trias et du Bathonien dont les concentrations en zinc et plomb sont souvent supérieures respectivement à 500 mg/kg et 1000 mg/kg (voir figure 3 de l'annexe 2 qui présente des logs géologiques indiquant distribution spatiale des minéralisations à la périphérie des Cévennes). Les résultats reportés sur un fond cartographique IGN montrent que la zone allant du terroir des Avinières, situé juste au dessus du hameau de la Papeterie, jusqu'à Mange-Châtaigne présente des concentrations supérieures à 2000 mg/kg pour le Pb et 5000 mg/kg pour le Zn.

Au niveau du bourg, les concentrations en Pb sont le plus souvent comprises entre 500 et 2000 mg/kg, pour le Zn entre 1000 à 5000 mg/kg. Des concentrations encore plus élevées que ces dernières ont été prélevées sur les berges de La Crenze. Elles correspondent probablement à une contamination ayant pour origine les deux ruptures, produites par le passé, de la digue de stériles du site des Malines en amont du village. Au niveau du Pont de la Meuse, ces dépôts fins de résidus de traitement, très riches en Zn (concentrations de plusieurs pourcents), se distinguent visuellement très bien des alluvions de la Crenze.

1.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL ET DISTRIBUTIONS SPATIALES DES MINERALISATIONS

Sur le plan géologique, la commune Saint-Laurent-le-Minier est située à l'extrémité méridionale du Massif Central dans la zone de contact entre les formations cristallines et paléozoïques⁵ des Cévennes et les formations mésozoïques⁶ des Causses transgressives sur le socle cristallin.

Comme l'indique la figure 2, cette zone fortement faillée s'étend principalement le long de la faille des Cévennes (secondairement de la faille de Sumène) ayant une direction générale Nord-Nord-Est à Sud-Sud-Ouest, sur une longueur de 190 km et une largeur moyenne de 10 km depuis Clermont-l'Hérault (34) jusqu'à Saint-Péray (07). Le long de cette zone fracturée s'égrène un chapelet de gîtes⁷ et d'indices⁸ très nombreux Zn-Pb-(Fe)-(Ag)-barytine-(fluorine) (cf. figure 2, annexes 1 et 2). Les corps minéralisés sont généralement alignés le long des accidents N-S à NE-SW ou W-E à NW-SE.

⁵ Paléozoïque : ère géologique ayant duré de 570 à 230 Ma (syn. ère primaire)

⁶ Mésozoïque : ère géologique ayant duré de 245 à 65 Ma. (syn. ère secondaire). Elle comprend le Trias, le Jurassique et le Crétacé

⁷ Gîte : syn. de gisement, mais réservé le plus souvent à des masses minérales comportant un ou plusieurs métaux susceptibles d'une exploitation (gîte métallifère)

⁸ Indice : pour une substance donnée, traces observées en un point permettant d'envisager que cette substance existe non loin en plus grande abondance

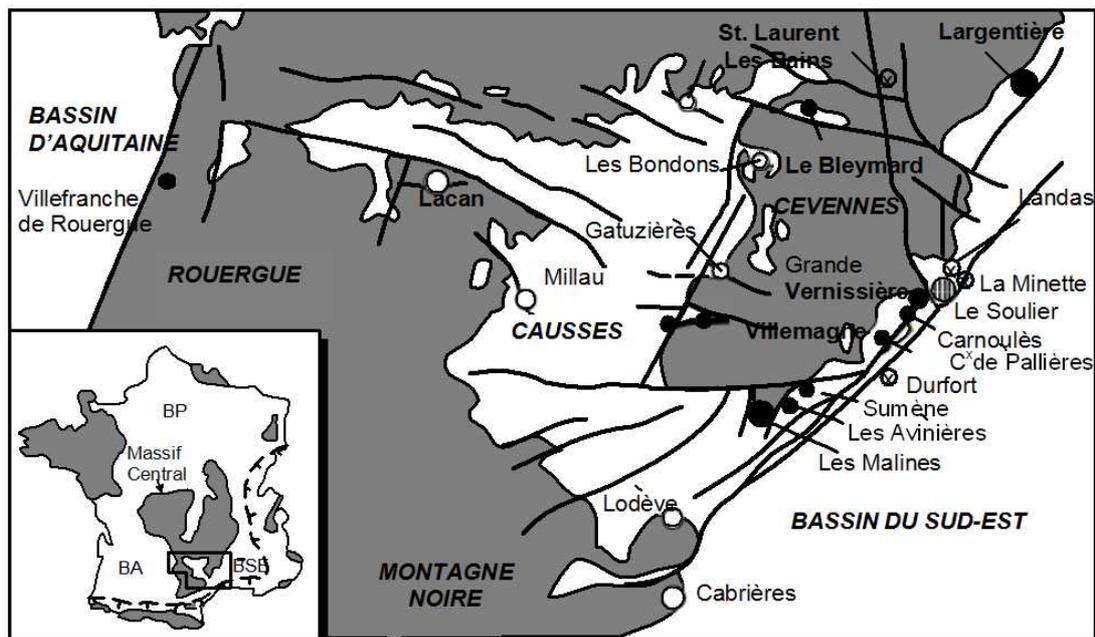


Figure 2 : Localisation des mines principales de la bordure cévenole. En inclusion, localisation du Massif Central, du Bassin d'Aquitaine (BA), du Bassin de Paris (BP), du Bassin du Sud-Est (BSE) (d'après Leach et al., 2001)

L'histoire géologique de ce secteur a favorisé l'apparition de filons minéralogiques enrichis en Pb et Zn par la circulation de fluides hydrothermaux lors de processus métamorphiques dans le socle paléozoïque principalement. Ces minéralisations sont sous forme de disséminations stratiformes ou fissurales, de lentilles concordantes, d'amas pénécordants ou sécants, de filons. Ces gîtes sont encaissés pour l'essentiel dans les grès ou les roches carbonatées du mésozoïque (Trias à Bathonien soit 60 Ma). Néanmoins, la grande diversité des unités lithologiques et la complexité des réseaux de failles de ce secteur charnière entre socle ancien des Cévennes et sa bordure sédimentaire expliquent la forte dispersion et discontinuité des concentrations en Pb et Zn rencontrées dans cette zone.

L'essentiel des concentrations se trouve sur la bordure Est (bordure orientale) des Cévennes, où elles ont été évaluées par le passé à 2 Mt de plomb-zinc, environ 5 Mt de pyrite et 2 Mt de fluorite tandis que sur la bordure Ouest (bordure occidentale), seuls le plomb et le zinc, dont le tonnage est estimé à 250 000 t, ont jadis présenté un intérêt économique.

Ce secteur géographique a fait l'objet de très nombreux travaux de prospection minière dans le cadre de l'Inventaire Minier National et de concessions d'exploitation (cf.

annexe 3 : extrait de la carte des gîtes minéraux de la terminaison méridionale du Massif central).

Il est à noter en dehors des gîtes métalliques, l'existence de l'important bassin houiller des Cévennes. Il forme d'un triangle au nord d'Alès d'environ 200 km² autour du massif gneissique du Rouvergue. Il comprend trois bassins principaux : à l'Ouest la Grand'Combe (charbons maigres et anthraciteux), à l'Est Bessèges (charbons gras) et au Sud Rochebelle (charbons gras), comportant d'importantes exploitations de houille à ciel ouvert ou souterraines. Ces activités d'extraction ont également eu des impacts environnementaux sur les milieux naturels avoisinant ces sites.

Le descriptif des mines des Malines et des Avinières situées sur le territoire communal de Saint-Laurent-le-Minier est détaillé dans les chapitres suivants 2.1 et 2.2.

2. Description des anciennes exploitations minières dans le département du Gard

Dans cette partie, un inventaire des travaux miniers effectués dans le département du Gard sur des gîtes plombo-zincifères a été établi afin d'identifier les communes ayant hébergé des exploitations, le plus souvent souterraines, parfois à ciel ouvert, ainsi que d'évaluer l'importance des activités anthropiques qui s'y sont déroulés (historique, contexte géologique, tonnage de minerai extrait, nature des installations de traitement en surface,...).

Les éléments d'informations regroupés par concession minière sont pour la plupart extraits du rapport BRGM R38215 de 1994 « Département du Gard, Inventaire des travaux Miniers (hors concessions nationalisées de Charbon) », des notices des cartes géologiques couvrant ce territoire, de la base de données des anciens sites industriels BASIAS et de la base documentaire d'architecture et du patrimoine Mérimée du Ministère de la Culture, plus particulièrement pour cette dernière base, sa partie inventaire des monuments industriels.

Seuls les travaux réalisés dans le cadre de concessions établies à compter du début 19^{ième} siècles et ayant comme substances concédées, le plomb, ont été listés. En ce qui concerne les travaux de recherche, voire d'exploitation, anciens, et/ou de très faible importance ainsi que les petits fours à grillage sur site, ou les laveries temporaires installées, ils ne peuvent être mentionnés en raison de l'absence d'informations ou de données trop peu précises, notamment quant à leur localisation. Ce recensement ne doit donc pas être considéré comme exhaustif. De même, il ressort que les tonnages de minerai extrait ou de métal mentionné dans la littérature, se sont avérés souvent très variables selon la source bibliographique consultée. Les localisations des concessions, exploitations et indices miniers plomb mentionnés ci-après sont reportées au niveau de la figure 3.

2.1. LES MINES DES MALINES (COMMUNES DE ST-LAURENT-LE-MINIER ET MONTDARDIER)

2.1.1. Historique

Dès l'antiquité (2^{ème} au 5^{ème} siècle après J.C.) et durant le Moyen-âge (11^{ème} au 15^{ème} siècle), le secteur de la mine des Malines a fait objet de nombreux travaux de prospection ou d'exploitations de petites concessions (Petra-Alba, le Cornier, les Avinières, La Sanguinède, Mas Seguin, Mas Lacombe,...).

La concession de Saint-Laurent-le-Minier qui comporte en particulier les mines des Malines et des Avinières a été instituée par décret en date du 9 mars 1875, au profit de la Société des Usines à zinc du Midi. Le décret du 3 août 1880 autorise l'extension de

superficie de cette concession. Par jugement du 19 avril 1884, la société des Mines et fonderies de Zinc de la Vielle Montagne devient adjudicataire de cette concession. En 1934, l'exploitation fermait des suites conjuguées de la crise économique et du manque de minerai.

L'arrêté ministériel du 9 septembre 1940 accepte la renonciation de cette Société à la concession de Saint-Laurent-le-Minier. Une partie de la surface de la concession a été reprise d'une part par la Société Minières et Métallurgique de Peñarroya (SMMP) dans le permis d'exploitation de Saint-Laurent-le-Minier institué par arrêté du 31 décembre 1952 à compter du 11 janvier 1943 et, d'autre part, dans la concession des Malines accordée par décret le 8 août 1968.

La mine des Malines exploitée par la SMMP était formée de cinq quartiers miniers autonomes dans une emprise de 3 x 2,5 km : Vieille mine, Sanguinée, Quartier 102, la Gardie et Montdardier. La SMM (devenue METALEUROP SA) a fermé définitivement ce site en 1991.

Cette concession minière aurait produit environ 800 000 t de métal (ratio Zn/Pb = 10 à 12) à quoi s'ajoutent quelques 225 t Ag.

2.1.2. Nature et contexte géologique des substances exploitées

La mine se trouve dans la zone située au Nord de la faille des Malines correspondant à l'extrémité Sud-Ouest du Horst de Saint-Bresson. Elle occupe le sommet d'un haut-fond (au modelé complexe) dont l'activité tectonique s'est manifestée à plusieurs reprises au cours de l'intervalle Trias-Oxfordien. Les minéralisations sont strictement liées aux zones du haut-fond où le socle cambrien carbonaté est encapuchonné par les argilites noires organosulfurées du Trias. Ainsi, l'essentiel des minéralisations s'est développé non loin de l'interface entre le substrat Cambrien et le Trias. Elles sont essentiellement localisées dans des paléocavités karstiques développées aux dépens du substratum carbonaté (gîte de substitution) ou dans des réseaux de fissures qui traversent toutes les formations triasiques.

2.1.3. Travaux effectués

Des anciennes galeries existaient avant l'institution de la concession. Elles se situaient sur des filons de calamine⁹ et ont fait l'objet d'une exploitation. Les travaux réalisés sont disséminés sur plusieurs sites dont la Sanginède, Mas Lacombe et Les Avinières.

Les travaux d'exploitation ont durés entre 1875 à 1881, puis entre 1884 et 1974. Une tentative de reprise a été menée en 1923 avec un arrêt total en 1924 et quelques travaux de recherche ont encore été réalisés en 1926-1927 mais sans résultat.

⁹ Calamine ou hémimorphite est le nom usuel d'un sorosilicate orthorhombique de zinc de formule chimique $Zn_4Si_2O_7(OH)_2 \cdot (H_2O)$. Dans le domaine minier, on appelle indistinctement « calamines », la calamine, la smithsonite et la willemite, qui avec la sphalérite constituent les principaux minerais de zinc

En 1941, la Société Minières et Métallurgique de Peñarroya rouvrit les travaux et entreprit des recherches qui aboutirent à la détermination de nouvelles masses minéralisées exploitables.

L'exploitation sur ces sites a été réalisé par galerie, puits, travers bancs ou encore à ciel ouvert.

Les productions métal du gîte des Malines et de ses satellites ont estimées sur la période de 1880 à 1933 à :

- 410 000 tonnes de calamine plombeuse,
- 510 000 tonnes de blende¹⁰ plombeuses,
- 30 000 tonnes de galène¹¹ argentifères.

De 1947 à fin 1978, la mine a produit 5 226 500 tonnes de tout venant qui ont donné 37 900 tonnes de plomb métal et 194 00 tonnes de zinc métal, le gîte plombo-zincifère des Malines étant un des plus importants d'Europe à cette époque.

2.1.4. Installations en surface

Au 19^{ième} siècle, les roches minéralisées de smithsonite¹², cérusite¹³, blende, galène¹⁴ et d'un peu de barytine, étaient triées à la mains, puis enrichies par grillage dans des fours sur site avant d'être expédiées à la gare de Ganges.

Au début du 20^{ième} siècle suite à la découverte d'amas sulfurés barytiques, divers traitements minéralurgiques ont été mis en œuvre. Les minerais étaient broyés grossièrement et passaient dans des « bacs à piston ». On en tirait deux concentrés commercialisables et des « mixtes » qui faisaient l'objet de traitements complémentaires : rebroyage, grillage, tamisage,... Les stériles obtenus titraient entre 16 et 18 % de zinc.

Cette récupération fut ensuite améliorée par le procédé de flottation « murex » qui utilisait l'hydrophobie des sulfures en présence d'huiles lourdes pour leur séparation. Ce procédé permettait d'abaisser la concentration des stériles à 5 % de zinc.

En 1945, la société Peñarroya construit sur le site des Malines une usine de traitement du minerai par flottation différentielle dont la capacité de traitement fut portée progressivement de 250 tonnes à 1 200 tonnes/jour. Une digue a été installée pour retenir les boues issues de la laverie.

Aujourd'hui, tout le versant de la montagne des Malines est bouleversé par des pistes, des haldes, des excavations et une dizaine d'entrées de galeries encore visibles. Sur l'ancien site, subsistent 2 des 3 fours circulaires à grillage de la calamine (smithsonite)

¹⁰ Blende ou sphalérite est un minéral constitué de sulfure de zinc (ZnS)

¹¹ Galène est un minéral constitué de sulfure de plomb (PbS).

¹² Smithsonite est un minéral constitué de carbonate de zinc (ZnCO₃)

¹³ Cérusite est un minéral constitué de carbonate de plomb (PbCO₃)

¹⁴ Barytine, barite ou baryte est un minéral constitué de sulfate de baryum (BaSO₄)

et sur le site inférieur, un bâtiment (ancien bureau de la mine), une station récente de traitement des eaux d'exhaure et un vaste bassin de décantation des boues de la laverie (plus de 600 m de long, jusqu'à 200 de large) qui a été revégétalisé.

2.2. LA MINE DES AVINIÈRES (COMMUNE DE SAINT-LAURENT-LE-MINIER)

2.2.1. Historique

Initialement, cette mine faisait partie de la concession de Saint-Laurent-le-Minier.

2.2.2. Nature et contexte géologique des substances exploitées

Complètement oxydées et donc sous forme calaminaire, les minéralisations sont encaissées dans les dolomies de la partie supérieure du Bathonien qui affleurent dans l'étroite lanière des failles bordières orientales du horst de Roquedur. Elles s'organisaient sur un réseau de fractures Nord-Nord-Est et Est-Sud-Est avec de beaux amas aux intersections. Compris entre les failles parallèles de Sumène et des Avinières, le panneau minéralisé a été reconnu sur environ 200 mètres d'allongement.

L'environnement géologique du site n'est pas sans rappeler celui des Malines : la série sédimentaires y est fortement réduite puisque le Bathonien repose directement et en discordance sur le Trias. Ces faits témoignent de l'existence d'un haut-fond, aujourd'hui décheté par la tectonique secondaire et tertiaire, et pour une bonne part érodé ; le Trias sous-jacent n'est minéralisé que de façon insignifiante.

2.2.3. Travaux effectués

Sur l'exploitation à ciel ouvert des Avinières, on n'a guère de renseignements précis. Les travaux furent uniquement superficiels ; une quantité importante de haldes (terril des Avinières) recouvre le flanc de la colline à proximité des extractions.

Entre 1873 et 1911, elle a produit 170 000 tonnes de calamine et 13 000 tonnes de blende soit approximativement 40 000 t de métal (ratio Zn/Pb = 15).

2.2.4. Installations en surface

Au niveau du hameau de la Papeterie, l'inventaire général du patrimoine Mérimée mentionne l'existence en 1857 d'une « Usine à fer » sur la rive droite de la Vis comprenant un four à grillage pour le minerai sulfuré, un haut fourneau à charbon de bois, sa machine soufflante hydraulique et un four à réverbère. Cette usine fut reprise en 1874 par la Société des Mines de Zinc qui deviendra successivement La Vieille Montagne (1885), Jules Bonnaud (1890), S.A. des Mines des Malines (1900) et S.A. Peñarroya vers 1965. Dès 1874, deux fours à grillage sont construits en rive gauche et trois fours à réverbère pour le zinc à la place du haut fourneau. Il a été édifié divers autres bâtiments (bureau, hangars, logement du surveillant, laboratoire), une voie

ferrée particulière pour liaison avec la laverie située au pont de la Meuse à 500 m en amont (1900), une centrale électrique mixte (hydraulique et thermique) à 400 m en aval (1909). Les fours sont arrêtés vers 1950 après la construction des nouveaux ateliers des Malines. Ensuite les fours et les parties industrielles seront démolis.

Vers 1925, une ancienne moulinerie de soie fut transformée en annexe comme atelier de démagnétisation de l'usine à zinc qui se situait à coté. Après 1955, ce bâtiment a été réaménagé en logements. Les parties industrielles situées en bord de Vis ont été détruites par la crue de 1958.

En aval, l'usine de préparation de produit minéral (lavage par flottation de minerai de zinc) de la Ferrière au lieu dit Pont de Mange-Châtaigne a été mise en service vers 1910 par la Société Financière des Mines des Malines. L'usine fut reprise vers 1922 par la S.A. Minerais et Métaux qui agrandit le site (nouvelle pompe, station de transport aérien par téléphérique pour le minerai depuis la mine de Malines) et la mise en conformité avec les règlements (création de bassins de décantation). Le site fut arrêté en 1926. Les bâtiments ont été démolis en 1936. Il subsiste les vestiges importants en flanc de colline du site et les ruines d'une petite maison servant de laboratoire près du pont.

2.3. LA MINE DE LA CROIX DE PALLIERES (COMMUNES THOIRAS, TORNAC ET SAINT-FELIX-DE-PALLIERES)

2.3.1. Historique

La concession de cette mine a été instituée par arrêté présidentiel du 27 juillet 1848.

La concession fut apportée à la Société des Mines et Usines de Pallières, le 28 septembre 1853. Le décret du 14 novembre 1913 autorise le transfert de cette concession consentie par la Société des Mines et Usines de Pallières à la Société des Mines et Fonderies de Zinc de la Vieille Montagne.

L'arrêté préfectoral du 21 juillet 1932 donne acte à cette dernière Société de sa déclaration de fin de travaux.

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

Cette mine s'est arrêtée en 1971 après avoir produit environ 100 000 t métal (Zn/Pb = 4) avec 22 t Ag, 520 t Cd et 28 t Ge.

2.3.2. Nature et contexte géologique des substances exploitées

Cette concession se situe sur le flanc ouest du horst de Pallières-Générgues.

A la mine de la Croix de Pallières, 90 % du minerai exploité provient d'amas lenticulaires situés soit à la base de l'Hettangien inférieur au contact du Trias (amas

principal), soit dans l'Hettangien moyen (amas dits des calcaires lités et du 220 Ouest) soit dans l'Hettangien supérieur (minéralisations dites du Bois Noir).

Il s'agit d'un gisement de minerai sulfuré de zinc et de plomb argentifère, la blende étant largement majoritaire. A la Mine Joseph, les minéralisations sont représentées par des imprégnations de galène avec très peu de blende et de pyrite dans des dolomies silicifiées de l'Hettangien.

2.3.3. Travaux effectués

Ce gisement est connu depuis l'époque romaine. Les périodes d'exploitation ont lieu essentiellement entre 1844 et 1888, entre 1911 et 1931 et enfin de 1948 à 1971.

L'exploitation de dimension importante sur ce site a été réalisée par des galeries, des travers bancs et des puits. Les chambres d'extraction ont été partiellement remblayées par dépilage.

Concernant la quantité de minerai exploité, le site a produit entre 1880 et 1942, 26 327 t de minerai (galène, blende, calamine) dont 25 000 t entre 1921 et 1931 de concentré sulfuré avec 6 000 t de calamine, 29 t de galène et 576 t de pyrite.

Entre 1948 et 1971, 797 500 t de tout venant sur la mine de la Croix de Pallières, à concentration moyenne de 13,6 %, avec 108 591 t de métal contenu, ont été re-exploités qui ont abouti à 22 669 t de plomb récupéré ainsi que 66 4021 de zinc.

A la mine Joseph, l'exploitation entre 1948 et 1955 de 24 000 t de minerai de plomb à 4,5 % a fourni 1 080 t de métal contenu et 864 t de métal récupéré.

2.3.4. Installations en surface

D'après l'inventaire général du patrimoine Mérimée, il est mentionné l'existence sur le territoire de la commune de Tornac :

- d'une usine à enrichir le minerai de zinc et de plomb des mines de Pallières construite vers 1848 et arrêtée en vers 1875,

et sur le territoire de la commune de Thoiras :

- d'une usine d'acide sulfurique (vitriol) au lieu dit la Fabrique construite en 1812 et arrêtée en 1856,
- d'une usine de préparation du minerai construite vers 1860 au lieu dit Croix de Pallières,

puis d'une usine de traitement du minerai (broyage et concentration) installé en 1926 au lieu dit Croix de Pallières.

2.4. LA MINE DE DURFORT (COMMUNES DUFORT ET SAINT-MARTIN-DE-SOSSENAC, FESSAC, TORNAC ET SAINT-FELIX-DE-PALLIERES)

2.4.1. Historique

Les concessions de la Coste et de la Grande Vernissière furent instituées par ordonnance royale du 29 juin 1839.

Le décret du 8 février 1906 a autorisé la Société Minière du Gard à réunir la concession de zinc, plomb, argent et métaux connexes de St-André-de-Buèges à la concession de plomb de La Coste.

L'arrêté ministériel du 11 décembre 1926 prononce la déchéance du concessionnaire.

La concession de La Coste est cédée à la Société des Mines et Fonderies de Zinc de la Vieille Montagne, le 16 juillet 1953.

Le décret du 2 mai 1955 mute cette concession à la Société des Mines et Fonderies de Zinc de la Vieille Montagne.

L'arrêté préfectoral du 16 juillet 1971 donne acte de la déclaration d'abandon des travaux après quelques années de reprise d'activité par la Société des Mines et Fonderies de Zinc de la Vieille Montagne, en même temps que la mine de la Croix de Pallières.

Les concentrations étaient assez faibles (5 à 6 % sans métaux annexes valorisant) et n'avaient pu être rentabilisées que par mélange avec le minerai riche de la Croix de Pallières. Le gisement pèse, globalement, dans les 30 000 t de métal (ration Zn/Pb = 5).

2.4.2. Nature et contexte géologique des substances exploitées

Les minéralisations se situent dans les calcaires du Lias (Hettangien supérieur et Sinémurien inférieur) sur 3 horizons en corrélation avec une série de fractures Nord-Sud en relation avec des accidents de faible rejet, satellites de la faille de Durfort.

Au quartier de Cazalis, la blende se présente en état de petits cristaux disséminés dans le calcaire avec une concentration moyenne de 20 à 30 %.

Le gisement de la Grande Vernissière se situe dans le prolongement direct de celui de La Coste.

2.4.3. Travaux effectués

Des petites exploitations en surface, antérieures à l'institution de la concession avaient pour la finalité la production d'alquifoux (sulfure de plomb utilisé par les potiers comme vernis).

Depuis 1839, plusieurs arrêts et reprises de l'exploitation par différentes sociétés ont eu lieu et les derniers travaux remontent à 1967.

Mis à part les travaux de surface, il y eut des travaux de dépilage¹⁵ peu profonds jusqu'à 20 m environ pour la concession de la Coste. La totalité des dépilages s'est faite sans remblayage et les travaux de dépliage sont constitués par des chambres et piliers abandonnés et des chambres magasins.

Ce gisement de la Coste a produit environ 10 000 t de minerai marchand, essentiellement du zinc, le plomb ne représentant que 1/50 de la production totale jusqu'en 1908 dont 7 718 t entre 1901 et 1908.

Il faut ajouter 142 500 t de tout venant retraité de 1948 à 1967 à une concentration moyenne métal de 5 %, soit 7 125 t de métal environ dont 797 t de plomb et 4 528 t de zinc récupérées.

La production totale semble avoir atteint 17 000 t de minerai marchand pendant la durée de validité de la concession.

Concernant le gisement de la Grande Vernissière, il y était produit une tonne d'alquifoux par an avant l'institution de la concession.

Entre 1854 et 1861, 8 tonnes de blende et 743 t de calamine ont été produit, puis entre 1899 et 1900, extraction de 25 à 30 t de blende (35 à 40 % de zinc) et 100 à 120 t de calamine (10 % de zinc).

2.4.4. Installations en surface

Un four de grillage de la calamine fut construit en 1865. Vers 1904, La Compagnie des Mines du Gard a construit une laverie à minerai à Durfort. La laverie a fermé en 1911.

Après la reprise vers 1950 par la société de la Vieille Montagne, le minerai était transporté à Saint-Félix-de-Pallières pour traitement.

¹⁵ Dépilage : technique d'exploitation minière qui consiste à excaver des chambres dans les couches de minerais en conservant des piliers de soutènement.

2.5. AUTRES EXPLOITATIONS MINIERES DE LA BORDURE CEVENOLE

En sus de ces quatre concentrations viables économiques, on peut citer :

2.5.1. Les Deux Jumeaux (communes de Saint-Julien-de-la-Nef, Sumène et Ganges)

Les minéralisations plombo-zincifères présentes dans ce secteur, sont situées dans les formations calcaréo-dolomitiques de l'Hettangien, de Dogger ou du Jurassique supérieur (travaux de Bois-madame), parfois dans le Trias.

Les minéralisations en amas ou en filons et situées principalement le long d'une grande faille orientée Nord Nord-Est et Sud Sud-Ouest, composante de la faille des Cévennes : la faille de Sumène.

Le début de l'exploitation porta sur le minerai de fer. Cela entraîna la découverte de zinc sous certains chapeaux de fer à partir de 1883. Les travaux portèrent alors essentiellement sur le zinc. Entre 1888 et 1930, il a été extrait environ 8 000 t de calamine, plus blende et un peu de galène. Il faut encore y ajouter le minerai de fer, ainsi que la production inconnue sur le site de Roche Noire (20 % de calamine et 80 % de fer).

L'exploitation était réalisée à ciel ouvert (site dit de la Grande Tranchée) et par galeries. Deux fours furent construits à la fin du 19^{ème} siècle. Le minerai grillé était ensuite transporté à Saint-Laurent-le-Minier.

2.5.2. Saint-Hippolyte-du-Fort (communes de Saint-Hippolyte-du-Fort et la Cadière-et-Cambo)

Les minéralisations dans le secteur de Saint-Hippolyte-du-Fort sont constituées par de la blende et de la calamine qui se présentaient en "filon-couche" interstratifié dans la partie inférieure des dolomies du Bathonien ici exceptionnellement chargées en silice.

L'exploitation dans les années 1913-1916 aurait, au quartier de la Boissière, fourni quelques 3 000 t métal (ratio Zn/Pb = 12). Vers 1955, l'exploitation fut reprise par la Société Minière et Métallurgique de Peñarroya sous la forme de grandes excavations à ciel ouvert.

Au total, il a été extrait, entre 1895 et 1929, 3 096 t de blende, 808 t de calamine, 70 t de galène et 8 050 t de minerai et mixtes.

Au lieu dit de l'Espace, un atelier de lavage en plein air fut mis en service en 1913 puis une usine de préparation de produit minéral (laverie de minerai de zinc) fut autorisée en 1928. Elle s'arrêta en 1939. La plupart des installations furent ensuite détruites.

2.5.3. Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille (communes de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille, Saint-Jean-du-Pin, Générargues et Mialet)

Le gisement de Camoulès est constitué par une brèche minéralisée (blende, galène et pyrite) appartenant au Trias moyen, dans les grès bigarrés, formations reposant directement sur le granite. L'épaisseur de la brèche est de 12 m ; les minéralisations se répartissant sur 4 m.

Ce gisement fut successivement exploité dans les périodes 1852-1860, 1907-1912, 1928-1931 (100 t/j de tout-venant traité) fut totalement épuisé en exploitation à ciel ouvert de 1953 à 1962 par la Société minière et métallurgique de Pénarroya.

Il a été extrait 50 000 t de minerai entre 1927 et 1930 et de l'ordre de 50 000 t entre 1833 et 1909, soit une production totale évaluée à 100 000 t de minerai à 4 % de plomb et 2 % de zinc. De 1961 à 1962, la carrière ouverte par Peñarroya a permis d'extraire plus de 1 200 000 t de minerai. Des travaux de reconnaissance et des exploitations par galerie ont également été menés sur le quartier de La Coste, les sites de Pratinas, de la Fabrique, de Combettes, de la Fabrègue et de Mas Icard.

La valorisation du minerai était réalisée par broyage (1 000 t/j) de la totalité du tout-venant titrant environ 3 % de Pb et par flottation différentielle. La concentration des concentrés était d'environ 65 % en Pb avec une récupération de l'ordre de 80 % du métal en raison de l'importance des oxydes.

En 1927, une usine de préparation du minerai par flottation fut installée sur le site de Carnoules.

2.5.4. Autres concessions minières

Partout ailleurs, au niveau de la bordure cévenole dans son ensemble, divers travaux de recherches ont été effectués sur les indices de minéralisation sulfurées (galène, blende, pyrite), en particulier, sur le versant occidental du horst de Pallières au niveau des formations du Trias, sur des filons quarizo-barytiques minéralisés en galène au Nord d'Alès et sur la bordure occidentale cévenole à proximité du massif du Mont Aigoual. A l'exception des concessions de Trèves et Saint-Sauveur (Villemagne), les résultats furent souvent médiocres et les quantités de minerai extrait faibles. Ainsi, on peut citer les concessions suivantes dont l'élément plomb fut une des substances concédées, souvent associée avec le zinc, l'argent, la pyrite, le cuivre ou le baryum :

- **Concession d'Alzon (commune d'Alzon)** : production d'environ 100 t de minerai à 2 - 10 % de cuivre, 250 t de pyrite, 300 t de galène argentifère à 10-30 % de Pb.
- **Concession d'Arrigas (commune d'Arrigas)** : production de 4 000 t de minerai représentant peut être 800 t de zinc métal et 150 t de cuivre métal et un peu de plomb. Une laverie fut mise en service en 1901. L'exploitation s'arrêta en 1907.
- **Concession de Chassezac (communes de Sainte-Marguerite-Lafigère (07) et Malons-et-Elze)** : production de 12 000 t de minerai brut entre 1900 et 1908,

2 500 t entre 1929 et 1931 et 5 515 t entre 1974 et 1975. Sur la rive droite du Chasserac au lieu dit La Rouvière sur la commune de Malons-et-Elze, l'usine de traitement de minerai de Sainte-Marguerite fut construite de 1899 à 1902 pour traiter des minerais de plomb (galène) et un peu de zinc (blende) provenant de divers filons exploités dans les cantons de Génolhac (Gard), les Vans (Ardèche) et Villefort (Lozère). L'exploitation des installations fut abandonnée en 1915.

- **Concession de Clairac (commune de Meyrannes)** : production de 2 000 t de blende et 950 t de calamine entre 1876 et 1881. En 1905, l'exploitation fournit 54 t de blende et 20 t de calamine et encore 15 t de calamine en 1906.
- **Concession de l'Esparon (communes de Bez-et-Esparon et Molières-Cavaillac)** : production de 630 t de calamine entre 1898 et 1900, 122 t de calamine de 1905 à 1906 et encore 14 t de galène à 56 % de plomb en 1904. A 500 m au Sud du lieu dit l'Esparon, un four de calcination de la calamine fut construit en 1898 et déclaré détruit en 1926.
- **Concession de Genolhac (Commune de Genolhac)** : production insignifiante entre 1880 à 1912.
- **Concessions de Notre-Dame-de-Laval et de Rouvergüe (communes de Chambon, Le Martinet et Laval-Pradel)** : production de 1 500 t de minerai de galène argentifère contenant 10 à 15 % de plomb entre 1858 et 1929. Une laverie existait sur le site le Mas Dieu.
- **Concession de Rousson (commune de Rousson)** : production de 10 911 t de calamine marchande entre 1880 et 1922.
- **Concession de Saint-Felix (commune de Saint-Martin-de-Valgalgues)** : production de 75 000 t de pyrite, de blende et pyrite blendeuse.
- **Concession de Saint-Jean-du-Pin (communes d'Alès et Saint-Jean-du-Pin)** : production de 2 000 t de pyrite entre 1857 à 1861.
- **Concession de Saint-Julien-de-la-Nef (communes de Saint-Julien-de-la-Nef et de Saint-Laurent-le-Minier)** : production de 120 à 150 t de blende avant l'instauration de la concession, puis 729 t de blende marchande en 1880, 379 t de blende entre 1894 et 1901, quelques dizaines de tonnes entre 1912 et 1914, et 20 t de calamine ainsi que 30 t de blende en 1925.
- **Concession de Saint-Sauveur (communes Saint-Sauveur-Camprieu et Lanuéjols)** ou dite concession des mines de Villemagne, production 77 505 t de minerai à 6,5 % de Pb et 5,29 % de Zn entre 1908 et 1914 avec préparation de 4 900 t de galène à 58 % Pb, 548 968 t de minerais à 3,42 % de Pb et 6,46 % de Zn entre 1926 et 1932 ; 3 640 t de minerai entre 1974 et 1975 dont 1 925 t seulement ont été traitées. Au lieu dit le Roquet, une laverie de minerai fut autorisée le 31 décembre 1910. Cette installation fut arrêtée et déplacée à proximité du site d'extraction de Villemagne en 1927.

- **Concession de Serreyrede (commune de Valleraugue)** : production de 1 000 t de tout venant, 51 t de blende et 351 t de galène entre 1902 et 1936. Au lieu dit Mallet, une laverie de minerai fut établie en 1906 pour traiter le minerai de plomb (galène) et accessoirement zinc, barytine et antimoine des mines situées de part et d'autre du col de la Sereyrede, arrêt de l'installation en 1913.
- **Concession du Soulier (commune de Saint-Martin-de-Valgalgues)** : production de près de 1 Mt de tonnes de minerai dont essentiellement 700 000 t de pyrite entre 1856 et 1962. Un four de grillage de la calamine fut construit sur le site à la fin 19^{ème} siècle.
- **Concession de Trèves (commune de Trèves)** : production de 60 510 t de minerai dont 54 664 t de tout venant à 1,41 % de Pb et 6,17 % de Zn entre 1971 et 1975 par la Société minière et métallurgique de Peñarroya.
- **Concession de Valensole (communes de Tornac, Saint-Martin-de-Sossenac et Saint-Félix-de-Pallières)** : production de 120 t de calamines et quelques tonnes d'alquifoux entre 1858 et 1861 puis 50 t de blende en 1901.
- **Concession de la Valette (commune de Valleraugue)** : production de 600 t de tout venant à 15 % de Pb entre 1912 et 1928.
- **Concession de Villefort et Vialas (communes de Malons-et-Elze, Villefort (48), Pourcharesse (48), Vialas (48) et Saint-Maurice-de-Ventalon (48))** : production estimée à environ 20 000 t de plomb (galène) et un peu de zinc (blende) entre 1776 et 1894. Le minerai produit au col du Mas de l'Ayre est envoyé à l'usine de traitement de minerai de Villefort puis à celle de Sainte-Marguerite (Malons-et-Elze) lorsqu'elle est mise en fonctionnement en 1902. L'exploitation s'est terminée en 1905.
- **Permis d'exploitation de Landas (commune de Rousson)** : production de 4 700 t de tout venant à 3,58 % de Zn et 0,77 % de Pb en 1975.

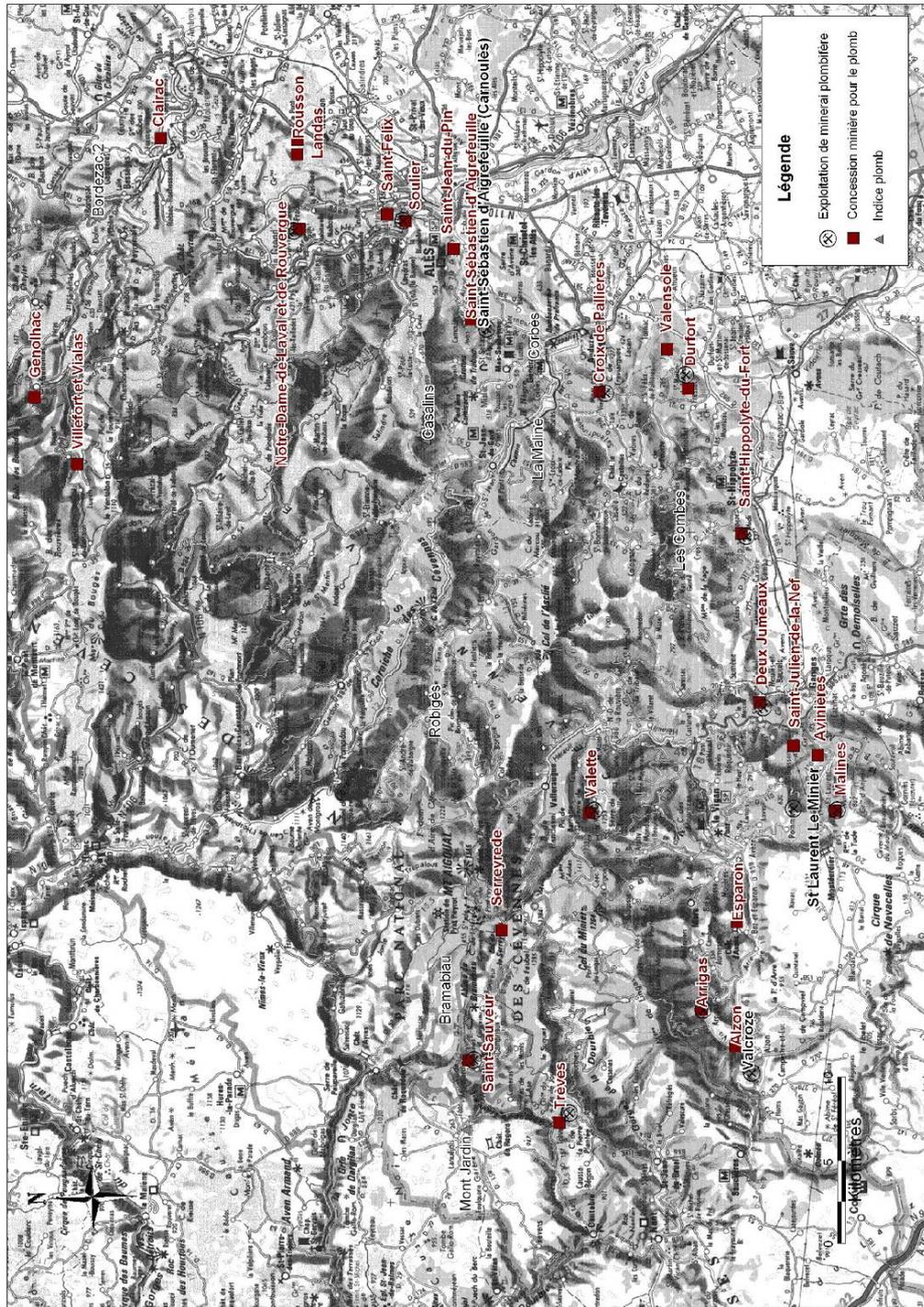


Figure 3 : Localisation des concessions, exploitations et indices miniers plomb dans le département du Gard (30)

2.6. RESUME HISTORIQUE DES EXPLOITATIONS MINIERES DE LA BORDURE CEVENOLE

Bien que la liste précédente de concessions ne soit pas exhaustive, les nombreuses petites concessions répertoriées témoignent de l'intérêt minier que cette région a suscité par le passé dès l'âge de bronze. Ces secteurs géographiques ont déjà fait l'objet de nombreux travaux de prospection concernant les substances concessibles tels que la pyrite de fer, le cuivre, le plomb, le zinc, l'argent, l'antimoine, la lignite, le bitume.... Peu d'indices de surface restent donc à découvrir.

Dans le département du Gard, Les exploitations industrielles des gisements plombo-zincifère sur la bordure cévenole ayant produit plus de 20 000 t métal sont, principalement situées sur les communes de Saint-Laurent-le-Minier (Les Malines et Les Avinières), Thoiras (Croix-de-Pallières) Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille (Carnoulès), Durfort-et-Saint-Martin-de-Sossenac (Dufort) et Saint-Sauveur-Camprieu (Villemagne).

Les autres concessions dont les productions ont été supérieures à 2 000 t métal, concernent les communes de Trèves, Sumène (Deux-Jumeaux), Saint-Martin-de-Valgagues (Le Soulier et Saint-Félix), Saint-Hippolyte-du-Fort (Boissière) et Rousson (Landas). Deux concessions de taille plus modeste ayant eu une production supérieure à 200 t métal étaient localisées principalement sur les communes de Malons-et-Elze (Mas de l'Ayre) et de Saint-Jean-du-Pin.

La majorité des autres concessions concernait des gîtes qui ont fait soit l'objet de vieux travaux de prospection ou soit de petites exploitations artisanales au 19^{ième} siècle ou dans la première partie du 20^{ième} siècle pour des quantités de minerai plombo-zincifère restreintes (quelques dizaines de tonne métal au mieux). La plupart d'entre elles furent fermées dans les années 1930 suite à l'effondrement des cours des métaux ou de l'épuisement du gisement.

3. Données de l'inventaire Minier National

Le traitement cartographique et statistique de l'Inventaire Minier National doit permettre d'identifier les communes (ou les secteurs géographiques) dont les fonds géochimiques seraient proches du site de Saint-Laurent-le-Minier. Malheureusement, cette approche ne pourra qu'être partielle car l'inventaire ne couvre pas le secteur allant des Malines à Saint-Hippolyte-du-Fort et de la bordure Sud et Ouest des Cévennes ayant des formations géologiques minéralisées relativement identiques à celles rencontrées à Saint-Laurent-le-Minier.

3.1. METHODOLOGIE DE L'INVENTAIRE MINIER NATIONAL

Les éléments d'informations présentés ci-après sont pour la plupart extraits du rapport BRGM 89 DAM 016 DEX de 1988 «Couverture sédimentaire de la bordure Sud-Est du Massif central français/Synthèse géochimique».

Les travaux de l'Inventaire Minier National ont été menés pour déceler des gisements métallifères sur le territoire national. Des investigations géochimiques ont été faites par échantillonnage systématique, à une maille telle, qu'un gîte minéral important sub-affleurant puisse être détecté avec une très forte probabilité.

La bordure sédimentaire Sud-Est du Massif central a été entièrement couverte par la prospection géochimie stratégique en sol (cf. figure 4) réalisée au début des années 1980. En recherche minière, le potentiel de cette région est attesté par la présence d'anciennes exploitations et de nombreux indices à Pb, Zn, Ag, Fe et Ba. Mais les travaux réalisés suite à l'Inventaire Minier ont laissé au final assez peu d'espoir quant à la découverte de nouveaux gîtes affleurant, autres que ceux déjà connus et qui posséderaient un intérêt économique pour l'exploitation.

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. La maille de prélèvements des échantillons de sol superficiel était environ de 500 x 500 m, un peu relâchée dans les secteurs occupés par les calcaires du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieure, par contre, resserrée à 250 x 250 m sur quelques secteurs de Saint-André-de-Valborgne, Alès, Le Vigan et Anduze. Les 2 750 échantillons de sols ont été prélevés sur la couverture sédimentaire de cette région. Les profondeurs de prélèvement généralement recommandées se situaient entre 30 et 50 cm, c'est-à-dire sous l'horizon humifère, mais sans viser spécifiquement un horizon pédologique particulier.

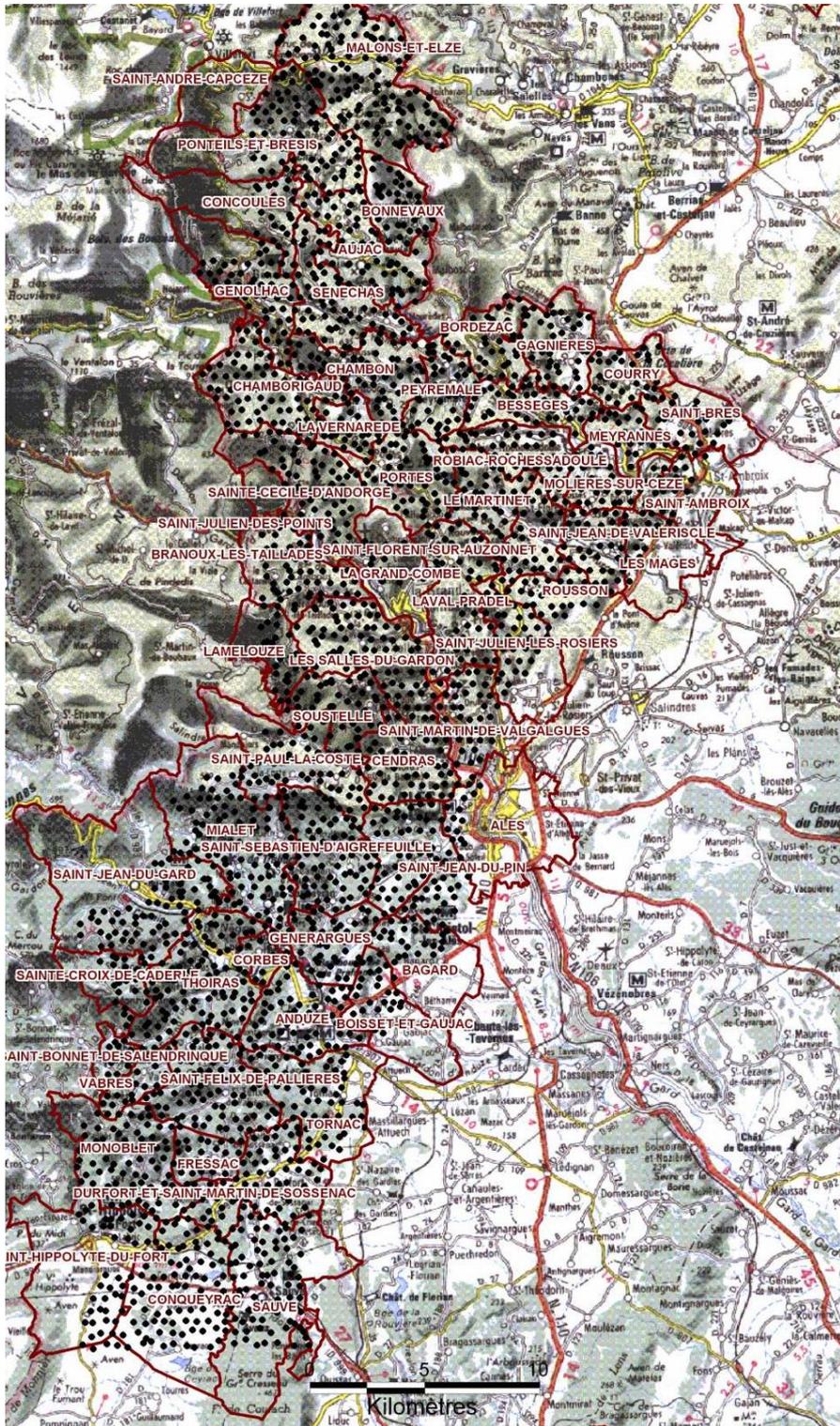


Figure 4 : Localisation des points de prélèvement de sol réalisés dans le cadre de l’Inventaire Minier National

Après tamisages à sec à 125 micromètres, la fraction fine des échantillons a été analysée par spectrométrie d'émission à plasma diffusif (DCP) pour 22 éléments (Fe₂O₃, Mn, P, Ba, V, B, Pb, Zn, Cu, As, Ag, Ni, Cr, Co, Sn, Sb, Mo, W, Be, Cd, Nb, Y). Les limites de quantification de cet appareillage étaient de 1 mg/kg pour Cd, 20 mg/kg pour As et de 10 mg/kg pour Pb et Zn.

Les cartographies par gammes de concentration en plomb, zinc, arsenic et cadmium sont présentées sur un fond IGN au 1/250 000 en couleur en annexe 4 de ce rapport.

3.2. DISTRIBUTION SPATIALE ET STRATIGRAPHIQUE DES MINERALISATIONS Pb-Zn-As

Les gammes de valeurs couramment rencontrées dans ce secteur géographique ont montré généralement une bonne concordance avec les unités géologiques, la lithologie, les concentrations mesurées, et les combinaisons inter-élémentaires. Ainsi, les principaux niveaux minéralisés sont trouvés dans :

- les dolomies du Trias moyen à Zn-Pb et pyrite à Saint-Jean-du-Pin ;
- les dolomies de l'Hettangien (surtout inférieur) à Zn-Pb et pyrite dont le principal exemple est le gisement de la Croix-de-Pallières ;
- la dolomie du Lotharingien à Zn-Pb-(F) comme à Durfort ;
- le calcaire du Bajocien à Zn-Pb-F et pyrite représenté par le gisement de Landas sur la commune de Rousson.

L'élément plomb est bien représenté sur le Trias et le Lias où se situe la plupart des indices ; ceux-ci se manifestent généralement par des valeurs supérieures à 500 mg/kg.

Le zinc correspond au Jurassique supérieur dans la tranche 200 à 300 mg/kg, tandis qu'au-delà de ces valeurs, il est bien représenté sur le Trias inférieur et le Lias où les concentrations sur les principaux indices atteignent le niveau de 1000 mg/kg.

L'arsenic prédomine dans la région s'étendant de Bessèges à Saint-Félix-de-Pallières, où le Lias est dominant. Les principaux indices, comme ceux liés au horst¹⁶ de Pallières-Généralgues, sont marqués par des valeurs supérieures à 100 mg/kg.

Au final, il est à retenir que tous éléments confondus (caractéristiques des minéralisations et de l'environnement géologique), **Pb-Zn-Ag-As-Sb** sont caractéristique du Lias, tandis que **Pb-Zn-Ag-Ba-Mo-Be** le sont du Trias

Toutefois dans le cadre de cette étude, il est à retenir que la connaissance de la distribution spatiale et stratigraphique des éléments métalliques dans les sols ne permet pas d'évaluer le fond géochimique à un endroit géographique donné. En

¹⁶ En géologie géomorphologie, un **horst** désigne un compartiment resté haut entre des grabens, et bordés par des failles normales. On y oppose le terme graben, qui désigne les compartiments abaissés.

revanche, elle peut aider à cibler certaines formations géologiques plus fortement susceptibles d'être enrichies en éléments traces métalliques. Pour autant, les données de géologie et de prospection stratégique apparaissent fortement utiles pour identifier des secteurs possédant des minéralisations témoignant de la présence d'anomalies géochimiques.

3.3. DETERMINATION DES FONDS GEOCHIMIQUES COMMUNAUX Pb-Zn-As-Cd

Dans cette partie concernant la détermination des fonds géochimiques communaux, le travail a été focalisé sur les quatre éléments susceptibles d'être les plus toxiques pour l'homme qui se rencontrent à des concentrations importantes sur la commune de Saint-Laurent-le-Minier : il s'agit du plomb, du zinc, de l'arsenic et du cadmium.

Afin de visualiser les profils de distributions des concentrations en ces éléments par commune sous forme de graphique (boîte à moustache) et de déterminer leurs valeurs respectives de fond¹⁷, une étude statistique a été conduite à partir des résultats obtenus pour les 2 750 échantillons de sol superficiel, prélevés sur le territoire des 63 communes couvertes par l'Inventaire Minier National dans le département du Gard.

Les cartographies de la répartition géographique des concentrations en Pb, Zn, As et Cd sous fond de carte IGN 1/250 000^{ème} sont présentées en annexe 4 de ce rapport, ainsi que les représentations graphiques des distributions statistiques par commune.

La gamme de variation courante dans cette zone de la bordure orientale cévenole s'étend :

- pour le zinc : de 58 mg/kg pour 10^{ème} percentile à 404 mg/kg pour 90^{ème} percentile avec une médiane de distribution à 131 mg/kg (moyenne de 269 mg/kg),
- pour le plomb : de 31 mg/kg pour 10^{ème} percentile à 214 mg/kg pour 90^{ème} percentile avec une médiane de distribution à 71 mg/kg (moyenne de 157 mg/kg),
- pour l'arsenic : de 20 mg/kg pour 10^{ème} percentile à 110 mg/kg pour 90^{ème} percentile avec une médiane de distribution à 64 mg/kg (moyenne de 38 mg/kg),
- pour le cadmium : la médiane de distribution à 1 mg/kg est centrée sur le seuil de quantification (moyenne de 1,4 mg/kg).

Les données obtenues mettent en évidence une grande variabilité du fond géochimique naturel dans cette région.

A titre de comparaison, le tableau ci-dessous mentionne les gammes de valeurs « ordinaires » et d'anomalies naturelles rencontrées sur le territoire national (D. Baize,

¹⁷ La valeur de fond géochimique est définie à 90^{ème} percentile de la distribution des concentrations mesurées

2007). Les indicateurs statistiques calculés montrent que l'essentiel des concentrations en plomb et en arsenic mesurés sur les territoires communaux couverts par l'Inventaire Minier se situent dans les catégories de sols à anomalies modérées et à anomalies fortes pour l'arsenic et plomb

Mais la comparaison des jeux de données d'origine distincte reste relativement délicate du fait des influences de la nature des échantillons, des modes opératoires pour le prélèvement, la préparation de l'échantillon en laboratoire et la technique analytique employée. Ces différences entraînent couramment une variabilité inter-laboratoire importante sur les concentrations mesurées.

mg/kg MS <2mm	Gamme de concentrations couramment observées dans les sols "ordinaires" de toutes granulométries	Gamme de concentrations observées dans le cas d'anomalies naturelles modérées	Gamme de concentrations observées dans le cas de fortes anomalies naturelles
As	1,0 à 25,0	30 à 60	60 à 284
Cd	0,05 à 0,45	0,70 à 2,0	2,0 à 46,3
Cr	10 à 90	90 à 150	150 à 3180
Co	2 à 23	23 à 90	105 à 148
Cu	2 à 20	20 à 62	65 à 160
Hg	0,02 à 0,10	0,15 à 2,3	
Ni	2 à 60	60 à 130	130 à 2076
Pb	9 à 50	60 à 90	100 à 10180
Se	0,10 à 0,70	0,8 à 2,0	2,0 à 4,5
TI	0,10 à 1,7	2,5 à 4,4	7,0 à 55,0
Zn	10 à 100	100 à 250	250 à 11426

Tableau 2 : Concentrations totales en éléments traces dans les sols en France (d'après D. Baize, 1997)

Néanmoins, nous pouvons noter que les 13 communes suivantes semblent posséder un fond géochimique significativement élevé en zinc, plomb, arsenic ou/et cadmium ;

c'est-à-dire pour des concentrations dans les sols superficiels supérieures à 1000 mg/kg pour Zn, 500 mg/kg pour Pb, 150 mg/kg pour l'As et/ou 3 mg/kg Cd :

- BORDEZAC : 887 mg/kg Pb ;
- CENDRAS : 1850 mg/kg Zn, 681 mg/kg Pb, 347 mg/kg As et 3,4 mg/kg Cd ;
- CORBES : 3780 mg/kg Zn, 658 mg/kg Pb, 578 mg/kg As et 12 mg/kg Cd ;
- GENOLHAC : 173 mg/kg As ;
- MALONS-ET-ELZE : 156 mg/kg As ;
- MIALET : 196 mg/kg As ;
- LE MARTINET : 528 mg/kg Pb ;
- ROUSSON : 2686 mg/kg Zn, 712 mg/kg Pb, 457 mg/kg As et 6,4 mg/kg Cd ;
- SAINT-FELIX-DE-PALLIERES : 166 mg/kg As ;
- SAINT-FLORENT-SUR-AUZONNET : 198 mg/kg As et 4,4 mg/kg Cd ;
- SAINT-JULIEN-LES-ROSIERS : 2369 mg/kg Zn, 632 mg/kg Pb, 159 mg/kg As et 3 mg/kg Cd ;
- SAINT-MARTIN-DE-VALGALGUES : 3446 mg/kg Zn, 1298 mg/kg Pb, 321 As mg/kg et 7,2 mg/kg Cd ;
- SAINT-SEBASTIEN-D'AIGREFEUILLE : 560 mg/kg Pb et 285 As mg/kg.

Les concentrations les plus hautes mesurées ont été quantifiées sur un échantillon de sol prélevé sur la commune de Corbès, respectivement 26 400 mg/kg en Pb et 3 358 mg/kg en As. Dans ce cas, il s'agirait d'un « effet pépité », probablement marginal. Egalement, deux échantillons prélevés à Saint-Julien-Les-Rosiers contiennent l'un 38 640 mg/kg de Zn et l'autre 158 mg/kg de Cd.

Ces valeurs correspondent souvent à de fortes anomalies naturelles en relation avec le contexte géologique rencontré localement (présence de secteurs minéralisés). Dans la plupart des cas, un gîte métallique zinc-plomb-pyrite ou une ancienne exploitation minière est présent sur le territoire de la commune concernée

Entre Saint-Hippolyte-du-Fort et Les Vans, les minéralisations se répartissent principalement à l'intérieur d'une étroite bande allongée Nord-Nord-Est et Sud-Sud-Est sur une trentaine de kilomètres. Les concentrations les plus importantes ayant fait l'objet d'exploitation sont localisées à La Croix-de-Pallières (Zn, Pb, Ag), Carnoulès (Pb, Ag), le Soulier (Fe, Zn) et dans le secteur de Landas (F, Zn).

4. Proposition de typologie des communes susceptibles d'être « environnement témoin »

4.1. DEFINITION DES CRITERES

Dans le cadre de la démarche IEM, la recherche d'un environnement témoin doit répondre, en particulier, aux critères suivants :

- situé sur la même zone géographique et dont les caractéristiques (géologiques, fonds géochimiques, hydrogéologiques, climatiques,...) sont similaires à l'environnement impacté,
- être exempt de toute pollution anthropique majeure.

Sur la base des valeurs de fonds géochimiques calculés pour les communes situées sur la bordure orientale des Cévennes et couverte par l'Inventaire Minier National, il a pu être établi que 13 d'entre-elles sur 63 comportent des fonds géochimiques anormaux en Zn, Pb, As ou/et Cd. Ainsi, plus de 10 % des concentrations mesurées dans les sols de ces communes sont supérieures à 1 000 mg/kg pour Zn, 500 mg/kg pour Pb, 150 mg/kg pour l'As et/ou 3 mg/kg Cd. Néanmoins, les concentrations mesurées restent généralement moindres que celle constatées sur le territoire de Saint-Laurent-le-Minier. La plupart des échantillons prélevés, il existe une bonne corrélation entre des concentrations élevées en Zn, Pb, As et Cd.

De plus, l'étude de localisation des indices, des gîtes des anciennes concessions minières sur la bordure sous-cévenole a permis d'identifier les communes où des travaux miniers ont été effectués. L'importance de ces travaux a également pu être estimée ainsi que l'existence ou non d'installation de traitement du minerai, ces activités anthropiques étant susceptible d'entraîner des enrichissements des sols en éléments traces métalliques (stériles, bassins de boues de lavage, retombées de poussières,...).

Au final, la plupart des communes sous-cévenoles possédant des caractéristiques géologiques et gîtologiques relativement similaires à celles de Saint-Laurent-le-Minier ont pu être listées et réparties dans 12 classes constituées par :

* 3 catégories intitulées « Fond géochimique » :

- **Catégorie 1** : commune ayant un fond géochimique naturel normal ou comportant des anomalies modérées en Zn, Pb, As ou/et Cd ;
- **Catégorie 2** : commune ayant un fond géochimique naturel comportant des anomalies élevées ;

- **Catégorie 3** : commune non couverte par l’inventaire minier national mais possédant un indice ou un gîte plombo-zincifère recensé ;

*** et 4 sous-catégories intitulées « Indices, gîtes ou gisements » :**

- **Sous catégorie A** : absence d’indices ou de gîte plombo-zincifère recensé sur le territoire communal ;
- **Sous catégorie B** : présence d’indices ou d’un gîte plombo-zincifère sur le territoire communal avec ou sans exploitation minière artisanale (extraction de quelques tonnes métal) ;
- **Sous catégories C** : présence sur le territoire communal d’une exploitation minière modeste (extraction de 100 à 5 000 tonnes métal) ;
- **Sous catégories D** : présence sur le territoire communal d’une exploitation minière importante (extraction de plus 5 000 tonnes métal).

Le classement des communes couvertes par l’inventaire minier national et/ou possédant un indice ou un gîte plombo-zincifère est indiqué dans les tableaux n°3, 4 et 5 suivants :

Catégorie	1A	1B	1C	1D
ALES	X			
ANDUZE		X		
AUJAC	X			
BAGARD	X			
BESSEGES	X			
BOISSET-ET-GAUJAC	X			
BONNEVAUX	X			
BRANOUX-LES-TAILLADES	X			
CHAMBON	X			
CHAMBORIGAUD	X			
CONCOULES	X			
CONQUEYRAC	X			
COURRY	X			
DURFORT-ET-SAINT-MARTIN-DE-SOSSENAC				X
FRESSAC	X			
GAGNIERES	X			
GENERARGUES	X			
LA GRAND-COMBE	X			
LA VERNAREDE	X			

Catégorie	1A	1B	1C	1D
LAMELOUZE	X			
LE MARTINET	X			
LES MAGES	X			
LES SALLES-DU-GARDON	X			
MEYRANNES		X		
MOLIERES-SUR-CEZE	X			
MONOBLLET	X			
PEYREMALE	X			
POMPIGNAN	X			
PONTEILS-ET-BRESIS	X			
PORTES	X			
QUISSAC	X			
ROBIAC-ROCHESSADOULE	X			
SAINT-AMBROIX	X			
SAINT-BONNET-DE-SALENDRINQUE	X			
SAINT-BRES	X			
SAINT-CHRISTOL-LES-ALES	X			
SAINT-HIPPOLYTE-DU-FORT			X	
SAINT-JEAN-DE-VALERISCLE	X			
SAINT-JEAN-DU-GARD		X		
SAINT-JEAN-DU-PIN			X	
SAINT-PAUL-LA-COSTE	X			
SAINTE-CECILE-D'ANDORGE	X			
SAINTE-CROIX-DE-CADERLE	X			
SAUVE	X			
SENECHAS	X			
SOUSTELLE	X			X
THOIRAS				
TORNAC	X			
VABRES	X			

Tableau 3 : Liste des 49 communes ayant un fond géochimique naturel pouvant être considéré régionalement comme normal

Catégorie	2A	2B	2C	2D
BORDEZAC		X		
CENDRAS		X		
CORBES		X		
GENOLHAC	X			
LASALLE	X			
LAVAL-PRADEL		X		
MALONS-ET-ELZE			X	
MIALET		X		
ROUSSON			X	
SAINT-FLORENT-SUR-AUZONNET	X			
SAINT-JULIEN-LES-ROSIERS	X			
SAINT-FELIX-DE-PALLIERES				X
SAINT-MARTIN-DE-VALGALGUES			X	
SAINT-SEBASTIEN-D'AIGREFEUILLE				X

Tableau 4 : Liste des 14 communes ayant un fond géochimique naturel comportant des anomalies élevées en Zn, Pb, As ou/et Cd

Catégorie	3A	3B	3C	3D
ARRIGAS		X		
ALZON		X		
LANUEJOLS		X		
MONTDARDIER				X
MOLIERES-CAVAILLON		X		
SAINT-ANDREE-DE-VALBORGNE		X		
SAINT-LAURENT-LE-MINIER				X
SAINT-ROMAN-DE-CODIERES		X		
SAINT-SAUVEUR-CAMPRIEU				X
SUMENE				X
TREVES			X	
VALLERAUGUE		X		

Tableau 5 : Liste de 12 communes non couvertes par l’inventaire minier national mais possédant un indice ou un gîte plombo-zincifère

4.2. IDENTIFICATION DES COMMUNES SUSCEPTIBLES D'ETRE « ENVIRONNEMENT TEMOIN »

Si l'on considère l'existence de l'exploitation minière des Avinières et des Malines sur la commune de Saint-Laurent-le-Minier, celle-ci serait classée dans la classe « 3D » : commune non couverte par l'inventaire minier national avec présence d'une exploitation minière importante (extraction de plus 5 000 tonnes métal) sur son territoire.

La sélection des communes susceptibles de faire l'objet d'investigation sur le terrain pour l'environnement témoin devrait porter, plus particulièrement, sur la catégorie « 2B » des communes possédant un fond géochimique naturel comportant des anomalies élevées en Zn, Pb, As ou/et Cd ou « 3B » des communes non couvertes par l'inventaire minier national mais possédant un indice ou un gîte plombo-zincifère sur leur territoire, à l'exclusion de celles ayant accueillies sur leur territoire d'importantes exploitations minières. Les 12 communes (cf. figure 5) répondant à cette définition sont les suivantes :

- au niveau de la bordure orientale des Cévennes :
 - **BORDEZAC**
 - **CENDRAS**
 - **CORBES**
 - **LAVAL-PRADEL**
 - **MIALET**

- au niveau de la bordure méridionale et occidentale des Cévennes
 - **ARRIGAS**
 - **ALZON**
 - **VALLERAUGUE**
 - **SAINT-ROMAN-DE-CODIERES**
 - **SAINT-ANDREE-DE-VALBORGNE**
 - **LANUEJOLS**
 - **MOLIERES-CAVAILLON**

Les deux communes Corbès et Cendras couvertes par l'inventaire minier national possèdent les valeurs de fond les plus élevée parmi les 5 communes de la bordure orientale cévenole.

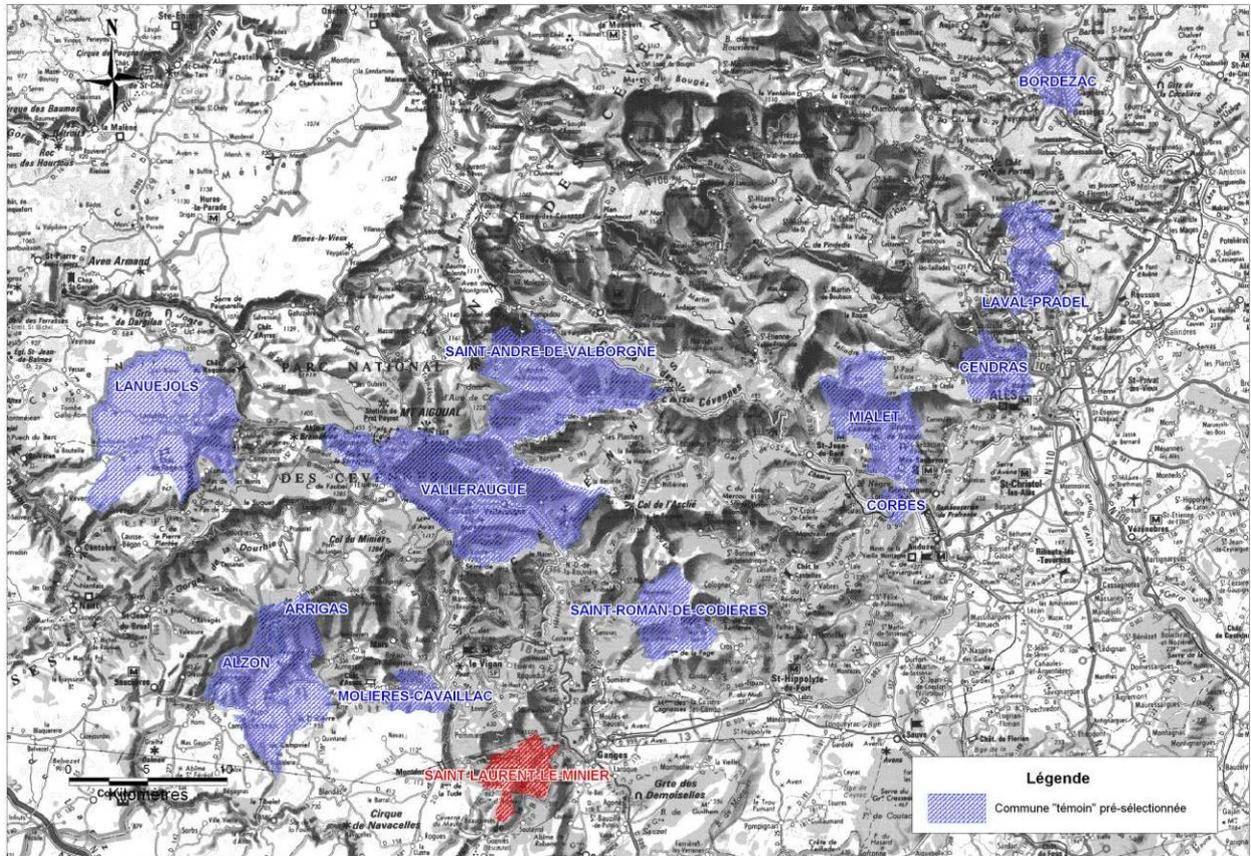


Figure 5 : Localisation des communes « témoins » présélectionnées

5. Visite sur le terrain des communes « témoins » présélectionnées

5.1. DEROULEMENT DE LA VISITE

Au cours d'une campagne de terrain de deux jours, les 23 et 24 avril 2008, une visite sur site a été réalisée par le groupe de travail constitué par les représentants de l'INERIS, l'InVS, la DDASS du Gard et le BRGM pour identifier la ou les zones témoins potentielles parmi les 12 communes présélectionnées auparavant.

De facto, certaines communes ont été éliminées avant même la visite de terrain comme Lanuejols (cas de plombémie dépisté par la DDASS), de Bordezac et Saint-André-de-Valborgne dont les formations géologiques présentes au droit de ces communes sont trop distinctes de celles de Saint-Laurent-le-Minier, et de plus sont éloignées de la zone d'étude.

Pour localiser la ou les zones témoins les plus pertinentes au sein des communes susceptible(s) de contenir des teneurs en Pb et Zn comparables à celles trouvées à Saint-Laurent-le-Minier, il semble plus pertinent de sélectionner une ou des zones ayant les mêmes formations géologiques de façon à avoir des filons de minéralisations métalliques semblables à celles rencontrées sur Saint-Laurent-le-Minier. Les formations géologiques minéralisées au niveau de Saint-Laurent-le-Minier sont le Cambrien (code de la formation sur la carte géologique k2 et k3-02), le Trias (t3-5) et le Bathonien (j2). L'ensemble de ces formations traverse plusieurs communes présélectionnées proches de Saint-Laurent-le-Miniers (à une distance inférieure à 20 km à vol d'oiseau) comme Alzon, Arrigas, Molières-Cavaillac et Saint-Roman-de-Codières (cf. fig. 5 et 6).

La visite de commune a permis d'obtenir, à l'aide d'un appareil portable de fluorescence X (Niton[®], XLt792WY), des analyses préliminaires des sols superficiels et des affleurements dans différents points des communes. Elle a aussi permis de faire des analyses autour des anciennes concessions quand celles-ci ont pu être repérées sur le terrain (entrée de galerie, laverie,...) et à proximité des zones d'exposition. L'ensemble des analyses sont regroupées dans le tableau 6 ci-après.

Il est à noter que ces analyses sont semi quantitatives voire dans certains cas seulement qualitatives. En effet, ces analyses ont été faites avec un temps de mesure court (recherche d'anomalies géochimiques en Pb et Zn) de 60 secondes par mesure ; les valeurs très fortes (de plusieurs dizaines de pourcents) sont indiquées par le mot « saturation » car il n'est pas possible de quantifier correctement de telles concentrations. De plus, les analyses d'arsenic sont données à titre indicatif car en présence de fortes concentrations en plomb (pour un ratio Pb/As > 7), la quantification de l'arsenic peut être relativement peu fiable.

CARTE GÉOLOGIQUE DE LA FRANCE A 1/50 000

LE VIGAN

Coordination des contours et réalisation de la maquette par **Bruno Alabouvette**, ingénieur géologue au Bureau de recherches géologiques et minières
 Les explorations et les notes géologiques ont été effectués de 1978 à 1981 par :
 - **François Arthaud**, professeur à l'université des sciences et techniques du Languedoc, Montpellier, pour les terrains paléozoïques et cristallins
 - **Yves Bodéur**, assistant au laboratoire de géologie historique de l'université de Nantes, pour le Jurassique supérieur et la région de Montsalvy
 - **Bruno Alabouvette**, pour l'ensemble de la couverture sédimentaire
 - **Henri Palpe**, ingénieur géologue au BRGM pour l'hydrogéologie
 On a utilisé, en outre, pour les terrains mésozoïques les levés effectués pour le projet de réalisation de la carte à 1/50 000 LE VIGAN par :
 - **Michel Bégaré**, maître de conférences à l'USTL, Montpellier, ainsi que les levés partiels aux contributions inédites, de :
 - **Paul Le Stré**, ingénieur géologue au BRGM
 - **Paul Ellenberger**, maître de recherches au Centre national de la recherche scientifique
 - **Jean-Claude Marquier**, assistant au laboratoire de géologie appliquée de l'université de Paris VI
 - **Armand Costabal**, ingénieur géologue au BRGM
 Cette feuille a été publiée en 1988

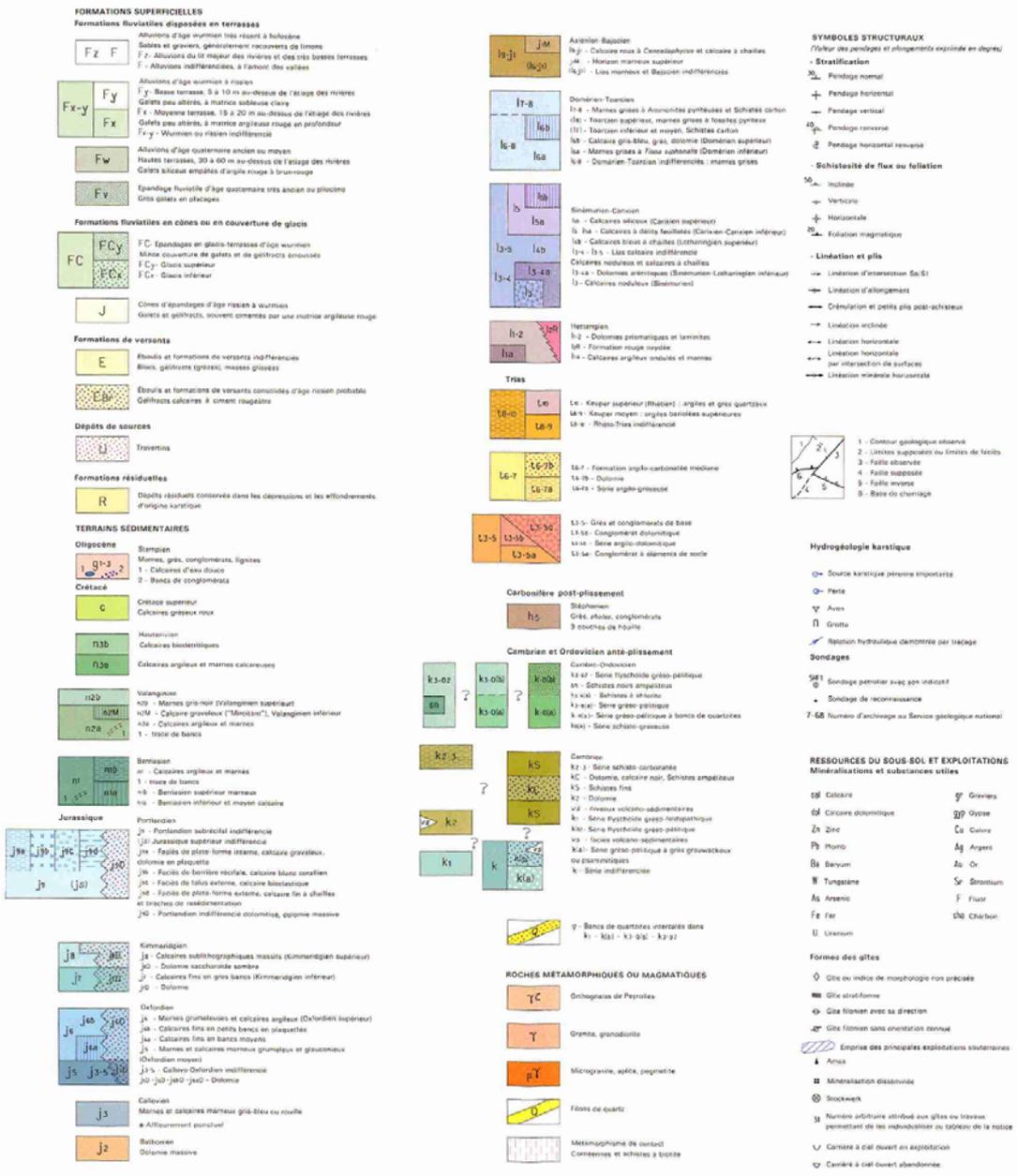


Figure 6 : Notice de la carte géologique du Vigan



Figure 7 : Extrait de la carte géologique de la région de Saint-Laurent-le-Minier

5.2. CHOIX DES COMMUNES REPRESENTATIVES D'UN « ENVIRONNEMENT TEMOIN »

A l'issue des visites de terrain, la commune de Molières-Cavaillac (concession de l'Esparon) ayant fait l'objet d'une exploitation non négligeable (environ 750 t extrait de calamine et environ 150 t de galène, Marchal, 1994), n'a pas pu être retenue comme site témoin potentiel : cette commune aurait dû être rangée dans la classe 3C dans le chapitre précédent 4.1.

A partir de ces données analytiques obtenues sur le terrain par l'appareil portable de fluorescence X, des contextes topographiques et géologiques constatés, du nombre d'habitants (en particulier présence d'enfants et population de taille minimum suffisante pour une étude sanitaire) vivant dans la communes, de la présence de jardins potagers, d'aires de jeux ..., trois communes suivantes ont été retenues par le groupe de travail comme potentiellement représentative d'un « environnement témoin » de la commune de Saint-Laurent-le-Minier :

- **ALZON,**
- **ARRIGAS (site de Vernes),**
- **SAINT-ROMAN-DE-CODIERES.**

Pour plus d'information sur ces communes, il est possible de consulter les Géor@pports de ces communes présentés en annexe 5. Les Géor@pports sont des documents regroupant les informations locales disponibles dans les bases de données du BRGM dans les domaines de la géologie ou des risques naturels (ces rapports élaborés de façon interactive sont mis à disposition exclusivement sous forme de fichiers numériques au format PDF). On trouve en particulier, en plus des cartes géologiques, des informations complémentaires sur le type de travaux miniers (exploitation ou prospection) mais aussi sur l'ampleur des travaux, le type de métaux exploités (Pb, Zn, Cu...) et la durée des exploitations.

En particulier, les indices mentionnées dans la banque de données du sous-sol (BSS) indique que :

-sur le territoire de la commune d'Alzon, l'existence de deux anciennes exploitations aux lieux-dits de Valcroze et Le Cailaret (principalement chalcopryrite, galène et blende),

- sur le territoire de la commune d'Arrigas, l'existence d'une ancienne exploitation au lieu-dit de Vernes (blende, galène, pyrite et barytine),

- et sur celui de Saint-Roman-de-Codières, la réalisation de quelques forages de prospection dans le village et aussi aux lieux-dits des Combes et de Driolles (minéralisations dans le Trias jugées insuffisantes pour entreprendre des travaux d'exploration).

Village	Lieu dit	Type de matériau	Pb	As	Zn
Alzon	centre du village	entrée parking	40	< LD	46
Alzon	centre du village	aire de jeux	32	< LD	50
Alzon	centre du village	stade de football	25	14	36
Alzon	centre du village	roche affleurement	< LD	< LD	< LD
Alzon	centre du village	argile affleurement	< LD	< LD	< LD
Arrigas	Vernes	affleurement 1	24	110	221
Arrigas	Vernes	affleurement 2	< LD	82	173
Arrigas	Vernes	abords de la mine	53	68	81
Arrigas	Vernes	roche mine	176	342	68
Arrigas	Vernes	sol laverie	157	84	137
Arrigas	Vernes	roche laverie 1	102	136	706
Arrigas	Vernes	roche laverie 2	41	420	< LD
Molières-Cavaillac	Espéron	sol 1	19	14	111
Molières-Cavaillac	Espéron	sol 2	61	17	442
Molières-Cavaillac	Espéron	sol 3	3352	1704	57559
Molières-Cavaillac	Espéron	sol 4	3023	690	12427
Molières-Cavaillac	Espéron	sol 5	112	< LD	1539
Molières-Cavaillac	Espéron	sol 6	20090	6118	70907
Molières-Cavaillac	Espéron	sol 7	68	52	156
Molières-Cavaillac	Espéron	sol 8	184	< LD	384
Molières-Cavaillac	Espéron	sol 9	26	31	71
Molières-Cavaillac	Espéron	sol 10	160	48	1796
Vallerauge	La Valette	sol	228	40	261
Vallerauge	La Valette	sol laverie	4773	381	832
Vallerauge	La Valette	roche	78	141	502
Vallerauge	La Valette	sol proche laverie	919	87	1038
Vallerauge	La Valette	roche	72	46	< LD
Vallerauge	La Valette	sol amont laverie	2973	87	394
Vallerauge	La Valette	roche	< LD	< LD	104
Vallerauge	La Valette	sol	643	51	183
St Roman de Codières	Centre du village	sol route vers la bergerie	1510	< LD	< LD
St Roman de Codières	Centre du village	sol route vers la bergerie	4473	< LD	101
St Roman de Codières	Centre du village	sol route vers la bergerie	3828	< LD	< LD
St Roman de Codières	Centre du village	sol orangé près de la bergerie	41	< LD	< LD
St Roman de Codières	Centre du village	Sous sol bâtiment de la mairie	721	< LD	177
St Roman de Codières	Centre du village	Jardin proche de la mairie	7338	232	221
St Roman de Codières	Centre du village	entrée maison, proche de la "grotte"	2320	< LD	721
St Roman de Codières	Centre du village	sol devant la grotte	2347	119	233
St Roman de Codières	Centre du village	dépôt vert au plafond de la grotte	saturation	< LD	2985
St Roman de Codières	Centre du village	dépôt vert au plafond de la grotte	saturation	< LD	1988
St Roman de Codières	Centre du village	roche à la base d'une maison	176	54	< LD
Corbes	Village	sol	63	66	< LD
Corbes	Les Adams	sol	74	93	1152
Corbes	Les Adams	sol abords de la mine	2717	471	4497
Corbes	Les Adams	sol de jardin	477	183	1155
Le Mialet	Centre du village	sol	35	< LD	136
Le Mialet	Centre du village	sol	44	25	85
Le Mialet	Centre du village	sol	73	54	144
Cendras	En dehors du village	sol proche de l'église	39	< LD	< LD
Cendras	En dehors du village	sol gris à l'intérieur de la tour	66	< LD	204
Laval Pradel	Centre du village	sol contre-bas église	38	< LD	< LD
Laval Pradel	Centre du village	affleurement église bord de route	< LD	< LD	< LD

< LD : inférieur à la limite de détection (As ≈ 20 mg/kg, Pb ≈ 20 mg/kg et Zn ≈ 50 mg/kg)

Tableau 6 : Analyses Pb, As et Zn (en mg/kg) par l'appareil portable de fluorescence x sur site

6. Conclusion

Dans le cadre de la mise en application de la démarche d'IEM sur la commune de Saint-Laurent-le-Minier, l'identification d'un environnement témoin dont les caractéristiques géologiques et gîtologiques soient semblables, a pu être menée sur la base d'une synthèse bibliographique et d'un traitement statistique des données géochimiques disponibles sur la bordure sous-cévenole dans le département du Gard.

Au niveau de la bordure cévenole, les minéralisations plomb-zincifère se concentrent à trois niveaux stratigraphiques : Le Cambrien, le Trias jusqu'à l'Hettangien et le Bathonien. Ces formations géologiques sont présentes principalement sur la bordure orientale entre les Malines et l'Argentière (07) sur une bande de 140 km de long sur 10 à 15 km de largeur qui comporte de nombreuses occurrences minéralisées. Ces formations minéralisées se rencontrent également sur la bordure méridionale et occidentale mais de manière plus modeste. A ce titre, ce secteur baptisé " Province métallogénique sous-cévenole " a fait l'objet d'importantes recherches minières par le passé afin de découvrir de nouveaux gisements métallifères cachés

Toutefois, il doit être signalé que toutes zones où seraient apparues des anomalies géochimiques de surface aussi importantes que celles rencontrées sur la commune de Saint-Laurent-le-Minier, aurait certainement fait l'objet d'une activité d'exploitation minière significative. En conséquence, il n'a donc pas été possible de trouver une zone qui comporte un gîte métallifère (ou un fond géochimique), similaire à celle de Saint-Laurent-le-Minier sans que celui-ci n'ait été exploité.

Dans la mesure de notre état de connaissance scientifique et historique actuel de ces lieux, les valeurs des fonds géochimiques naturels, notamment des anomalies géochimiques locales et la connaissance des anciennes activités anthropiques minières exercées ont été rassemblées dans cette étude.

Cela a permis dans une première approche de comparer les communes entre elles et ainsi de présélectionner celles (12 communes) qui sembleraient les plus intéressantes comme susceptibles d'être un « environnement témoin » dans le cadre de la démarche IEM.

Après une visite de terrain par le groupe de travail et sur la base de critères généraux tels que :

- le contexte naturel : géologie, topographie, hydrographie,
- l'activité humaine : la zone devant être exempte d'activité anthropique industrielle ou minière de dimension importante,
- la population : types de populations présentes, exposition des populations,

le choix final, de trois communes potentiellement représentative d'un « environnement témoin » de la commune de Saint-Laurent-le-Minier, s'est porté sur les communes d'**Alzon**, d'**Arrigas (site de Vernes)**, et de **Saint-Roman-de-Codières**.

7. Bibliographie

Aubague A., Orgeval J. J., Soulié M., Boyer F., Combes P. J. (1977) – Les Gîtes minéraux de la terminaison méridionale du massif central et de sa bordure languedocienne (essai de synthèse). Bulletin du Bureau des Recherche Géologiques et Minières, Deuxième série, Section II, N°3, Géologie des gîtes minéraux

Cachau Herreillat F. (1967) – Résultats de la campagne de prospection géochimique stratégique (pour Pb-Zn) du permis de recherches de Cezas (Gard, Hérault). Rapport BRGM DS.67 A13.

Baranger Ph. (2007) – Appui à la DRIRE LRO sur le problème des sols du site des Malines. Rapport GEODERIS S 2007/06DE – 06LRO2202

Bernier P., Macquar J.-C., Michaud J.-G., Palut J.-P., Ziserman A., Responsable scientifique R. Dars (1970) – Contribution à la recherche de gisements métallifères cachés (district des Malines – Cévennes). Bulletin du Bureau des Recherche Géologiques et Minières, Deuxième série, Section II, N°1, Géologie appliquée.

BRGM (1988) – Carte Géologique de la France à 1/50 000, feuille Le Vigan (n°927). Carte avec notice.

BRGM (1972) – Carte Géologique de la France à 1/50 000, feuille d'Anduze (n°938). Carte avec notice.

BRGM (1972) – Carte Géologique de la France à 1/50 000, feuille de Saint-Martin-de-Londres (n°963). Carte avec notice.

BRGM (1978) – Carte Géologique de la France à 1/50 000, feuille d'Alès (n°912). Carte avec notice.

BRGM (1994) – Département du Gard, Inventaire des travaux miniers (hors concessions nationalisées de charbon). Rapport BRGM R 38215.

Foucault A., Raoult J-F (2001) - Dictionnaire de Géologie, 5e édition. Edition Dunod.

INVS (2005) – Dépistage du saturnisme dans la commune de Saint-Laurent-le-Minier (Gard).

Laperche V. (2006) – Campagnes d'analyse de terrain à l'aide d'un spectromètre de fluorescence X sur le secteur de Saint-Laurent-le-Minier. Rapport BRGM d'avancement n°2, RP-55181-FR.

Letalenet J., Aubagne M., Coumoul A., Sureau J.F. (1988) – Couverture sédimentaire de la bordure sud-est du massif central français. Synthèse géochimique. Rapport BRGM 89 DAM 016 DEX.

Macquar J.C., Rouvier H., Tibieroz J. (1988) - Les minéralisations Zn, Pb, Fe, Ba, F péricévenoles, cadre structuro - sédimentaire et distribution spatio-temporelle. Actes du Colloque Mobilité et concentration des métaux de base dans les couvertures sédimentaires. Orléans, 28-30 mars 1988. Edité par BRGM édition.

Verraes G. (1979) - Contribution à l'étude de la province métallogénique sous cévenole : Les gîtes Pb-Zn de Montdardier, la Sanguinée et 102, District des Malines (Gard) – France. Thèse présentée à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc pour obtenir le grade de Docteur d' Université.

Verraes G. (1983 – Etude monographique du district minier des Malines et de ses environs (Provinces sous-cévenole – France). Thèse présentée à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc pour obtenir le grade de Docteur d'Etat mention Sciences, Tomes I et II.

Sites su internet consultés

MERIMEE : Inventaire du patrimoine architectural

<http://www.culture.gouv.fr/culture/inventai/patrimoine/>

INFOTERRE : Base de données géoscientifiques

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

BASIAS : Inventaire des anciens sites industriels et activité de services

<http://basias.brgm.fr>

BASOL : Base de données sur les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif

<http://basol.environnement.gouv.fr/>

SIG Mines France :

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

Annexe 1

Liste des gisements, gîtes et indices Pb - Zn dans le département du Gard (30)

N° fiche	Nom du site	Production en tonnes	Importance	Substance	Commune	X en L2ét	Y en L2ét
FRA-00043	Saint Sébastien d'Aigrefeuille (Carnoulès)	30000	1	Plomb	SAINT-SEBASTIEN-D'AIGREFEUILLE (30298)	732394	1902110
FRA-00048	Villemagne	23900	2	Plomb	SAINT-SAUVEUR-CAMPRIEU (30297)	688344	1902884
FRA-00637	Valcroze		0	Plomb	ALZON (30009)	687554	1886265
FRA-01291	Mas de L'Ayre	300	0	Plomb	MALONS-ET-ELZE (30153)	731760	1937847
FRA-03183	La Serreyrède		0	Plomb	VALLERAUGUE (30339)	696257	1901086
FRA-03202	Les Combes		0	Plomb	SAINT-ROMAN-DE-CODIERES (30296)	717691	1890393
FRA-03294	Casalins		0	Plomb	MIALET (30168)	725684	1905510
FRA-03301	Chalonoires		0	Plomb	MALONS-ET-ELZE (30153)	731158	1939447
FRA-03329	Le Moulin		0	Plomb	LAVAL-PRADEL (30142)	739588	1915436
FRA-03338	Robigès		0	Plomb	SAINT-ANDRE-DE-VALBORGNE (30231)	707667	1905098
FRA-03429	Clairac		0	Plomb	MEYRANNES (30167)	743986	1921442
FRA-03439	Mont Jardin		0	Plomb	LANUEJOLS (30139)	684142	1903182
FRA-03447	Bramabiau		0	Plomb	SAINT-SAUVEUR-CAMPRIEU (30297)	690650	1903083
FRA-03499	Bordezac 2		0	Plomb	BORDEZAC (30045)	739083	1925247
FRA-03506	La Maline		0	Plomb	SAINT-JEAN-DU-GARD (30269)	723186	1898908
FRA-03508	Corbès		0	Plomb	CORBES (30094)	729894	189911

Tab. A1-1 : Liste des gisements, gîtes et indices Pb dans le Gard (30)
(Source BRGM BSS, <http://sigminesfrance.brgm.fr/sig.asp>)

N° fiche	Nom du site	Production en tonnes	Importance	Substance	Commune	X en L2ét	Y en L2ét
FRA-00006	Les Malines	1000000	2	Zinc	SAINT-LAURENT-LE-MINIER (30280)	703377	1881165
FRA-00050	La Croix de Pallières	80000	1	Zinc	THOIRAS (30329)	728497	1894998
FRA-00613	Cendras	300	0	Zinc	CENDRAS (30077)	738197	1906128
FRA-00614	Landas	4300	0	Zinc	ROUSSON (30223)	742694	1913337
FRA-00616	Saint Félix	2800	0	Zinc	SAINT-MARTIN-DE-VALGALGUES (30284)	739497	1907625
FRA-00617	Saint Jean Du Pin	1000	0	Zinc	SAINT-JEAN-DU-PIN (30270)	737198	1903926
FRA-00630	Arrigas		0	Zinc	ARRIGAS (30017)	691357	1889167
FRA-00635	Esparon		0	Zinc	MOLIERES-CAVAILLAC (30170)	697266	1886263
FRA-00636	Trèves	3600	1	Zinc	TREVES (30332)	685145	1897178
FRA-00639	Les Avinières	40000	1	Zinc	SAINT-LAURENT-LE-MINIER (30280)	706681	1882065
FRA-00640	La Boissière (30)	2000	0	Zinc	SAINT-HIPPOLYTE-DU-FORT (30263)	719894	1886585
FRA-00641	Deux Jumeaux	5000	0	Zinc	SUMENE (30325)	709582	1885575
FRA-00642	Durfort	15000	0	Zinc	DURFORT-ET-SAINT-MARTIN-DE-SOSSENAC (30106)	729602	1890204
FRA-00643	Saint-Laurent-le-Minier	25000	1	Zinc	POMMIERS (30199)	703475	1883770
FRA-00644	La Valette		0	Zinc	VALLERAUGUE (30339)	703367	1895682
FRA-01270	La Rouvière (07)	300	0	Zinc	MALONS-ET-ELZE (30153)	733358	1940650
FRA-01771	Les Peyrouses (30)		0	Zinc	SAINT-FLORENT-SUR-AUZONNET (30253)	742193	1915939
FRA-04134	Recoule		0	Zinc	LES PLANTIERS (30198)	707068	1902195
FRA-04137	Le Tayrac		0	Zinc	TREVES (30332)	685344	1894266
FRA-04147	Mas Redonnel		0	Zinc	NOTRE-DAME-DE-LA-ROUVIERE (30190)	709471	1894383
FRA-04154	Mas Sébastian		0	Zinc	LE VIGAN (30350)	707072	1889180
FRA-04167	Caucanas		0	Zinc	MONTDARDIER (30176)	702779	1879564
FRA-04170	Montdardier		0	Zinc	MONTDARDIER (30176)	701377	1881766
FRA-04212	La Sanguinède		0	Zinc	MONTDARDIER (30176)	701377	1882768
FRA-04224	Driolle		0	Zinc	ANDUZE (30010)	729896	1895505
FRA-04246	Valensole		0	Zinc	TORNAC (30330)	731003	1891301
FRA-04253	Pradinas		0	Zinc	MIALET (30168)	730295	1899908
FRA-04255	Mas Icard		0	Zinc	SAINT-SEBASTIEN-D'AIGREFEUILLE (30298)	731194	1901016

Tab. A1-2 : Liste des gisements, gîtes et indices Zn dans le Gard (30)
(Source BRGM BSS, <http://sigminesfrance.brgm.fr/sig.asp>)

N°	Nom de l'exploitation	Substance principale	Tonnage métal produit	Substances en sous produit	Localisation				Numéro BSS
					Département	Commune	X L2ét	Y L2ét	
32	Le Soulier	Pyr	400	F Pb Zn	GARD (30)	SAINT-MARTIN-DE-VALGALGUES	738945	1907128	0912-6x-4001 0912-6x-4004
34	Saint-Sébastien d'Aigrefeuille (Carnoullès)	Pb	30000	Ag	GARD (30)	SAINT-SEBASTIEN-D'AIGREFEUILLE	732442	1902116	0912-5x-4003
39	Villemagne	Pb	23900	Zn	GARD (30)	SAINT-SAUVEUR-CAMPRIEU	688394	1902882	0910-7x-4004
41	La Croix de Pallières	Zn	34000	Ag Cd Ge Pb	GARD (30)	THOIRAS	728545	1895005	0937-8x-4002
42	Les Malines	Zn	100000	Ag Ba Pb	GARD (30)	MONTDARDIER	703427	1881167	0937-5x-4001
688	Nôtre Dame De Laval	Ba	Non renseigné	Pb	GARD (30)	LAVAL-PRADEL	738337	1913634	0912-2x-4012
704	Arrigas	Zn	Non renseigné	Cu Pb	GARD (30)		691407	1889168	0967-7x-4003
711	Trèves	Zn	817	Pb	GARD (30)	TREVES	685195	1897174	0936-2x-4004
712	Valcroze	Pb	Non renseigné	Cu	GARD (30)	ALZON	687604	1886263	0936-7x-4001
715	La Boissière	Pb	2000	Zn	GARD (30)	SAINT-HIPPOLYTE-DU-FORT	719942	1886587	0937-7x-4001
716	Deux Jumeaux	Zn	500	Pb	GARD (30)		709631	1885577	0937-6x-4002/4004/4005
717	Durfort	Zn	Non renseigné	Pb	GARD (30)	DURFORT-ET-SAINT-MARTIN-DE-SOSENAC	729650	1890200	0937-8x-4002
718	St Laurent Le Minier	Zn	5000	Pb	GARD (30)		703525	1883771	0937-5x-4007/4008/4009
719	La Valette	Pb	Non renseigné	Zn	GARD (30)	VALLERAUGUE	703416	1895684	0937-1x-4004
1394	Mas de L'Ayre	Pb	300	Zn	GARD (30)	MALONS-ET-ELZE	731808	1937849	0888-1x-4004

Tab. A1-3 : Liste des exploitations Pb et autres substances associées dans le Gard (30) (Source BRGM BSS, <http://sigminesfrance.brgm.fr/sig.asp>)

Annexe 2

Les minéralisations Zn, Pb, Fe, Ba, F péricévenoles, cadre structuro - sédimentaire et distribution spatio-temporelle.

Acte du Colloque « Mobilité et concentration des métaux de base
dans les couvertures sédimentaires ». Orléans, 28-30 mars 1988.
Edité par BRGM édition.

Macquar J.C., Rouvier H., Tibieroz J. (1988)

LES MINÉRALISATIONS ZN, PB, FE, BA, F, PERI-CEVENOLES : CADRE STRUCTURO-SEDIMENTAIRE ET DISTRIBUTION SPATIO-TEMPORELLE

Jean-Claude MACQUAR, Henri ROUVIER et Jacques THIBIEROZ

RESUME

Amorcée dès le Trias, l'individualisation d'un seuil à l'emplacement des Cévennes s'affirme surtout entre l'Hettangien et l'Oxfordien. Durant cette période, l'activité tectonique syn-sédimentaire est vive le long des accidents N-S à NE-SW et plus ou moins discrète suivant les failles W-E à NW-SE. Ces dernières rejoueront en distension (vraisemblablement au Crétacé inférieur) puis en compression (entre le Crétacé sup. et la fin de l'Eocène).

Toutes les minéralisations du domaine péri-cévenol sont antérieures à cette phase compressive. Elles se répartissent dans des formations d'âge triasique à portlandien, carbonatées pour l'essentiel. Elles se concentrent fréquemment au voisinage des contacts carbonates-formations argileuses et les corps minéralisés sont généralement alignés le long des accidents N-S à NE-SW ou W-E à NW-SE.

Une telle répartition, jointe aux éléments de datation et aux analogies de compositions minérales et de successions mises en évidence à l'intérieur d'un même gisement ou d'un même district ou d'un district à l'autre, conduit à regrouper l'ensemble des minéralisations péri-cévenoles en un nombre limité d'événements métallogéniques d'ampleur régionale, entrant dans le cadre des distensions "téthysiennes" et "atlantiques".

ABSTRACT

Within the actual Cevennes area, a shoal has been uplifted as soon as the Triassic but was especially active during the Jurassic (between Hettangian and Oxfordian). During this time, the synsedimentary tectonic activity was strong along N-S to NE/SW fractures, much more weaker along W-E to NW/SE faults. The later worked again first within a distensive strain field (during lower Cretaceous), then with a compressive strain field (between Upper Cretaceous and Late Eocene)

All the ore deposits of the Cevennes peripheral area are younger than this compressive event. They occur within essentially carbonated formations from Triassic to Portlandian. They are mainly located near the limits between carbonated and clayed units and ore bodies delineate the N-S to NE/SW and W-E to NW/SE faults.

Such a distribution, in addition to datation criteria and to mineralogical analogies within a same deposit or district, or within two distinct districts, lead to the following conclusion : all the mineralizations of the Cevennes borders belong to only a few metallogenic processes with regional implication which are bound to "tethysian" and "atlantic" rifting.

Laboratoire de Géologie appliquée - Université P. et M. Curie,
4 place Jussieu, 75252 Paris cedex 05

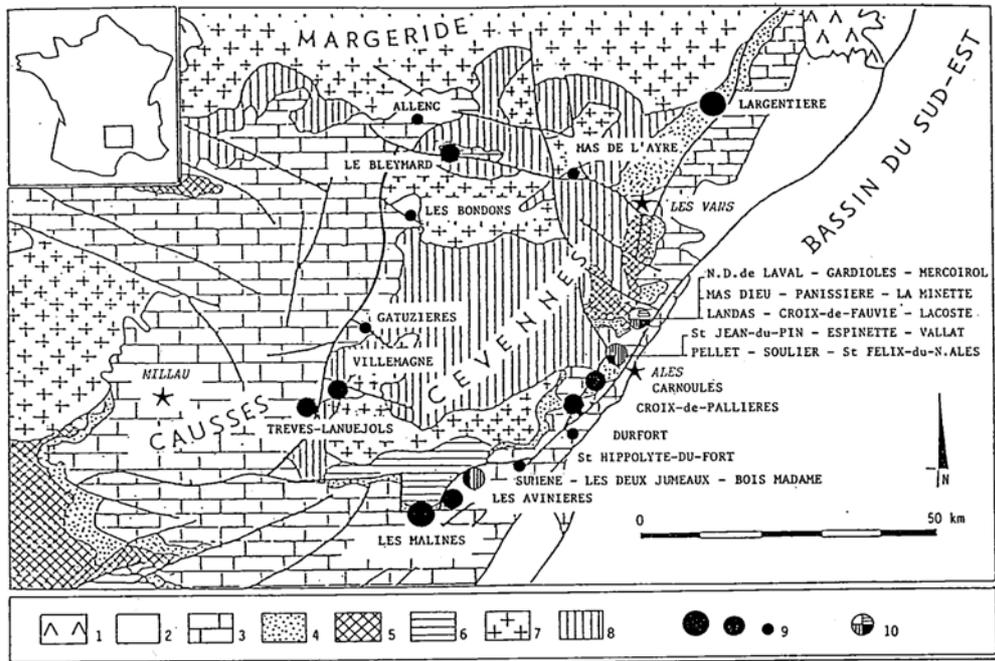


Fig. 1 - PRINCIPALES UNITES GEOLOGIQUES ET PRINCIPAUX GISEMENTS DU DOMAINE PERI-CEVENOL.

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 (+ Ba, Fe) : > 300 000 t métal ; entre 300 000 et 50 000 t et < 50 000 t. 10. Ensemble de gites comprenant des corps barytiques (blanc), pyriteux (hachuré vertical), plombo-zincifères (noir) ou fluoritiques (hachuré horizontal).

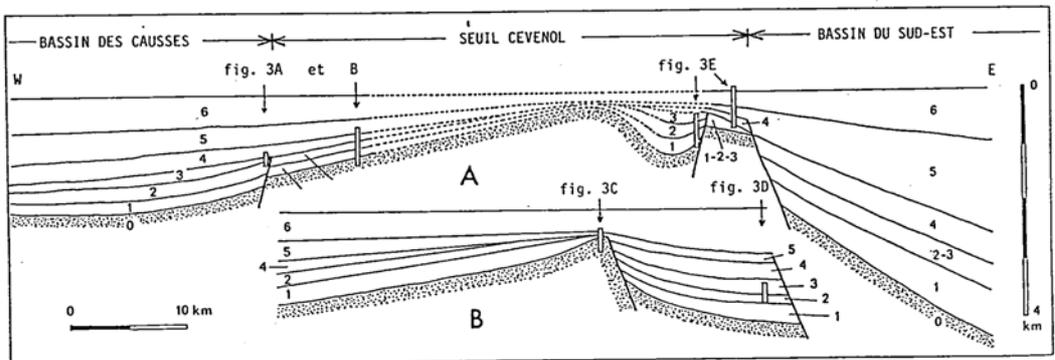


Fig. 2 - COUPES TRANSVERSALES DU DOMAINE PERI-CEVENOL (situation à la fin du Jurassique) : A, passant par Trèves et la région d'Alès ; B, le long de la bordure S des Cévennes.

0. Substratum paléozoïque. 1. Trias. 2. Hettangien. 3. Sinémurien-Lotharingien. 4. Carixien à Aaléno-Bajocien inf. 5. Bajocien sup. à Callovien. 6. Oxfordien à Portlandien. Pour la lithologie, voir texte et fig. 3A à E.
 ----- limite interpolée à partir de données recueillies au Nord (transversale Le Bleyhard - Mas de l'ayre - Les Vans) ou au Sud (coupe B).

Dans les grands districts de type "Mississippi Valley" les concentrations économiques les plus importantes sont localisées dans un faisceau de strates d'épaisseur variable - de quelques dizaines de mètres à environ 200 m - mais les minéralisations sont également présentes au-dessus et au-dessous du porteur principal. L'accord s'étant à peu près réalisé sur le caractère épigénétique de ces concentrations, l'âge de leur mise en place est généralement considéré comme étant postérieur à l'occurrence la plus récente.

Le domaine péri-cévenol dont il va être question ici présente la particularité de montrer une dispersion verticale relativement importante des minéralisations, du socle infra-triasique au Jurassique supérieur. Face à une telle dispersion, l'attitude adoptée le plus généralement jusqu'à une date récente a été de lier étroitement l'histoire des minéralisations à celle de leurs roches encaissantes et de multiplier ainsi le nombre d'épisodes métallogéniques.

Les travaux effectués ces dernières années, par nous-mêmes ou par les chercheurs du BRGM ou en collaboration avec eux dans le cadre de directions communes de thèses de 3e cycle, améliorent la connaissance du cadre structuro-sédimentaire des minéralisations, de leur distribution spatiale et de leur histoire, et en fin de compte, conduisent à opérer des regroupements et à limiter ainsi le nombre d'épisodes métallogéniques.

CADRE STRUCTURO-SEDIMENTAIRE DES MINERALISATIONS

Au Mésozoïque, le Sud du Massif Central constitue un haut-fond, dit "occitan", compris entre le bassin d'Aquitaine et le bassin du Sud-Est. Ce haut-fond est lui-même constitué de deux seuils, l'un à l'emplacement du Rouergue et de l'Albigeois, et l'autre suivant les Cévennes et la Montagne Noire, encadrant un petit bassin suspendu, le bassin des Causses.

Le domaine qui nous intéresse ici (fig. 1) correspond à la partie NE du haut-fond occitan. Une coupe transversale (fig. 2) en dégage les principales unités structuro-sédimentaires.

A l'Est, apparaît la bordure occidentale du bassin du Sud-Est avec ses puissantes séries, pour l'essentiel à faciès de plate-forme externe ou marins plus profonds. Les puissances maximales atteintes sont de l'ordre de 1000 m pour les formations argilo-sulfatées et halitiques du Trias, de 7 à 800 m pour les formations carbonatées plus ou moins argileuses de l'Hettangien au Carixien, de 4 à 5000 m pour les marnes et marno-calcaires du Domérien à l'Oxfordien moyen et de 1500 m pour les marno-calcaires et calcaires de l'Oxfordien supérieur au Portlandien (F. BAUDRIMONT et P. DUBOIS, 1977).

A l'Ouest, apparaît le bassin des Causses avec, en son coeur, une série d'environ 2000 m. D'un ensemble essentiellement carbonaté à faciès de plate-forme interne plus ou moins confinée, se distinguent les formations grésos-conglomératiques à argilo-sulfatées continentales à margino-littorales du Trias, d'une part, et d'autre part, les formations marneuses et marno-calcaires de milieu marin ouvert du Domérien à l'Aaléno-Bajocien inférieur.

Entre les deux, se trouve le seuil cévenol dont les points culminants sont coiffés de séries extrêmement réduites ou lacunaires. Ainsi par exemple, aux Malines, la puissance du Jurassique supérieur est inférieure à 500 m, le Callovien est absent et le Bathonien supérieur, réduit à une quarantaine de mètres, repose directement sur le Trias, lui-même très réduit, voire localement sur le substratum paléozoïque.

Sur le flanc W du seuil, le Sinémurien est généralement absent, le Lotharingien très peu développé ou absent et les formations du Carixien au Bathonien inférieur se biseautent plus ou moins loin de l'axe du seuil (P. BERNIER *et al.*, 1970 ;

A.G. MICHARD et A. COUMOUL, 1978 ; Ph. LAGNY *et al.*, 1981). Un bloc caussenard et un bloc cévenol s'individualisent donc nettement au Sinémurien-Lotharingien et par la suite, l'effondrement du premier s'accompagne d'un basculement vers l'Ouest du second.

Sur le flanc E, les modalités d'articulation entre le seuil et le bassin du Sud-Est varient sensiblement du Sud vers le Nord.

A l'Est des Malines, la série augmente brutalement d'épaisseur tout en se complétant immédiatement à l'Est de la faille des Avinières-Sumène (P. BERNIER *et al.*, 1970 ; M. AUBAGUE et A. LEVAVRAIS-RAYMOND, 1974) ; au-delà et jusqu'à Durfort, les variations de puissance demeurent relativement modestes et les faciès conservent un net cachet caussenard. Ainsi, dans la région de St Hippolyte-du-Fort à Durfort, on a 125 m de calcarénites dolomitisées du Bathonien-Bajocien, 180 m de calcaires à chailles et marnes de l'Aalénien-Toarcién-Domérien, entre 70 et 120 m de calcaires plus ou moins argileux ou bioclastiques à chailles du Carixien-Lotharingien, 150 m de calcaires fins et de calcarénites plus ou moins dolomitisées du Sinémurien et environ 120 m d'Hettangien composé principalement de dolomies fines pénécemporaines (M. AUBAGUE et A. LEVAVRAIS-RAYMOND, 1974 ; M. PERRISSOL et S. GUERIN-FRANIATTE, 1985).

Dans la région d'Alès, sur le flanc E du seuil s'individualisent des petits bassins sédimentaires (Mialet-Thoiras au Sud d'Alès et Cendras au Nord), barrés à l'Est par des horsts étroits, allongés NNE-SSW et plongeant vers le Sud (Pallières au Sud et Rochebelle-Fontanes au Nord). Dans ces bassins, les formations sont relativement puissantes et les faciès présentent un caractère plus profond que ceux de la partie sud vus précédemment. Ainsi par exemple, au Nord d'Alès, le Trias peut atteindre 350 m, l'Hettangien 300 m et le Sinémurien-Lotharingien-Carixien près de 300 m ; le premier est essentiellement argilo-sulfaté, voire même halitique, le second, principalement composé de calcarénites fines à grossières à organisation séquentielle plus ou moins bien marquée (rappelant le Sinémurien de Durfort) et le troisième, constitué de calcaires fins plus ou moins argileux, à chailles pour le Lotharingien-Carixien (F. RECROIX, 1981 ; R. LEBAS, 1984). Les conditions d'affleurement ne permettent pas de savoir ce qu'il en est des formations surincombantes ni des modalités de biseautage vers l'Ouest. Au Sud d'Alès celui-ci pourrait être progressif alors qu'au Nord il pourrait, comme dans le secteur des Malines, s'opérer à la faveur d'une faille (faille NNW-SSE dite "de Villefort"). A l'aplomb des horsts, les réductions de puissances et les lacunes attestent de l'individualisation syn-sédimentaire de telles structures. Ainsi par exemple, le Sinémurien ou le Lotharingien peut reposer sur différents termes de l'Hettangien ou sur un Trias réduit, le Carixien sur l'Hettangien ou encore le Bajocien-Bathonien réduit sur le Carixien (A. BERNARD, 1958 ; R. LEENHARDT, 1972 ; M. AUBAGUE *et al.*, 1982 ; R. LEBAS, 1984).

Enfin plus au Nord, dans la région des Vans, en l'espace de quelques kilomètres, on passe de séries très réduites à des séries puissantes essentiellement marno-calcaires et marneuses ; les changements de faciès, augmentations d'épaisseur et apparitions de nouveaux termes stratigraphiques coïncidant généralement avec des failles. Ainsi, à l'Ouest des Vans observe-t-on entre le Callovien (30 m) et le Trias, une vingtaine de mètres de formations appartenant au Bathonien moyen - Callovien basal et à l'Hettangien basal alors qu'à l'Est, passée la première grande faille NNE-SSW, l'ensemble Hettangien à Callovien dépasse 500 m en moins de 10 km (S. ELMI, 1984).

L'individualisation des principales unités structuro-sédimentaires brièvement présentées dans ce qui précède a débuté au Trias mais c'est principalement lors de l'activité tectonique distensive contemporaine de la période fini-Hettangien à Bathonien qu'elle s'est affirmée. Cette activité entre parfaitement dans le cadre du "rifting" qui précède l'ouverture de la Téthys ligure tel que l'a défini M. LEMOINE

in BOILLOT *et al.*, 1984). Les effets de cette tectonique distensive sont enregistrés de manière privilégiée au niveau des accidents NNE-SSW à NE-SW. Néanmoins, les grands accidents W-E à NW-SE fonctionnent également, plus ou moins discrètement, durant cette période ; l'allure sinueuse ou en baïonnette des limites d'extension des différentes formations en bordure ou sur les flancs du seuil cévenol en est la traduction.

Postérieurement au Bathonien, les rejeux en distension se poursuivent de manière plus ou moins accentuée : encore bien marqués durant le Callovien-Oxfordien moyen, période d'ouverture de la Téthys ligure selon M. LEMOINE (*op. cit.*), ils le seront beaucoup moins au cours de l'Oxfordien supérieur-Portlandien, période d'expansion.

A partir de la fin du Jurassique, le domaine Cévennes-Causse émerge définitivement et l'absence de dépôt interdit toute reconstitution précise. L'analyse structurale a néanmoins permis de mettre en évidence plusieurs phases d'activité en distension ou en compression des grands accidents (J.-C. MACQUAR, 1973). Seules deux d'entre elles retiendront notre attention ici. Il s'agit : 1/ d'une phase de distension entraînant un rejeu en faille normale des grands accidents W-E à NW-SE et 2/ d'une phase de compression entraînant un rejeu en faille inverse de ces mêmes accidents ainsi que des coulissages senestres suivant les failles NNE-SSW à NE-SW ; la première, d'âge probablement Crétacé inférieur, peut être rapportée au "rifting" qui précède l'ouverture du golfe de Gascogne tel qu'il a été défini par G. BOILLOT et L. MONTADERT (*in* BOILLOT *et al.*, 1984) ; la seconde, d'âge pouvant aller du Crétacé supérieur à l'Eocène supérieur, est consécutive à la convergence des plaques africaine et européenne.

Toutes les minéralisations du domaine péri-cévenol sont affectées par cette seconde phase et lui sont donc antérieures.

DISTRIBUTION SPATIALE DES MINÉRALISATIONS

Sur la bordure W des Cévennes (fig. 1 et 2), les minéralisations se localisent, côté Causse, le long du grand accident NNE-SSW qui matérialise la limite Causse-Cévennes d'une part, et d'autre part suivant les failles W-E à NW-SE qui découpent le flanc W du seuil cévenol.

La première famille, essentiellement plombo-zincifère, se présente en amas^{*} stratoïdes ou sécants, allongés et alignés suivant la direction de fracturation principale NNE-SSW ainsi que sous forme fissurale (fig. 3A). Les minéralisations du premier type se situent principalement dans les calcarénites dolomitiques du Lotharingien inférieur, sous l'inconformité (surface d'émersion et de dissolution) qui les séparent des formations marno-dolomitiques de la base du Lotharingien supérieur. Elles peuvent en outre affecter, vers le bas, le Sinémurien ou l'Hettangien supérieur et, vers le haut, les formations dolarénitiques plus ou moins quartzo-argileuses qui colmatent les creux de la surface d'inconformité et qui passent en apparente continuité aux formations de la base du Lotharingien supérieur. Quant aux minéralisations fissurales, elles se développent de l'Hettangien à la base du Domérien dont les premiers mètres, marno-calcaires, sont affectés.

* Le terme d'amas est employé pour des corps pénéconcordants ou sécants dont les limites sont généralement irrégulières et dont la minéralisation est associée à des cavités de dissolution ou à des volumes rocheux affectés par une dissolution partielle et restructurés sur place. Le terme de lentille sera réservé à des corps stratiformes à minéralisation en imprégnation plus ou moins dense.

Les concentrations les plus importantes appartenant à cette première famille ont été reconnues par sondages et travaux miniers dans le secteur de Trèves-Lanuéjols (J.-G. MICHAUD, 1976) dont la potentialité a été estimée à environ 100 000 t Zn + Pb (J.-G. MICHAUD, 1980).

Les minéralisations de la seconde famille sont barytiques, plus ou moins riches en blende, galène, minéraux de cuivre (et fluorine au Nord). Elles se présentent en filons W-E à NW-SE ou en corps stratiformes (fig. 3B) répartis selon des bandes plus ou moins larges, allongées suivant cette même direction (J.-C. MACQUAR, 1976 ; B. BLOND, 1978 ; D. SAFARI, 1979). Les filons, qui peuvent présenter un aval-pendage dans le socle supérieur à 100 m, se ferment généralement au contact de la première formation marneuse (domérienne ou toarcienne selon les secteurs) ; cependant, dans deux cas, Orcières dans la région du Bleymard et le "Contact Nord" à Villemagne, ils recoupent les formations carbonatées de l'Aaléno-Bajocien. Les minéralisations stratiformes, de types variés, se localisent à divers niveaux : imprégnations barytiques plus ou moins plombo-zincifères dans les grès et conglomérats triasiques et dans les calcarénites dolomitiques de l'Hettangien inférieur ; nodules, petits amas ou couches barytiques dans les dolomies secondaires ou pénecontemporaines de l'Hettangien inférieur et supérieur et dans les dolomies quartzzeuses du Carixien ; géodes et amas à quartz, sulfures de plomb et/ou de cuivre et barytine à divers niveaux de l'Hettangien et enfin, amas stratoïdes plombo-zincifères dans les calcarénites dolomitiques bajociennes, au Bleymard.

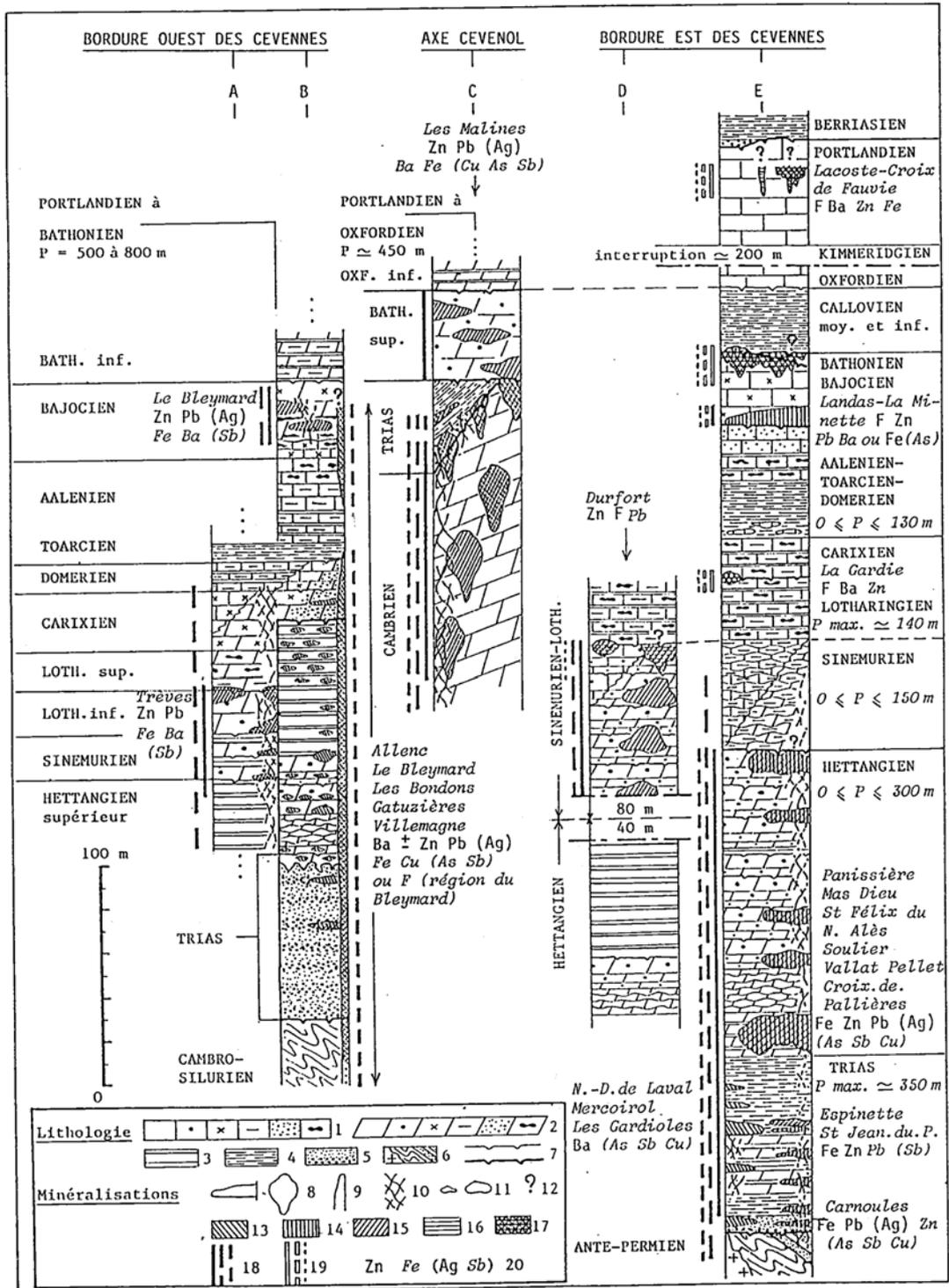
Seuls les filons de Villemagne et les amas du Bleymard, soit respectivement 50 000 t Pb + Zn (+ 30 000 t non exploitées) et 65 000 t Pb + Zn, avec un rapport Zb/Pb voisin de 2 et 25 t d'Ag dans les deux cas, ont jadis présenté un intérêt économique.

Sur la bordure S des Cévennes (fig. 1 et 2B), des indices plombo-zincifères existent dans l'Hettangien inférieur et le Lotharingien du flanc W du seuil cévenol ainsi que dans le Trias basal et le Sinémurien-Lotharingien du flanc E. Sur ce même flanc, des concentrations d'importance variable, de type amas stratoïde ou sécant, ont été exploitées ou reconnues par travaux miniers dans le Bajocien (St Hippolyte-du-Fort, Zn-Pb), dans le Bathonien (les Avinières, les Deux-Jumeaux et Sumène, Fe-Zn-Pb fortement oxydés) et à la base du Portlandien (Bois Madame, Zn-Pb). Mais c'est dans l'axe du seuil cévenol que se situent les plus fortes concentrations, celles du district des Malines (Sanguinède, Montdardier et les Malines, s.s.) soit environ 800 000 t Pb + Zn et 200 t Ag (fig. 3C).

Ces concentrations se répartissent principalement dans les calcarénites dolomitiques du Bathonien supérieur (environ 400 000 t), en amas stratoïdes Zn-Pb fortement oxydés, et dans les dolomies et dolomito-schistes du substratum cambrien

FIG. 3 - DISTRIBUTION SPATIALE DES MINERALISATIONS Zn Pb Ag Fe F ET/OU Ba
A LA PERIPHERIE DES CEVENNES

1. calcaires : fins - fins à grossiers à pellets, bioclastes, lithoclastes et/ou oolithes - grossiers à entroques - fins, argileux - plus ou moins chargés en quartz et feldspaths - à chailles.
2. mêmes faciès dolomitiques.
3. dolomies pénecontemporaines.
4. formations argileuses (argilites, siltites, shales ou marnes).
5. grès et conglomérats.
6. granites - formations schisto-gréseuses - grès, schistes et charbons.
7. discontinuité mineure ou majeure (avec ou sans discordance).
8. lentille ou amas.
9. filon.
10. minéralisation fissurale.
11. minéralisation disséminée (mouches, nodules, petites cavités) ou petits amas.
12. rapports avec le toit inobservable ou non précisés.
13. barytine.
14. pyrite.
15. blende et galène.
16. fluorine.
17. exemple (13+15+16).
18. M1a, M2a et M3a (voir texte).
19. M1b, M2b et M3b.
20. constituant principal ou secondaire, majeur ou en faible teneur ().



(environ 350 000 t), en amas Pb-Zn + Ba généralement sécants ; ces derniers étant répartis sur plus de 200 m sous le contact socle-Trias et pouvant affecter les formations triasiques surincombantes (conglomérats dolomitiques ou dolarénites de l'Aniso-Ladinien ou marnes noires du Carnien). Le reste de la minéralisation se répartit en imprégnation ou en remplissage de fissures, dans le socle et dans le Trias (conglomérats dolomitiques, dolarénites et lentilles dolomitiques intercalées dans les marnes carniennes), ainsi qu'en ciment d'une brèche tectonique (la brèche de "Florence") d'âge post-hettangien (A. BERNARD, 1958 ; J.-C. MACQUAR, 1968 ; J.-J. ORGEVAL, 1976 ; G. VERRAES, 1979 et 1983 ; F. FOGLIERINI *et al.*, 1980).

La plupart des amas sont allongés et alignés suivant des fractures N-S à NE-SW et les plus fortes teneurs des minéralisations disséminées ou fissurales se répartissent suivant cette même direction. Seule la répartition de la barytine semble contrôlée, au moins partiellement, par la fracturation W-E.

A l'autre extrémité des Cévennes, la minéralisation Pb-F du Mas de l'Ayre (fig. 1), constituant le ciment des grès et conglomérats du Trias directement recouverts par des calcarénites à entroques de l'Aaléno-Bajocien, occupe une situation comparable à celle des Malines : dans l'axe du seuil cévenol et le long d'un grand accident W-E.

Sur la bordure E des Cévennes, c'est-à-dire entre St Hippolyte-du-Fort et les Vans, les minéralisations se répartissent principalement selon une étroite bande allongée NNE-SSW sur une trentaine de kilomètres et approximativement centrée sur Alès (fig. 1) ; les concentrations les plus importantes étant : La Croix-de-Pallières (100 000 t Zn + Pb et 25 t Ag), Carnoulès (environ 50 000 t Pb et 60 t Ag), le Soulier (environ 1 Mt de pyrite à 1% Zn exploitées + 1,5 Mt reconnues) et le district de Landas (n x 100 000 t de fluorine et n x 10 000 t Zn).

Plus au Nord, des minéralisations de moindre importance apparaissent jusqu'à la faille de Bordezac, dans le Trias (Fe et/ou Ba) et l'Hettangien (Fe-Zn-Pb). Au-delà, les minéralisations s'expriment exclusivement dans le Trias, avec notamment le gisement de Largentière (450 000 t Pb + Zn et 800 t Ag).

Sur cette bordure, le tronçon le mieux minéralisé correspond au domaine où la marge cévenole est bordée par des horsts vivants durant la sédimentation du Trias et du Jurassique. Les concentrations se répartissent essentiellement à l'aplomb et sur la bordure W de ces horsts (fig. 2), à divers niveaux, du Trias au Portlandien (fig. 3D et 3E).

Dans le Trias, les minéralisations se présentent en ciment des grès et conglomérats de base aniso-ladiniens, en lentilles dans les formations marno-dolomitiques ladino-carniennes ou en remplissage de fissures à divers niveaux, voire même localement, dans le socle. Elles sont, soit barytiques (N.-D. de Laval, Mercoïrol, les Gardioles), soit pyriteuses et plombo-zincifères, à dominante Pb dans les grès (Carnoulès) et Zn dans les faciès marno-dolomitiques (Espinette, St Jean-du-Pin). Les corps minéralisés sont fréquemment développés le long d'accidents N-S à NNE-SSW (ex.: les Gardioles ou Carnoulès) ou NW-SE à W-E (ex.: St Jean-du-Pin) ou encore à la croisée de deux (ex.: Espinette) (A. BERNARD, *op. cit.* ; F. RECROIX, 1981 ; A. ALKAABY *et al.*, 1985 ; M. AUBAGUE *et al.*, 1988).

Dans l'Hettangien (qui inclut à sa base les faciès dolomitiques du Rhétien) les minéralisations, également pyriteuses et plus ou moins plombo-zincifères, se présentent en lentilles ou en amas généralement stratoïdes, à différents niveaux mais avec une nette prédilection pour la base de la série. C'est en effet là que se situe l'amas principal Zn-Pb-Fe de la Croix-de-Pallières, les amas Fe(Zn) du Soulier, la partie E de l'amas Fe-Zn de St Félix, une partie des amas Fe oxydés du Vallat-Pellet, la lentille pyriteuse de Panissière, l'amas Zn-Pb du Mas Dieu... et d'autres encore (A. BERNARD, *op. cit.* ; R. LEENHARDT, 1972 ; R. LEBAS, 1985 ; M. AUBAGUE *et al.*,

1988). Certains amas sont accolés à la surface d'érosion qui couronne l'Hettangien (le Soulier, St Félix) ; par contre, aucune minéralisation de ce type n'a été signalée dans les formations marno-calcaires surincombantes, qu'il s'agisse du Sinémurien ou du Lotharingien, dolomitisé ou silicifié. Les corps minéralisés de l'Hettangien sont généralement allongés et alignés le long de failles NNE-SSW mais peuvent également se répartir suivant des accidents WNW-ESE (vallée de l'Auzonnet). Enfin, une minéralisation fissurale recoupe l'ensemble de la série hettangienne ainsi que les corps minéralisés ; elle n'a jamais été observée dans le Sinémurien au Nord d'Alès alors qu'elle affecte celui-ci au Sud.

Dans le Sinémurien, des minéralisations Zn-Pb-F de type amas stratoïdes ou sécants apparaissent à l'extrémité S de la bordure E cévenole, dans la région de Durfort où les faciès présentent un net cachet caussenard. Les différents corps (La Grande Vernissière, La Coste, Cazalis, Cabane) sont portés par une formation de 150 m composée de calcaires fins et de calcarénites oolithiques et bioclastiques organisés en séquences de comblement couronnées par des surfaces d'émergence. Cette formation, qui peut être entièrement dolomitisée, est recouverte par 50 m de marno-calcaires à chailles encore sinémuriens à leur base, lotharingiens ensuite (M. PERRISSOL et S. GUERIN-FRANIATTE, 1985). Connus sur une hauteur de 120 m sous le contact des calcaires à chailles, les amas sont principalement associés à des accidents subméridiens. En profondeur, la blende et la galène subordonnée prédominent tandis que la fluorine se cantonne à la partie supérieure de la formation, que celle-ci soit calcaire ou dolomitique. La minéralisation s'exprime en imprégnation des sédiments de cavités, en ciment de brèches et de fissures remaniant ceux-ci ainsi qu'en remplissage de fractures sécantes sur les amas (M. PERRISSOL, inédit). Enfin, à la Grande Vernissière, la partie supérieure d'un amas allongé E-W se développe dans les premiers bancs des calcaires à chailles.

Dans le Bajocien, les minéralisations se répartissent à la base et au sommet d'une formation de calcarénites à entroques épaisse de quelques mètres à 80 m qui recouvre en discordance les horizons du Carixien au Toarcien. A la base de l'entroquite, se trouve la lentille pyriteuse de la Minette, puissante de 0 à 12 m, connue sur 500 m en direction (subméridienne) et 200 m en aval-pendage (vers l'W) (Archives Service des mines d'Alès ; B. RONDET, 1965 ; A. BERNARD, 1958). Au sommet du Bajocien, et affectant des placages de Bathonien ainsi que les premiers niveaux calloviens, se développent des amas allongés N100 et N10 (La Roque, La Minette, Landas). Au sein de ceux-ci, la minéralisation (fluorine, blende, galène subordonnée et barytine en fantômes) s'exprime selon des cavités et en remplacement de l'entroquite ainsi qu'en remplissage de fissures NE-SW et N-S.

Dans le Portlandien, la minéralisation, essentiellement à fluorine et barytine, est portée par des calcaires fins massifs à Saccocoma en Y et oncholites (Portlandien inf.). Il s'agit d'amas à net modelé karstique, contrôlés par une fracturation W-E, N-S et, accessoirement, N40 (La Croix-de-Fauvie, Mas Robert). La minéralisation s'exprime au sein de cavités et en remplacement des épontes ainsi qu'en remplissage de fractures NE-SW et N-S, à l'intérieur des amas ou à l'extérieur de ceux-ci (La Coste).

Au total, l'examen de la distribution d'ensemble des minéralisations révèle une grande dispersion verticale avec, cependant, une nette prépondérance des concentrations sous le Jurassique supérieur. A l'échelle d'un porteur, cette dispersion existe également mais on constate fréquemment un développement particulier des corps minéralisés à proximité de l'interface encaissant carbonaté-formation argileuse (argilites, marnes ou marno-calcaires), aussi bien au sommet qu'à la base du porteur. En outre, dans de nombreux cas, la minéralisation "chevauche" cet interface. Enfin, les corps minéralisés se répartissent le long de failles N-S à NE-SW et W-E à NW-SE.

Un tel constat joint à la mise en évidence d'analogies dans la composition minérale et dans les successions de dépôts des minéralisations, à l'intérieur d'un même gisement ou d'un même district ou d'un district à l'autre, conduit à envisager des regroupements et donc à limiter le nombre d'épisodes métallogéniques.

DISTRIBUTION TEMPORELLE DES MINERALISATIONS

L'étude de différentes concentrations montre que celles-ci sont pratiquement toujours constituées par deux ou trois types de minéralisation :

- le premier type (M1) qui constitue l'essentiel des amas et des lentilles est formé par des imprégnations de sédiments de cavités et/ou de roches encaissantes auxquelles sont associés des faciès rubanés ; il se caractérise par le développement des agrégats fibroradiés, particulièrement pour les sulfures de fer et de zinc et pour la barytine, la fluorine s'exprimant plutôt en cristaux zonés et en rubans prismés (faciès palissadiques).

- les deux autres types (M2 et M3) se caractérisent par des constituants qui présentent généralement une nette tendance à l'automorphisme et qui s'expriment en remplissage de géodes, veines, fissures ou fractures, à l'intérieur du volume minéralisé par M1 ou hors de celui-ci.

Des phénomènes de dissolution et/ou de recristallisation marquent les différentes étapes de minéralisation.

Deux exemples, pris l'un, au Malines dans les minéralisations situées sous le Bathonien (Tabl. I) et l'autre, à la Minette, au sommet du Bajocien (Tabl. II), illustrent plus en détail ces différentes étapes dans le cas de concentrations Zn Pb Fe (a), d'une part, et F (b), d'autre part.

- M1a - dans la porosité des remplissages ou de l'encaissant = microsphérolites de blende en imprégnation ou récurrences de pyrite-galène à inclusions de sulfosels de Pb ;
- dans des vides = récurrences de galène (à inclusions de sulfosels de Pb) - schalenblende puis de galène - pyrite.
- Fracturation et dissolution suivie de...
- M2a - dans des géodes et des fissures = dolomite, quartz, marcasite, galène et blende - recristallisation des sulfures de M1.
- Fracturation et dissolution suivie de ...
- M3a - dans des géodes, fissures, fractures ou cavités = barytine, bournonite, marcasite, "cuivres gris", galène, quartz, barytine.

Tableau I - Types de minéralisation et successions aux Malines (sous le Bathonien), d'après J.-C. MACQUAR *et al.*, 1986.

M1b - dans les remplissages et leur encaissant = barytine remplacée par fluorine verte, en cristaux zonés à reliques du support, ou à faciès palissadique, et blende annelée \pm galène, puis dolomite ;
— Stylolitisation et silicification
M2b - dans des géodes ou de rares veines = fluorine grise puis blende \pm galène, puis marcasite, pyrite et dolomite - recristallisation des constituants de M1b ;
— Fracturation
M3b - dans des fissures et géodes = barytine et fluorine limpide \pm galène, puis calcite et barytine.
Tableau II - Types de minéralisation et successions à la Minette (sommet du Bajocien supérieur).

Sur la bordure W des Cévennes (fig. 3A et B), les minéralisations de type M1a constituent certaines expressions barytiques de l'Hettangien ainsi que les amas du Sinémurien-Lotharingien et du Bajocien. Leur mise en place s'est opérée en trois épisodes métallogéniques :

- un épisode hettangien supérieur dont l'âge est attesté par la déformation des dolomies laminées porteuses autour de nodules de barytine (Gatuzières, Les Bondons et surtout, plus à l'Ouest dans la région de Millau, Piquepoul - J.-C. MACQUAR, 1978 ; D. SAFARI, 1979) ;
- un épisode post-lotharingien inférieur et anté-carixien daté par le remaniement de rubans sulfurés dans des sédiments de cavités basculés lors de mouvements tectoniques fini-lotharingiens (Trèves - J.-C. MACQUAR et Ph. LAGNY, 1981) ;
- un épisode d'âge indéterminé, au plus tôt fini-bajocien (le Bleymard - B. BLOND, 1978).

Les minéralisations de type M2a sont rencontrées de l'Hettangien au Domérien basal, à Trèves et dans le Bajocien, au Bleymard. Les analogies de composition minéralogique jointes au caractère sécant de ces minéralisations militent en faveur de leur appartenance à un même événement métallogénique d'âge post-bajocien. Enfin, M3a qui constitue les filons et certains corps stratiformes situés en marge (géodes et amas à quartz, sulfures et barytine) correspond également à un événement post-bajocien.

Sur la bordure S (fig. 3C), M1a constitue l'essentiel des minéralisations contenues dans le socle et le Trias ; elle cimenter en partie la brèche tectonique post-hettangienne de Florence et forme probablement, à l'origine, les amas du Bathonien. Quant à M2a et M3a, elles ne sont présentes que sous le Bathonien.

Si l'on considère ce dernier fait connu significatif d'un âge anté-bathonien, M2a et M3a sont alors datées précisément (post-Bajocien au Bleymard et anté-Bathonien sup. aux Malines), et par voie de conséquence, les M1a se répartissent en deux épisodes métallogéniques, l'un post-hettangien et anté-bathonien, l'autre post-bathonien et anté-oxfordien selon M. LE GUEN et P.J. COMBES (1986). L'attribution à un seul épisode post-hettangien des M1 situées sous le Bathonien est fondée sur l'analogie des successions paragénétiques (voir tabl. I) dans l'ensemble des corps minéralisés du socle et du Trias, y compris la brèche de Florence (J.-C. MACQUAR *et al.*, 1986).

En revanche, si l'on considère l'absence de M2a-M3a dans le Bathonien comme non significative, l'âge de celles-ci devient alors indéterminé, de même que celui des M1 situées sous le Bathonien.

Sur la bordure E (fig. 3D et E), les analogies d'ordre morphologique, paragenétique et structurale constatées pour les M1b, M2b et M3b (voir tabl. II) qui constituent les corps minéralisés situés au contact Lotharingien-Carixien (La Gardie), dans le Bajocien (La Minette, Landas...) et dans le Portlandien (fig. 3E) conduisent à envisager des circulations synchrones, canalisées par différents contacts stratigraphiques = discordances infra-carixienne, infra-bajocienne, surfaces d'inconformité au sommet du Bajocien et du Portlandien. La mise en place de ces minéralisations résulterait d'un épisode métallogénique ou de trois épisodes successifs d'âge fini-à post-portlandien.

Pour ce qui concerne les minéralisations localisées dans le Trias et l'Hettangien, exception faite des barytines stratiformes (Les Gardioles, Mercoïrol..) qui pourraient correspondre à un épisode triasique (F. RECROIX, 1981), l'analogie des compositions minérales et des successions (de type M1a, M2a, M3a) conduit à regrouper l'ensemble et à lui attribuer un âge post-Hettangien (M. AUBAGUE *et al.*, 1982); certains amas de l'Hettangien (le Soulier, St Félix) étant en effet postérieurs à des mouvements tectoniques d'âge fini-hettangien (R. LEBAS, 1984; M. AUBAGUE *et al.*, 1988). M1a n'ayant pas été observé dans les marno-calcaires sinémuriens surincombants cela conduit à envisager l'hypothèse d'un âge anté-sinémurien, hypothétique en raison de l'absence d'information précise sur les contacts entre amas et toit sinémurien ou lotharingien. Quant à M2a, qui pourtant n'affecte pas non plus le Sinémurien au Nord d'Alès, il est à l'évidence post-sinémurien au Sud; et M3a l'est également *a fortiori*, bien que cantonnée aux minéralisations du Trias et de l'Hettangien.

Enfin, dans le Sinémurien de Durfort (fig. 3D), les mêmes successions de type M1a-M2a, auxquelles s'ajoutent là plus ou moins de fluorine, se retrouvent dans les différents amas, y compris celui qui affecte la couverture marno-calcaire à chailles - l'ensemble correspondrait donc à deux épisodes métallogéniques post-sinémuriens. Quant à M3, elle est de type b et pourrait, par assimilation au district de Landas, être considérée comme post-portlandienne.

CONCLUSION

Antérieurement aux compressions N-S d'âge crétacé supérieur à éocène supérieur et au plus tôt à la fin du Portlandien, les minéralisations $F \pm Ba, Zn, Fe$ (M1b, M2b, M3b) se mettent en place sur la bordure E des Cévennes. Principalement concentrées dans le Portlandien (La Croix-de-Fauvie, Lacoste) et le Dogger (La Roque, La Minette, Landas), elles apparaissent plus discrètement à la limite Carixien-Lotharingien (La Gardie), voire même dans le Sinémurien (M3b de Durfort).

Antérieurement à l'Oxfordien, des minéralisations Fe, Zn, Pb en lentilles et amas (M1a) intéressent l'ensemble du domaine péri-cévenol. Elles se mettent en place en deux épisodes principaux: l'un post-hettangien et anté-carixien; l'autre, post-bajocien et anté-oxfordien. Au premier se rapportent les concentrations de Trèves et au second, celles du Bleymard, des Malines (Bathonien), des Avinières, de Sumène et de St Hippolyte-du-Fort. Quant aux concentrations des Malines (socle-Trias) de Durfort et de la région d'Alès (Trias-Hettangien), elles peuvent être rapportées à l'un ou à l'autre.

En ce qui concerne les minéralisations fissurales et filoniennes (M2a et M3a), deux possibilités doivent être envisagées en fonction de la signification que l'on accorde à leur absence au-delà du Bajocien: si l'on en fait un critère de datation, M2a et M3a prennent place à la limite Bajocien-Bathonien; dans le cas contraire, leur âge est indéterminé et une mise en place post-jurassique est

envisageable. Cette éventualité est tout particulièrement suggérée par l'orientation W-E à NW-SE des filons de la bordure W des Cévennes dont la mise en place pourrait être consécutive aux distensions NE-SW d'âge crétacé inférieur qui précèdent l'ouverture du Golfe de Gascogne.

Enfin, des minéralisations barytiques se forment au cours de l'Hettangien (certaines expressions stratiformes en marge des filons de la bordure W), et semble-t-il, du Trias (bordure E).

Au total, l'essentiel des minéralisations Fe Pb Zn se met en place au cours des distensions téthysiennes avec, peut-être, une nette prépondérance à la fin de celles-ci.

Quant aux minéralisations F⁺ Ba, Zn, Fe, elles pourraient, comme les filons Ba⁺ Pb, Zn, Cu (et F), être associées aux distensions "atlantiques".

L'ensemble des minéralisations péri-cévenoles résulterait donc, pour l'essentiel, d'un nombre limité d'événements métallogéniques d'ampleur régionale.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALKAABY A., LEBLANC M. & PERRISSOL M. (1985).- Minéralisation diagénétique précoce (Pb-Zn-Ba) dans un environnement détritique continental : cas du Trias de Carnoulès (Gard, France).
C. R. Acad. Sci., t. 300, sér. II, p. 919-922.
- AUBAGUE M. & LEFAVRAIS-RAYMOND A. (1974).- Lias et Dogger de la bordure cévenole (retombée orientale du dôme de Gornières). Implications paléogéographiques.
Bull. B.R.G.M., 2e sér., sect. I, n° 2, p. 49-64.
- AUBAGUE M., L'HOMER A. & SUREAU J.-F. (1982).- Recherche de guides de prospection pour les gîtes Pb-Zn liés aux strates en environnement dolomitique. Exemple des gîtes de Bois Madame (Hérault), La Croix-de-Pallières (Gard) et Figeac (Lot).
Chron. Rech. min., n° 466, p. 41-59.
- AUBAGUE M., COUMOUL A., LEBAS R. & MACQUAR J.-C., collab. SUREAU J.-F. (1988).- Géologie des concentrations Fe-Zn-Pb de l'Hettangien du horst de Rochebelle-Fontanes (bordure cévenole, secteur Nord-Alès, Gard, France).
Chron. Rech. min., n° 491 (à paraître).
- BAUDRIMONT A.F. & DUBOIS P. (1977).- Un bassin mésogéen du domaine péri-alpin : le Sud-Est de la France.
Bull. Centre Rech. Expl. Prod. Elf-Aquit., vol. 1, n° 1, p. 261-208.
- BERNARD A.J. (1958).- Contribution à l'étude de la province métallifère sous-cévenole.
Thèse Doct. ès-Sci., Ecole nat. sup. Géol. appl. Prosp. min. Nancy, 640 p. et *Sci. Terre*, vol. 7, n° 3-4, p. 123-403 (1959-60).
- BERNIER P., MACQUAR J.-C., MICHAUD J.-G., PALUT J.-P. & ZISERMAN A. (1970).- Contribution à la recherche de gisements métallifères cachés (district des Malines, Cévennes).
Bull. B.R.G.M., 2e sér., sect. II, n° 1, p. 1-97.
- BLOND B. (1978).- Minéralisations (Ba, Pb, Zn) stratiformes et filoniennes du Mésozoïque (Lias et Dogger) de la région du Bleynard (Lozère).
Thèse Doct. 3e cycle, Géol. appl., PARIS VI, 287 p., inédit.
- BOILLOT G., MONTADERT L., LEMOINE M. & BIJU-DUVAL B. (1984).- Les marges continentales actuelles et fossiles autour de la France.
Masson éd., 1 vol., 342 p.
- ELMI S., collab. DROMART G., GALIEN F. & TALBI D. (1984).- Les contrôles de la structuration précoce de la bordure vivaro-cévenole (Hettangien à Oxfordien).
In : Prog. Géol. prof. Fr., thème 11 - subsidence et diagenèse (Ardèche).
Doc. B.R.G.M. n° 81-11, p. 1-22.
- FOGLIERINI F., BERNARD A.J. & VERRAES G. (1980).- Le gisement des Malines (Gard) ; Zn, Pb.
Publ. 26e Congr. géol. intern., coll. "Gisements français", fasc. 5, 56 p.
- LAGNY Ph. LECOLLE P. & MACQUAR J.-C. (1981).- Dolomitisation antécédente aux minéralisations Pb Zn "sous inconformité" des séries de plates-formes carbonatées épicontinentales : exemple du gisement de Trèves (Gard, France). Modalités, chronologie, genèse, rôle métallogénique.
Bull. B.R.G.M., 2e sér., sect. II, n° 4, p. 223-256.
- LEBAS R. (1984).- Les minéralisations sulfurées et oxydées à Fe-Zn (Pb) de l'Hettangien de la bordure occidentale du horst de Rochebelle-Fontanes (Nord-Alès, Gard).
Thèse Doct. 3e cycle, Géol. appl., PARIS VI, 185 p., inédit.

- LEENHARDT R. (1972).- Le gîte plombo-zincifère de la Croix-de-Pallières.
Bull. B.R.G.M., 2e sér., sect. II, n° 3, p. 1-21.
- LE GUEN M. & COMBES P.J. (1986).- Typologie des minéralisations plombo-zincifères associées au Bathonien des Malines (Gard, France).
Coll. PIRSEM : "Facteurs de concentrations des matières premières minérales" Montpellier 1986 (à paraître).
- MACQUAR J.-C. (1968).- Contribution à l'étude géologique et métallogénique de la bordure méridionale des Cévennes. Le Trias de la région des Malines (Gard).
Thèse Doct. 3e cycle, Géol. appl., PARIS VI, 200 p., inédit.
- MACQUAR J.-C. (1973).- Evolution tectonique post-hercynienne du domaine péricévenol. Incidences sur les filons de couverture. Exemple des bordures ouest et sud des Cévennes.
Bull. B.R.G.M., 2e sér., sect. I, n° 1, p. 45-68.
- MACQUAR J.-C. (1976).- La modalité *per descensum*. Son applicabilité à certains filons de socle ou de couverture.
Mém. h. sér. Soc. géol. Fr., n° 7, p. 95-103.
- MACQUAR J.-C. (1978).- Les concentrations barytiques stratiformes de l'Hettangien supérieur des Causses. Une minéralisation en milieu margino-littoral dans un environnement évaporitique.
Sci. Terre, vol. XXII, n° 2, p. 113-126.
- MACQUAR J.-C. & LAGNY Ph. (1981).- Minéralisations Pb-Zn "sous inconformité" des séries de plates-formes carbonatées. Exemple du gisement de Trèves (Gard, France). Relations entre dolomitisation, dissolution et minéralisations.
Mineral. Deposita, vol. 16, p. 283-307.
- MACQUAR J.-C., MARINI D. & ROUVIER H. (1986).- Métallogénie post-triasique dans le district des Malines (Gard).
Coll. PIRSEM : "Facteurs de concentrations des matières premières minérales" Montpellier 1986 (à paraître).
- MICHARD A.G. & COUMOUL A. (1978).- La sédimentation liasique dans les Causses, contrôle des minéralisations en Zn-Pb associées au Lotharingien.
Bull. B.R.G.M., 2e sér., sect. II, n° 2, p. 57-120.
- MICHAUD J.-G. (1976).- Démarches et étapes dans la reconnaissance du gisement de Trèves, Gard (France méridionale).
Mém. h. sér. Soc. géol. Fr., n° 7, p. 339-345.
- MICHAUD J.-G. (1980).- Gisements de plomb-zinc du Sud du Massif Central français (Cévennes-Montagne Noire) et caractéristiques géologiques de leur environnement.
26e Congr. géol. inter. Paris, exc. 204 : Bull. Cent. Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquit., Mém. 3, p. 335-380.
- ORGEVAL J.-J. (1976).- Les remplissages karstiques minéralisés : exemples de la mine des Malines (Gard).
Mém. h. sér. Soc. géol. Fr., n° 7, p. 77-85.
- PERRISSOL M. & GUERIN-FRANIATTE S. (1985).- Le Lias inférieur cévenol : nouvelles observations lithologiques et biostratigraphiques entre Alès et Sumène (Gard).
110e Congr. Soc. Sav., Montpellier, fasc. I, p. 9-19.

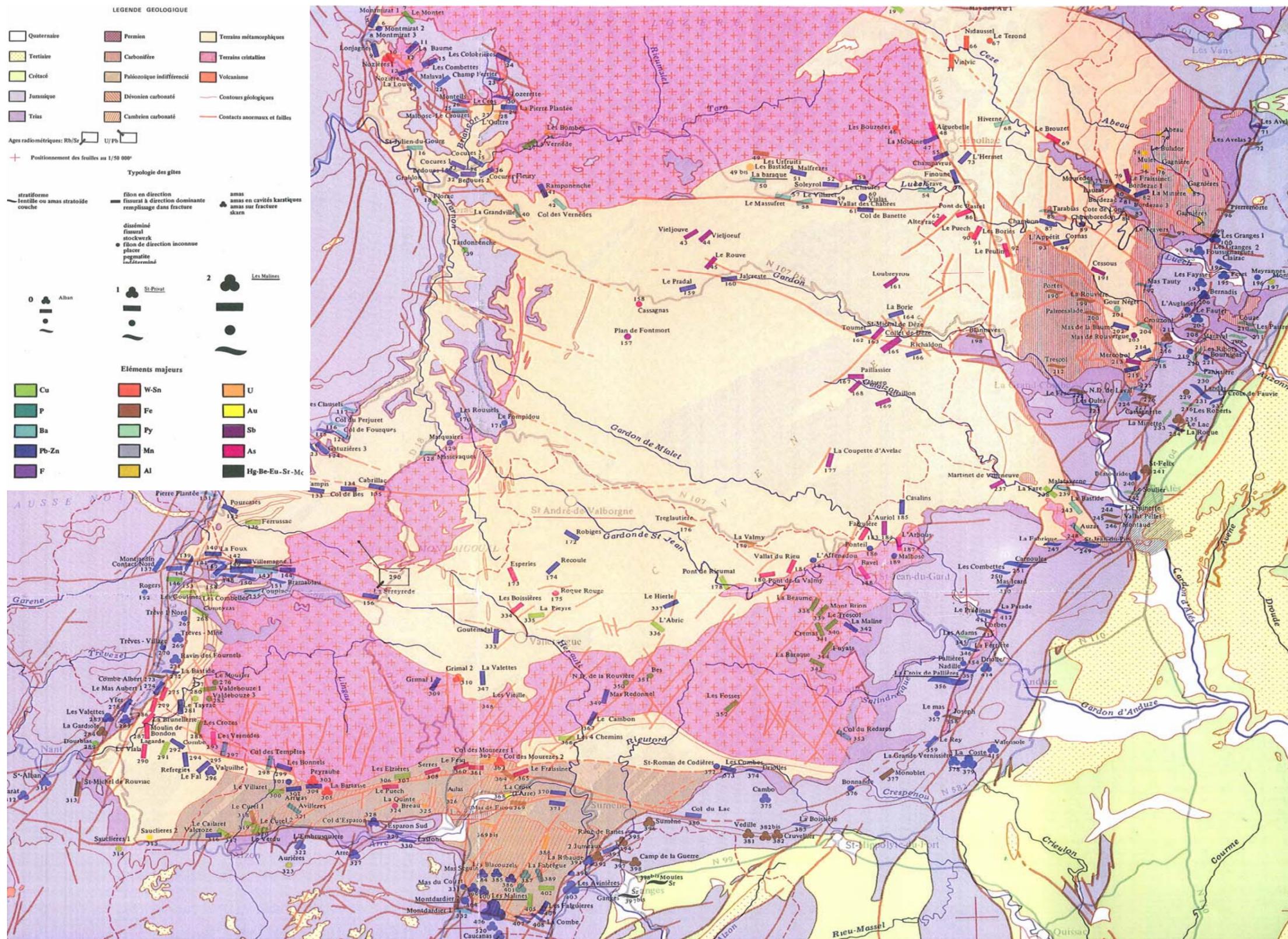
- RECROIX F. (1981).- Etude géologique et métallogénique du bassin triasique d'Alès : sédimentologie, paléogéographie ; relations des minéralisations avec les ombilics de subsidence à évaporites et les structures positives à séries réduites.
Thèse Doct. 3e cycle, Géol. appl. PARIS VI, 214 p., inédit.
- RONDET B. (1965).- Rapport concernant les minéralisations en fluorine dans la couverture sédimentaire du bassin d'Alès.
Rapp. Dir. Mines Péchiney-St Gobain, inédit.
- SAFARI D. (1979).- Contribution à l'étude des minéralisations barytiques (Pb, Zn, Cu) du Lias de la bordure orientale des Causses : la région des Bondons au Nord de Florac (Lozère).
Thèse Doct. 3e cycle, Géol. appl. PARIS VI, 312 p., inédit.
- VERRAES G. (1979).- Contribution à l'étude de la province métallogénique sous-cévenole. Les gîtes de Pb-Zn de Montdardier, la Sanguinède et 102. District des Malines (Gard, France).
Thèse Doct. Univ., Montpellier, 269 p., inédit.
- VERRAES G. (1983).- Etude monographique du district minier des Malines et de ses environs (province sous-cévenole, France).
Thèse Doct. ès-Sci., Univ. Montpellier, 591 p., inédit.

Annexe 3

Extrait de la carte des gîtes minéraux de la terminaison méridionale du Massif Central

Carte présente dans l'ouvrage « Les Gîtes minéraux de la terminaison méridionale du massif central et de sa bordure languedocienne (essai de synthèse) ». Bulletin du Bureau des Recherche Géologiques et Minières, Deuxième série, Section II, N°3, Géologie des gîtes minéraux

M. Aubagne, J.J. Orgeval, M. Soulie et al. (1977)



Annexe 4

Cartographies de la répartition géographique des concentrations en Pb, Zn, As et Cd et représentations graphiques des distributions des concentrations par commune

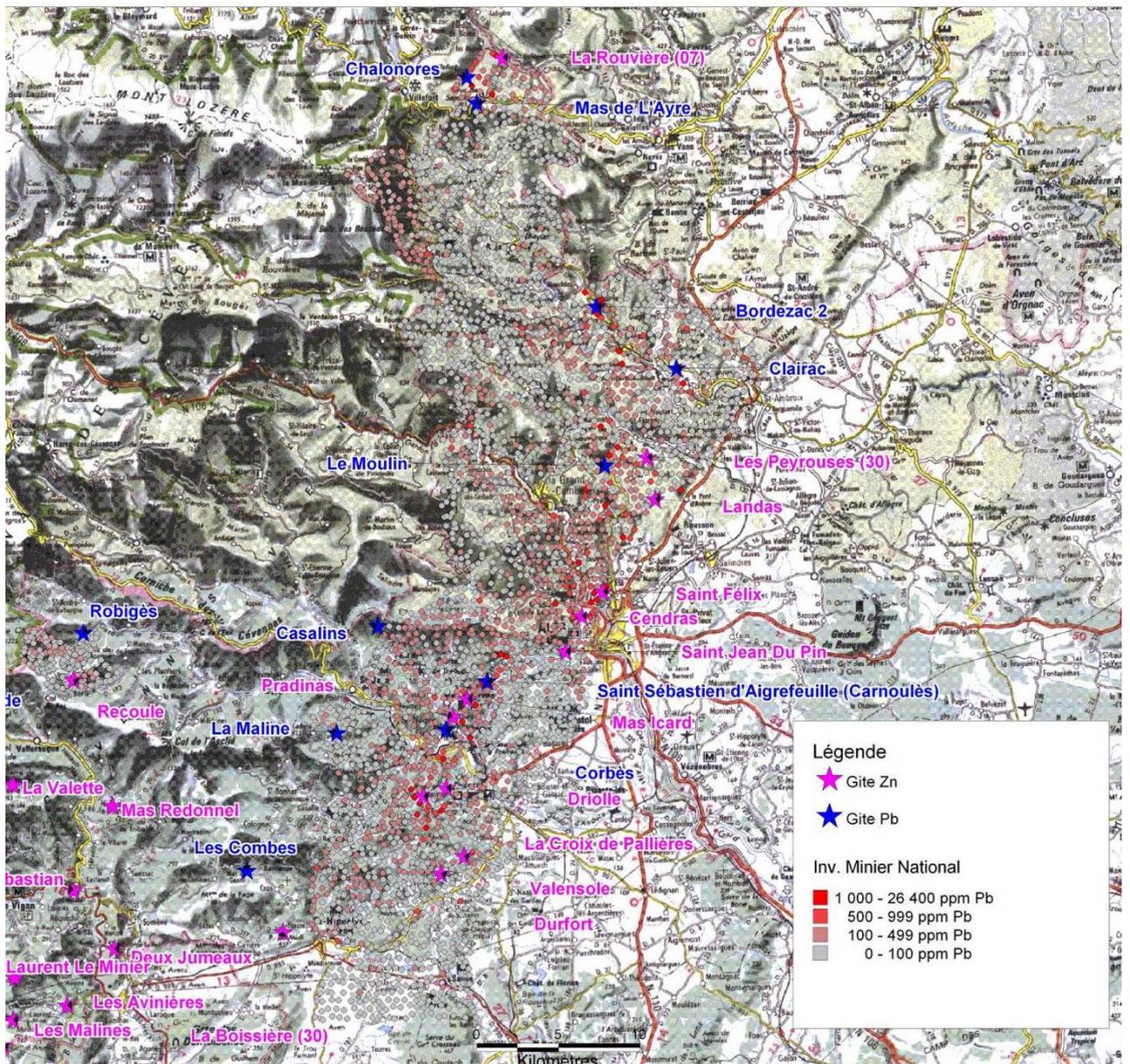


Fig. A4-1 : Répartition géographique des concentrations en Pb dans le Gard (30) sous fond de carte IGN 1/250 000ième (données BRGM de l'Inventaire Minier National)

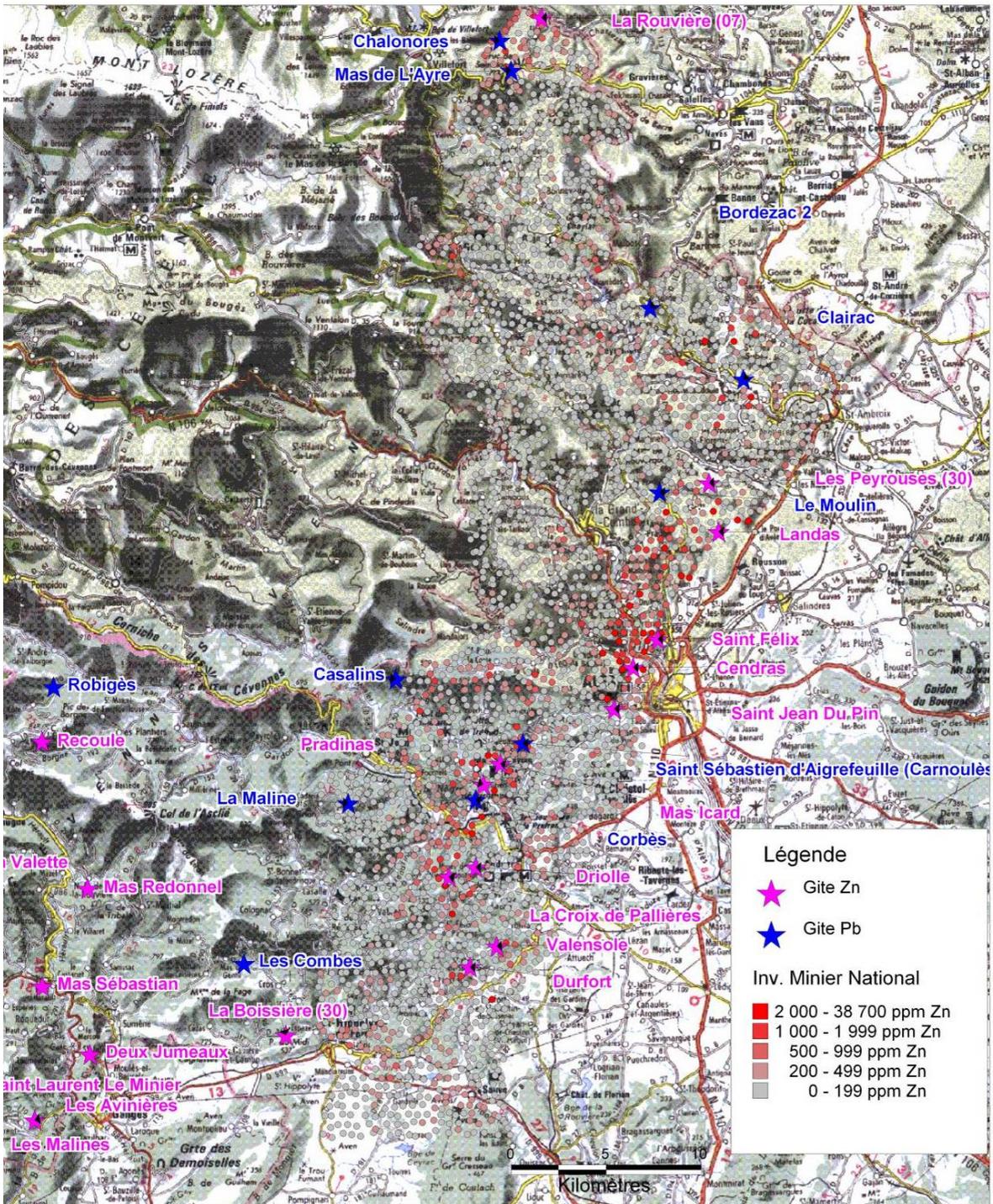


Fig. A4-2 : Répartition géographique des concentrations en Zn dans le Gard (30) sous fond de carte IGN 1/250 000ième (données BRGM de l’Inventaire Minier National)

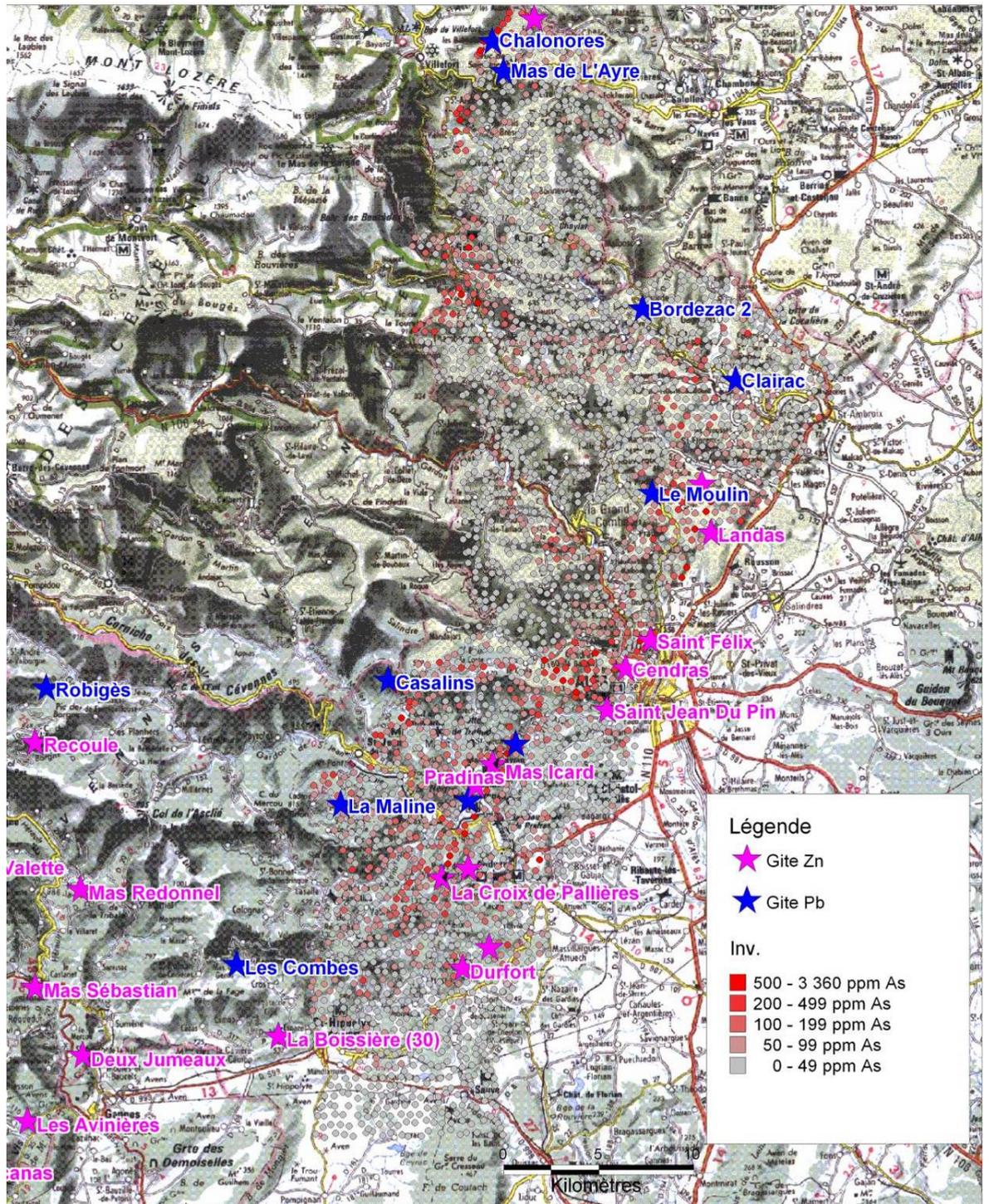


Fig. A4-3 : Répartition géographique des concentrations en As dans le Gard (30) sous fond de carte IGN 1/250 000ième (données BRGM de l'Inventaire Minier National)

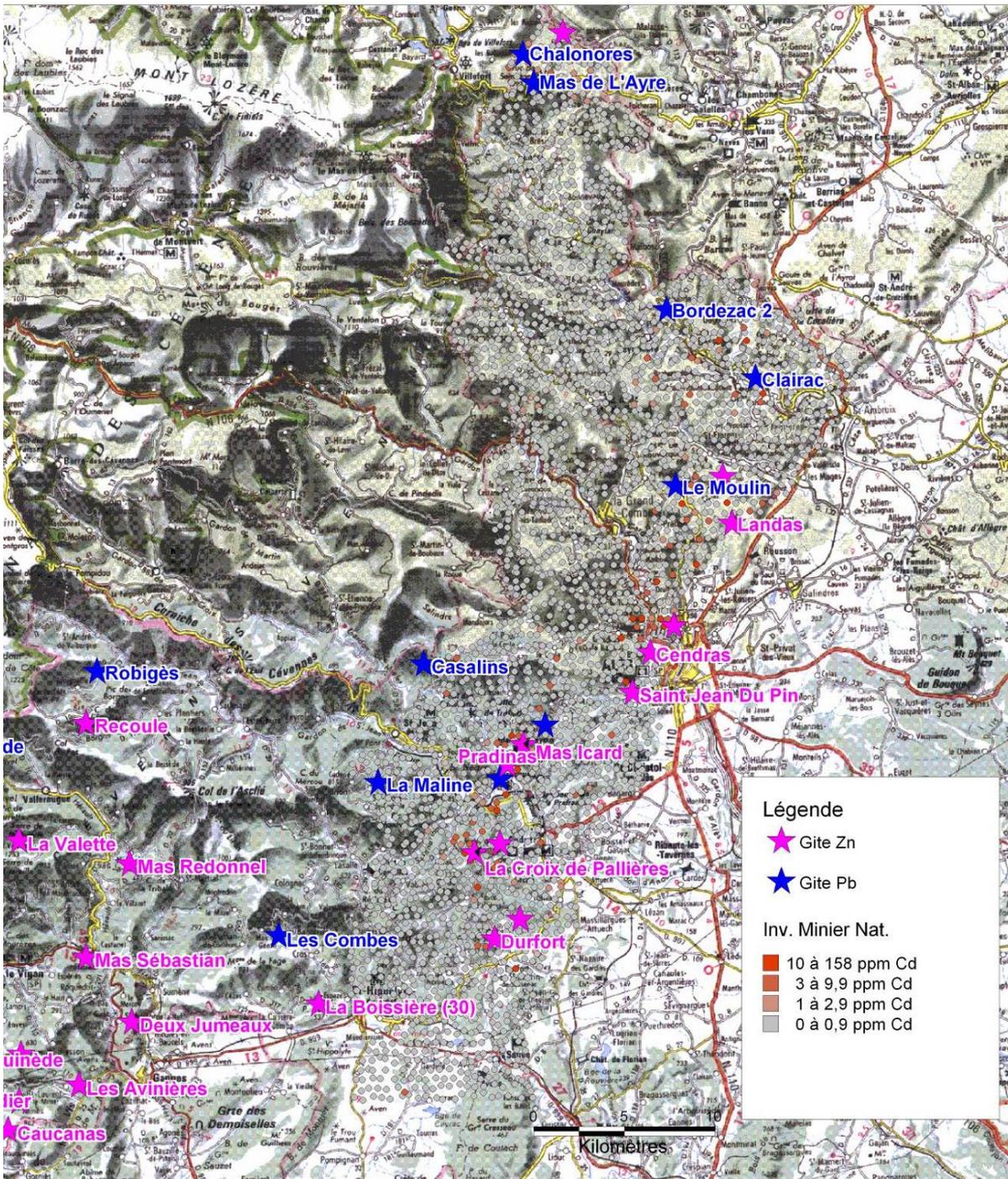


Fig. A4-4 : Répartition géographique des concentrations en Cd dans le Gard (30) sous fond de carte IGN 1/250 000ième (données BRGM de l’Inventaire Minier National)

Annexe 5

Géor@ppports BRGM des communes d'Alzon, d'Arrigas et Saint-Roman-de-Codières



Document Acrobat



Document Acrobat



Document Acrobat



**Centre scientifique et technique
Service Environnement et Procédés**
3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34