

Document public

**Caractérisation des pollutions
potentielles relatives aux sites
miniers du territoire français
métropolitain**

Rapport final

BRGM/RP-52816-FR
janvier 2004

Document public

Caractérisation des pollutions potentielles relatives aux sites miniers du territoire français métropolitain

Rapport final

BRGM/RP-52816-FR

janvier 2004

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2003 - 03DEPY01

C. Greffié

Avec la collaboration de

D. Artignan, Y. Deschamps, Y. Itard

Mots clés : Après mine, typologie, métaux, polluant, minéralogie, risque, environnemental, base de donnée, inventaire, France.

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

Greffié C., Artignan D., Deschamps Y. et Itard Y. (2004). Caractérisation des pollutions potentielles relatives aux sites miniers du territoire français métropolitain, Rapport final. BRGM/RP-52816-FR, 55 p., 2 fig., 7tabl., 4 ann.

© BRGM, 2003, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Les travaux miniers ont généré au cours des siècles des résidus, en quantité et qualité variable selon les époques et les substances recherchées, susceptibles d'engendrer des impacts négatifs sur les écosystèmes. Etant donné la difficulté d'obtenir une caractérisation quantitative exhaustive pour chaque site minier, certains ayant été exploités depuis plusieurs siècles, cette étude, réalisée dans le cadre des opérations de Service Public 03DEPY01 « Développements méthodologiques pour applications dans le secteur de l'après-mine » avait pour objectif de réaliser une synthèse des risques génériques liés aux principales substances exploitées sur le territoire français métropolitain en se limitant dans un premier temps aux impacts chimiques sur l'environnement (instabilité des terrains non compris).

Une typologie des situations d'après-mine a été réalisée à partir des informations contenues dans la base « Inventaire des ressources minières du territoire métropolitain » (Deschamps *et al.*, 2002) sur quelques 300 gisements exploités de manière significative ou ayant fait l'objet de travaux d'exploration avancés. Les substances minérales considérées correspondent à l'ensemble des minerais métalliques, les combustibles solides (charbon, lignite) ainsi que la barytine et la fluorine. Les substances fer et charbon ont été abordées mais n'ont pas fait l'objet de recherche détaillée dans le cadre de cette étude.

L'ensemble des informations recueillies sur ces différents sites miniers a été regroupé dans une base de données unique dont l'architecture permet de préserver l'intégrité des données source et de travailler aussi bien au niveau générique (par groupe de gîtes, par substance exploitée,...) qu'au niveau d'un gisement précis.

La typologie adoptée est basée sur une expertise tant gîtologique, que minéralogique et géochimique. Elle a permis, en se basant sur les descriptions factuelles des gîtes, de définir, pour chaque groupe les minéraux les plus abondants et les minéraux accompagnateurs, les éléments chimiques potentiellement toxiques fréquents ou occasionnels. Ces informations, réunies sous forme de fiches, permettront pour n'importe quel site minier ou région minière, d'avoir immédiatement une liste des polluants potentiels à rechercher (suivi de la qualité des eaux et des sols, plans de prévention des risques miniers,...).

Cette approche est donc statistique et basée sur la connaissance plus ou moins détaillée dont nous disposons à ce jour sur les 330 sites miniers français considérés. Sa valeur prédictive n'est à l'heure actuelle pas extrapolable à des types de gisements non recensés ou à d'autres régions métallogéniques.

La confrontation entre les résultats préliminaires de cette étude et les informations disponibles sur les résidus miniers (Thomassin *et al.*, 2001) permet de démontrer la pertinence de la méthode mise en œuvre. Ce projet a été conçu pour être évolutif et pourra, à plus long terme, s'intéresser à d'autres territoires (DOM, Europe, ...) et conduire à des études intégrées prenant en compte d'autres niveaux d'information (fond géochimique, hydrographie, topographie) à travers une base de données plus spécifique (type Infobase, SIG Europe environnement) pour préciser et affiner les impacts « au cas par cas ».

Sommaire

1. Introduction	7
2. Méthodologie	9
2.1. Approche générique	9
2.2. Collecte, harmonisation et codages des données disponibles	10
2.3. La base de données	11
3. Résultats	13
3.1. La typologie	13
3.2. Caractéristiques minéralo-chimiques des types de gisements et éléments polluants potentiels associés	18
3.2.1. Choix des polluants	18
3.2.2. Contenu en polluants des minerais	18
3.3.3. Acidité et contenu en sulfates des effluents	31
3.3.4. Contenu en polluants des résidus miniers et validation de la méthode	33
4. Conclusion	35
Références bibliographiques	37
Annexes	39

Liste des tableaux

Tableau 1 : Unités utilisées pour quelques substances.....	10
Tableau 2 : Nombre de gîtes et indices miniers dans chaque type CD1	13
Tableau 3: Composition minéralogique et chimique <i>a priori</i> des différents codes (CD1) définis	14
Tableau 4 : Pourcentage de gîtes par type CD1, dans lesquels le polluant est présent sous une ou plusieurs formes minéralogiques.	19
Tableau 5 : Taux d'apparition des éléments polluants dans les différents codes CD1.	20
Tableau 6 : Contenu en sulfures pour chaque type CD1.....	31
Tableau 7 : Comparaison entre les polluants potentiels issus de l'information minéralo- chimique par code CD1, et les polluants analysés dans les résidus miniers	32

Liste des figures

Figure 1 : Structure de la base de données relationnelle	12
Figure 2 : Carte provisoire de la classification des gisements français	15

Liste des annexes

Annexe 1 : Gîtes et indices sélectionnés sur territoire français métropolitain	41
Annexe 2 : Fiche individuelle de renseignement - Exemple du gisement Au-Sb de la Lucette.	53
Annexe 3 : Occurrences minéralogiques dans les différents codes CD1	55
Annexe 4 : Taux d'apparition des éléments chimiques par code CD1	59

1. Introduction

Le territoire français métropolitain recèle de nombreuses occurrences minéralisées renfermant des substances variées telles que les métaux précieux (Bache, 1978 ; Bache *et al.*, 1982 ; Béziat et Coulomb, 1991 ; Béziat et Bornuat, 1995 ; Delille *et al.*, 1981 ; Moyroud *et al.*, 1979 ; Stolojan *et al.*, 1992), les substances énergétiques, les minéraux industriels (Lhégu, 1978 ; Lhégu et Walter, 1980), etc... Des travaux miniers plus ou moins avancés ont permis d'extraire au cours des siècles des quantités variées de minerai et de générer des résidus, susceptibles d'engendrer des impacts négatifs sur les écosystèmes se superposant aux processus de dispersion naturelle des éléments chimiques.

Etant donné la difficulté d'obtenir une caractérisation quantitative exhaustive pour chaque site minier, certains ayant été exploités depuis plusieurs siècles, cette étude avait pour objectif de réaliser une synthèse des risques génériques liés aux principales substances exploitées sur le territoire français métropolitain afin de permettre d'orienter les études relatives aux pollutions d'origine minière et surtout de définir les priorités d'action.

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet des opérations de Service Public 03DEPY01 « Développements méthodologiques pour applications dans le secteur de l'après-mine » qui a comme objectif global de renforcer les capacités d'expertise du BRGM dans le diagnostic des impacts des sites miniers, sur la santé, les biens et les écosystèmes (métaux, stabilité des terrains, etc.). Il s'agit d'établir une typologie des situations d'après-mine, d'identifier les principaux paramètres d'intérêt pour proposer un choix de techniques de réhabilitation en se limitant dans un premier temps aux risques de pollutions chimiques.

2. Méthodologie

2.1. APPROCHE GÉNÉRIQUE

En se basant sur l'Inventaire des ressources minières du territoire métropolitain (Deschamps *et al.*, 2002), les gîtes et indices retenus dans cette étude sont ceux ayant été exploités ainsi que ceux ayant fait l'objet de travaux d'exploration relativement avancés (travaux miniers lourds) en raison des perturbations (résidus, effluents, excavations) qu'ils ont pu ou pourront générer.

Cette étude, s'adressant plus spécifiquement aux substances concessibles (article 2 du code minier français), couvre l'ensemble des minerais métalliques, les combustibles solides (charbon et lignite) et deux minéraux industriels souvent en relation étroite avec les minerais métalliques, la fluorine (substance concessible) et la barytine (non concessible). Toutefois, les substances fer et charbon n'ont délibérément pas fait l'objet de recherche détaillée dans le cadre de cette étude du fait du caractère très disparate des données recueillies. En effet, les gisements de fer et de charbon sont renseignés, selon le paramètre concerné, soit à l'échelle du site d'extraction, soit à celle du bassin minier. La mise en adéquation de ces informations doit faire l'objet d'un travail très spécifique. Les indices et gîtes de sel et de potasse ont été répertoriés mais non traités ; l'étude de ces substances pourra faire l'objet d'une extension du projet.

La méthodologie générale a consisté à établir une typologie pour chaque substance, exploitée ou recherchée, qui soit adaptée à cette problématique environnementale. Une approche purement métallogénique n'aurait pas de sens puisque inutilisable par les non-géologues. La typologie est donc basée sur une expertise tant gîtologique que minéralogique et géochimique, dont la clé primaire est la substance principale exploitée/recherchée. Toute classification est par définition imparfaite, mais elle est nécessaire pour palier au manque d'information sur bon nombre de sites. Elle permet une approche générique qui permettra, dans un second temps, d'orienter des études plus spécifiques comme les Plans de Prévention des Risques Miniers (PPRM).

Sur la base des informations factuelles contenues dans la base sont définis, pour chaque type, les minéraux les plus abondants et les minéraux accompagnateurs, les éléments chimiques potentiellement toxiques fréquents ou occasionnels, les substances exploitées en sous-produits. Pour chaque type, les risques potentiels ainsi mis en évidence permettront d'orienter les études d'impacts et, si besoin, d'avancer les techniques les mieux adaptées (MTD, meilleures techniques disponibles) pour y remédier.

2.2. COLLECTE, HARMONISATION ET CODAGES DES DONNEES DISPONIBLES

Un premier travail de recensement des données disponibles concernant le territoire français métropolitain a été réalisé. C'est à partir des bases de données « Inventaire des ressources minières de la France » (Deschamps *et al.*, 2002) et « Mining Wastes » » (Thomassin *et al.*, 2001 ; projet européen « DECHMINUE », Tender DG XI E3 /ETU 980116) que l'essentiel des données a été collecté.

Les 217 principaux sites miniers du territoire et les quelques 100 sujets issus de l'Inventaire, proposés à la profession (ayant fait l'objet de travaux de prospection plus ou moins avancés) ont été sélectionnés et croisés avec les 376 sites français décrits dans la base Mining Wastes.

186 sites « Mining Wastes » ont pu, à ce jour, être raccordés avec les 330 sites miniers sélectionnés (annexe 1). Les principaux problèmes dans les raccordements ont été les décalages dans les coordonnées, des noms de sites différents, des incohérences dans les substances exploitées sur les sites, et des problèmes d'échelle. Ce dernier cas est apparu spécialement pour le fer et le charbon, où certains bassins miniers pouvaient être définis par différents noms de sites possédant les mêmes coordonnées. Ces mises en correspondances seront possibles mais nécessiteront une caractérisation plus détaillée de ces grands bassins miniers. En l'état actuel, il n'y a pas unicité de correspondance entre ces deux bases, et les 186 sites « Mining Wastes » correspondent à 157 sites « Inventaire minier ».

Les différents paramètres d'intérêt (substances exploitées, minéraux porteurs, volumes, unités ...) issus de ces deux bases ont été harmonisés en se référant le plus possible aux lexiques validés des bases de données (lexique minéralogique, par exemple). A titre d'exemple, les substances produites ou en réserves sont exprimées en tonnage métal à l'exception des minéraux industriels et de quelques métaux (Tableau 1). L'aluminium est exprimé selon deux unités, en fonction des informations proposées (en quantité d'aluminium métal ou de bauxite). Une nouveau code PbZn a été ajouté pour quelques sites, en l'absence de données précises sur chacune des substances Pb et Zn. Les constituants des charbons et lignites (anthracite, bitume, graphite, houille, lignite, ...) n'étant pas pris en compte à ce jour dans le lexique minéralogique, ont donc été temporairement indexés sous le code « graphite ».

Tableau 1 : Unités utilisées pour quelques substances

Substance	Code production-réserves	unité
Barytine	Br	tonne BaSO ₄
Fluorine	Fl	tonne CaF ₂
Pyrite	Pyr	tonne FeS ₂
Aluminium	Al	tonne Al
	Bx	tonne de minerai bauxitique

De même, une grande quantité d'informations, présentes sous forme « texte », a été codée pour un traitement ultérieur (substances secondaires, productions, réserves, type

et volumes de résidus, type de polluants par type de résidus, minéralogie du minerai et de la gangue...). Trois champs ont été associés au lexique minéralogique, i) l'appartenance de chaque minéral aux groupes sulfure, sulfate, phosphate, oxyde, silicate, ii) la liste des éléments chimiques constituant les phases minérales et iii) les impuretés chimiques fréquentes des phases minérales.

L'ensemble de ces informations a été agencé en base de données de type relationnel selon la structure Envirobase du projet SIG Europe Environnement (Geiller M., 2001 ; Hodcent, 2001 ; Itard *et al.*, 2003).

2.3. LA BASE DE DONNEES

L'ensemble des données a été regroupé dans une base de données unique. L'architecture de cette base (Figure 1) a été conçue de manière à préserver l'intégrité des données source (Inventaire Minier et Mining Wastes) tout en autorisant un maximum de compatibilité. Les deux tables principales, correspondant aux deux sources de données, sont reliées par des relations de type $n \times n$, permettant la prise en compte des différences de précisions sur les gisements pouvant exister entre les deux. Un site de l'une des deux tables peut donc être relié à 1 ou plusieurs sites de l'autre table. A titre d'exemple, un site minier « Inventaire », pourra correspondre à plusieurs identifiants « Mining Wastes » représentant la totalité des activités de traitement métallurgique et différentes localisations de résidus miniers. Ainsi, pour un groupe CD1 donné de gisements, il est possible d'avoir accès, via la minéralogie, à l'ensemble des éléments chimiques présents ainsi qu'à tous ceux décrits dans les résidus miniers même s'il n'y a pas unicité dans la relation entre les deux tables.

Cette architecture complique notablement l'extraction des données mais permet de ne pas perdre d'information et facilitera aisément les mises à jours. Enfin, cette structure de données permet de travailler aussi bien au niveau générique (par groupe de gîte, par substance exploitée,...) qu'au niveau d'un gisement précis (annexe 2).

Les rubriques renseignées par l'Inventaire Minier sont : nom(s) du gisement, district (au sens gîtologique), substances exploitées (principale et connexes), minéralogie du minerai et de la gangue, nature de l'encaissant, production, réserves-ressources, statut (état actuel du gîte : ancienne mine, prospect, etc.), type d'exploitation (souterrain, ciel ouvert, non exploité), période d'activité, titulaire du titre minier, situation 2001 (PER en cours de validité, expiré, etc.), type gîtologique, morphologie (géométrie du corps minéralisé). L'indice BSS a été également maintenu afin de conserver le lien avec le Fichier des gîtes minéraux de la Banque de données du Sous-Sol. Les informations Mining Wastes renseignent plus particulièrement sur les types d'installations métallurgiques et les résidus générés, la caractérisation chimique des résidus et polluants, les accidents et incidents survenus sur le site, les impacts et états actuels des résidus.

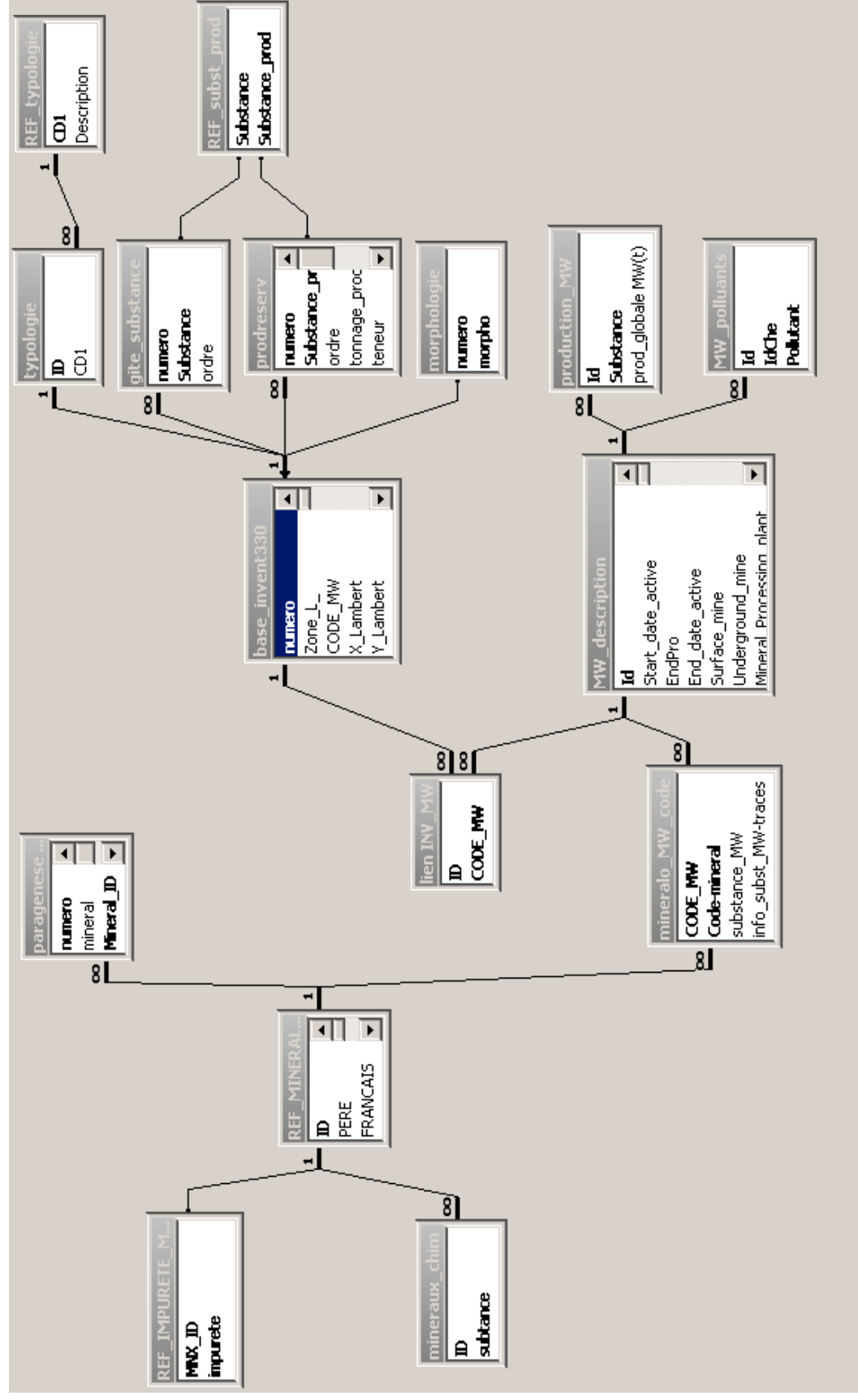


Figure 1 : Structure de la base de données relationnelle

3. Résultats

3.1. LA TYPOLOGIE

Sur la base des gisements retenus et des descriptions disponibles, 27 types ont été définis pour les 12 groupes de substances principales exploitées (ou recherchées) (tableau 2) en fonction de paramètres clés tels que gîtologie et signature géochimique, l'objectif étant de définir de façon simple les gisements et indices minéraux présents dans la base de donnée. Tous les gîtes ont ensuite été codés (CD1) en fonction de cette typologie (Figure 2).

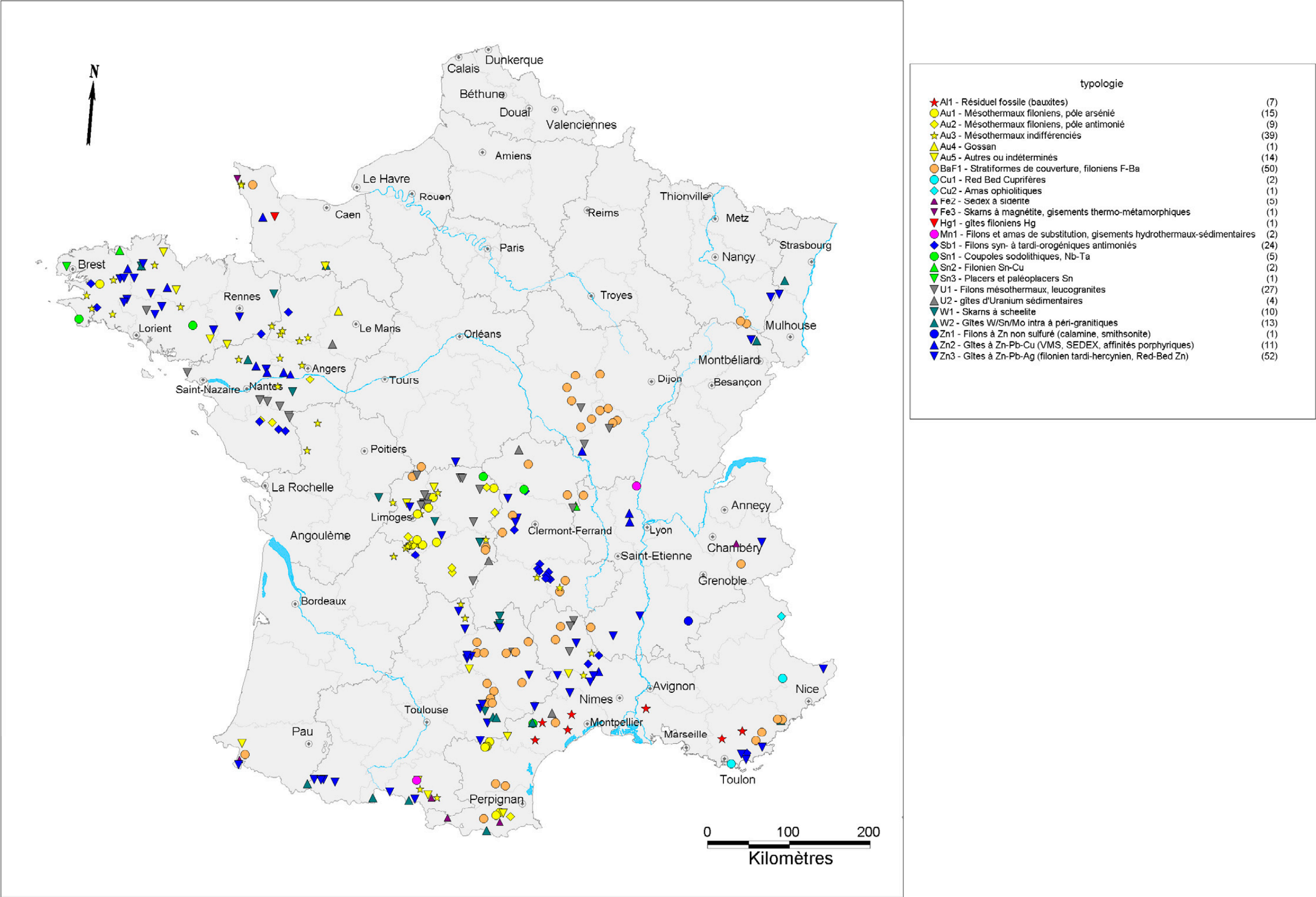
Tableau 2 : Nombre de gîtes et indices miniers dans chaque type (CD1) (* nombre de sites décrits dans la base Mining Wastes et raccordés à la base Inventaire)

Substance principale	Code CD1	Nbre de sites par CD1	Nbre de sites MW*	description
Aluminium	Al1	7	0	Résiduel fossile (bauxites)
Or	Au1	15	6	Mésothermaux filoniens, pôle arsénié
	Au2	9	0	Mésothermaux filoniens, pôle antimonie
	Au3	39	5	Mésothermaux indifférenciés
	Au4	1	1	Gossans
	Au5	14	0	Autres ou indéterminés
Barytine-Fluorine	BaF1	50	36	Stratiformes de couverture, filoniens F-Ba
Combustibles fossiles	Cha1	17	34	Charbons
	Cha2	4	13	Lignites, Roches bitumineuses
Fer	Fe1	9	9	Stratiformes oolithiques
	Fe2	5	4	Sedex à sidérite
	Fe3	1	1	Skarns à magnétite, gisements thermo-métamorphiques.
Mercure	Hg1	1	0	Filonien Hg
Manganèse	Mn1	2	2	Filons et amas de substitution, gisements hydrothermaux-sédimentaires
Etain	Sn1	5	2	Coupoles sodolithiques, Nb-Ta
	Sn2	2	1	Filonien Sn-Cu
	Sn3	1	1	Placers et paléoplacers Sn
Antimoine	Sb1	24	21	Filons syn- à tardi-orogéniques antimoniés
Uranium	U1	27	1	Filons mésothermaux, leucogranites
	U2	4	0	Uranium sédimentaire
Tungstène	W1	10	5	Skarns à scheelite
	W2	13	3	Gîtes W/Sn/Mo intra à péri-granitiques
Métaux de base	Cu1	2	2	Red Bed Cuprifères (Cu oxydé)
	Cu2	1	1	Amas ophiolitiques (Cu sulfuré)
	Zn1	1	1	Filons à Zn non sulfuré (calamine, smithsonite)
	Zn2	11	6	Gîtes à Zn-Pb-Cu (VMS, SEDEX, affinités porphyriques)
	Zn3	52	31	Gîtes à Zn-Pb-Ag (filonien tardi-hercynien, Red-Bed Zn)

Les différentes catégories CD1 regroupent ainsi un ou plusieurs types gîtologiques *sensu stricto* qui possèdent leurs propres signatures géochimiques théoriques (cf. Bouchot *et al.*, 2001) et permettent de renseigner sur la présence d'éléments chimiques sans expression minéralogique (cas des petits métaux, ou éléments se substituant classiquement aux éléments majeurs Cd/Zn, Se/S, Tableau 3). Ces signatures correspondent à l'état actuel des connaissances en métallogénie et sont indépendantes des données utilisées dans cette étude.

Tableau 3 : Composition minéralogique et chimique *a priori* des différents codes (CD1) définis (en gras, éléments prédominants)

CD1	Minéralogie des minerais	Elements chimiques présents
Al1	Oxy-hydroxydes Fe, argiles, quartz	Al, Fe , Si, (Ti, V, Ga, Sc)
Au1	Or libre ou réfractaire, arsénopyrite	Au, As (Ag , Cu, Bi , Zn, Sb etc)
Au2	Or libre ou réfractaire, stibine	Au, Sb (Zn, Pb, Cu, As, etc.)
Au3		
Au4	Or libre, oxydes Fe, sulfates, minéraux oxydés	Au, Ag, Fe , Mn
Au5	Autres et non décrits	
Cha1	charbons, traces sulfures de métaux de base, pyrite, arsénopyrite	C , (traces MxB, As, S, U)
Cha2	Lignites (S plus élevé)	C, S (traces MxB, As, S, U)
	bitume	C, S (traces V)
BaF1	Fluorine, barytine, silice, traces sulfures métaux de base.	F, Ba (Si, MxB, Mn)
	Fluorine, sidérite, chalcoppyrite	F, Cu , (Ca, Fe)
Fe1	Limonite, sidérite, hématite (magnétite), chlorite, traces pyrite	Fe, P
Fe2	Sidérite, traces sulfures métaux de base	Fe
Fe3	Magnétite	Fe
Hg1	Cinabre, pyrite	Hg , Fe
Mn1	Psilomélane, fluorine, barytine	Mn , F, Ba
	Oxydes Mn-Fe, jaspes	Mn, Fe , Ba, Si
Sb1	Stibine, Au, arsénopyrite	Sb , (Au, As, parfois Hg)
Sn1	Wolframite, cassitérite, lépidolite, niobotantalates	Sn, W, Li , (Nb, Ta, Be, B, REE, U, Mo)
Sn2	Cassitérite, stannite, sulfures métaux de base, sulfosels	Sn, Cu , (Ag, Bi, As, In)
Sn3	Cassitérite, minéraux lourds	Sn (Fe, Ti, Zr)
U1	Oxydes U, minéraux d'oxydation	U , (Cu, Fe, F)
U2	phosphates U et Cu	U, Cu , (V)
W1	Scheelite, magnétite, chalcoppyrite, Molybdénite	W , (Fe, Cu, Mo)
W2	Wolframite, sulfures, cassitérite	W, Sn , (Cu, As, Mo, Bi, In)
Cu1	Cu sulfuré et oxydé, As parfois abondant	Cu (As, Zn, Pb)
Cu2	Cu natif, bornite	Cu (Zn)
Zn1	Calamine, smithsonite	Zn (Pb)
Zn2	Sulfures métaux de base, pyrite élevée, barytine locale	Zn, Pb, Cu (Ag, Ba, Au, Ge, Ti), Pyrite
	Sulfures métaux de base	Zn, Pb, Ag , (W, Cu, Mo, Bi)
	Sulfures métaux de base	Zn, Pb, Ag (Cd) , Ge, F, Ba)
Zn3	Sulfures métaux de base	Pb, Ag (Zn, parfois Sb)
	Sulfures et sulfosels Pb-Zn-Sb	Sb, Pb, Zn



3.2. CARACTERISTIQUES MINERALO-CHIMIQUES DES TYPES DE GISEMENTS ET ELEMENTS POLLUANTS POTENTIELS ASSOCIES

3.2.1. Choix des polluants

L'arrêté du 2 février 1998, qui définit les éléments devant faire l'objet d'un contrôle pour les installations classées, prend en compte As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Te, Tl, V, Zn. L'arrêté du 8 janvier 1998, fixant les descriptions techniques applicables à l'épandage des boues sur les sols agricoles, détermine des « teneurs limites en éléments traces », pour sept métaux seulement. Dans sa décision du 17 juillet 2000, la commission Européenne produit une liste de 50 polluants et leurs valeurs seuil dans le registre EPER (European Pollutant Emission Register). Il comprend substances organiques (organo-chlorées, cyanurées, fluorées, ..) et quelques métaux (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn). Les activités d'extraction de minerais n'étant pas directement visées par cette directive, nous prenons en considération, dans cette étude, la liste plus exhaustive de l'arrêté de 1998 sur les installations classées auxquels nous associons des marqueurs métallogéniques (Bi, Mo, W et le fluor) ainsi que l'uranium. Nous aborderons également l'acidité et la concentration en sulfates des effluents miniers potentiels.

3.2.2. Contenu en polluants des minerais

La description minéralogique des 330 sites et indices miniers (Annexe 3) permet une première approche **statistique** semi-quantitative pour évaluer la probabilité de présence des éléments chimiques sélectionnés.

Le comptage des minéraux décrits permet de rendre compte de la fréquence de tel ou tel élément chimique - à expression minéralogique propre - susceptible d'être présent dans le minerai et, donc, dans les effluents miniers ou dans les résidus (Tableaux 4 et 5, Annexe 4).

On ne rend pas compte, à ce niveau, des substitutions possibles entre éléments (Zn/Cd ; S/Se...) à quelques exceptions près (cuivre gris : (Cu, Fe Zn, Hg, Ag)₁₂ (Sb, As)₁₄S₁₃,) ni des polluants tels que Te, Tl, V sans expression minéralogique propre, ou rarement décrite. Ceci constituera une deuxième étape du traitement par la prise en compte, par exemple, des impuretés chimiques fréquentes des minéraux.

Les groupes Au₄, Det₁, Det₂, Hg₁, étant peu représentés et/ou non décrits minéralogiquement, ne sont pas considérés.

Les résultats sont présentés sous forme de fiches pour chacun des groupes « substances » avec une description détaillée :

- des paragenèses minérales :
 - minéraux principaux (décrits dans plus de 50% des gîtes),
 - des minéraux accessoires (< 50% des gîtes) ;
- des éléments polluants :
 - majeurs (présents dans plus de 70% des gîtes),
 - accessoires (présents entre 20 et 70% des gîtes)
 - occasionnels (<20% des gîtes)
- des substances en sous-produits d'exploitation

Tableau 4 : Pourcentage de gisements et indices miniers dans chaque type CD1, dans lesquels le polluant est présent sous une ou plusieurs formes minéralogiques.

CD1	As	Bi	Cd	Co	Cu	F	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	U	W	Zn
Al1								14									
Au1	100	20			47		13	13			60	33				20	53
Au2	89				56						11	89					44
Au3	77	3			41		13	8	3		51	33		3		13	51
Au5	50	7			29		14	7	7		14	21		14		7	14
BaF1	20	2			52	84	20	8			74	20			4		50
Cha1					6						12				6		12
Fe1								11			11						
Fe2	40				60	20	40	40			80	40					80
Fe3																	
Hg1					100		100		100								
Mn1	50				50	50		100									
Sb1	75				33		13			4	17	100					75
Sn1	40	20			20	80		60						100		40	20
Sn2	50	50			100				50		50	50		100			50
Sn3					100			100						100		100	
U1	7	7	4		41	30		4			37		4		93		15
U2															25		
W1	80	70			80	10		100	50		40	10		60		100	60
W2	69	23		8	54	31		8	38	8	31			15		85	54
Cu1	100				100						50						50
Cu2					100						100			100			100
Zn1											100						100
Zn2	82	9			91		55		18		100	64		27		9	100
Zn3	52	2	6	6	83	10	31	6	2	8	96	52		12	2	6	90

Tableau 5 : Taux d'apparition des éléments polluants (100 x nombre de fois où l'élément est cité en minéralogie / nombre de sites) dans les différents codes CD1. Les valeurs supérieures à 100 indiquent que l'élément est présent sous plusieurs formes minéralogiques sur chaque site considéré

Typologie	As	Bi	Cd	Co	Cu	F	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	U	W	Zn
Al1								14									
Au1	120	20			73		13	13			73	47				27	67
Au2	89				78						11	189					44
Au3	90	3			59		13	8	3		64	56		3		15	62
Au5	57	7			29		14	7	7		21	29		14		14	21
BaF1	24	2			162	84	20	10			108	38			4		64
Cha1					6						12				6		12
Fe1								11			11						
Fe2	40				120	20	40	60			120	100					120
Fe3																	
Mn1	50				50	50		250									
Sn1	80	40			60	180		100						100		40	20
Sn2	50	100			300				50		50	50		150			50
Sn3					100			100						100		200	
U1	7	22	4		93	30		4			48		15		337		15
U2															25		
W1	90	80			150	10		100	50		40	20		80		210	60
W2	85	23		15	54	38		8	38	8	38			15		92	54
Sb1	83				46		13			4	17	200					83
Cu1	150				900						150						50
Cu2					800						100			100			100
Zn1											100						300
Zn2	127	9			236		55		18		118	64		27		9	173
Zn3	77	2	6	8	208	10	31	6	2	10	187	100		15	2	6	135

La comparaison des tableaux 4 et 5 permet de préciser ces probabilités de présence. Par exemple, 50% des gîtes Sn2 contiennent du bismuth dont le taux d'apparition est de 100, *i.e.* un gîte sur 2 de type Sn2 contient du Bi et, chaque fois qu'il est présent, Bi existe sous deux formes minéralogiques distinctes.

Substance Au

Codes

Au1 : Gîtes mésothermaux, pôle arsénié
Au2 : Gîtes mésothermaux, pôle antimonie
Au3 : Gîtes mésothermaux indifférenciés
Au5 : Autres ou indéterminés

Sous-produits exploités

Au1 : Ag, As, Bi, Cu
Au2 : Sb

Paragénèse principale

Au1 : Arsénopyrite, Pyrite, Galène, Or Natif, Sphalérite, Chalcoppyrite.
Au2 : Arsénopyrite, Stibine, Or Natif, Pyrite, Berthiérine, Chalcoppyrite.
Au3 : Arsénopyrite, Pyrite, Or Natif, Sphalérite, Galène.
Au5 : Pyrite, Arsénopyrite.

Minéraux accessoires

Au1 : Pyrrhotite, Stibine, Bismuthine, Cuivre Gris, Scheelite, Wolframite, Jamesonite, Marcasite, Bournonite, Graphite, Löllingite, Bornite, Rutile, Sidérose, Or natif.
Au2 : Sphalérite, Kermésite, Galène, Pyrrhotite, Tétrahédrite, Malachite.
Au3 : Chalcoppyrite, Pyrrhotite, Stibine, Cuivre Gris, Berthiérine, Scheelite, Wolframite, Boulangérite, Jamesonite, Marcasite, Magnétite, Bismuthine, Bournonite, Electrum, Graphite, Löllingite, Argent Natif, Argyrose, Barytine, Cassitérite, Covellite, Molybdénite, Pyrargyrite.
Au5 : Or Natif, Chalcoppyrite, Galène, Sphalérite, Pyrrhotite, Stibine, Cassitérite, Bismuthine, Cuivre Gris, Scheelite, Wolframite, Boulangérite, Molybdénite, Cinabre.

Polluants majeurs

Au1 : As
Au2 : As, Sb
Au3 : As

Polluants accessoires

Au1 : Bi, Cu, Pb Sb, W, Zn
Au2 : Cu, Zn
Au3 : Cu, Pb, Sb, Zn
Au5 : As, Cu, Sb

Polluants occasionnels

Au1 : Hg, Mn
Au2 : Pb
Au3 : Bi, Hg, Mn, Mo, Sn, W
Au5 : Bi, Hg, Mn, Mo, Pb, Sn, W, Zn

Substances Métaux de base

<i>Codes</i>	<i>Sous-produits exploités</i>
Cu1 : Red Bed Cuprifères (Cu oxydé)	
Cu2 : Amas ophiolitiques (Cu sulfuré)	
Zn1 : Filons à Zn non sulfuré (calamine, smithsonite)	Zn1 : Pb
Zn2 : Gîtes Zn-Pb-Cu (VMS, SEDEX)	Zn2 : Pyrite
Zn3 : Gîtes Zn-Pb-Ag (filonien tardi-hercynien, Red-Bed Zn)	Zn3 : Au, Ba, Ge

Paragénèse principale

Cu1 : Bornite, Azurite, Covellite, Malachite, Chalcocite, Chalcopryrite, Tennantite.
 Cu2 : Bornite, Azurite, Covellite, Malachite, Chalcocite, Chalcopryrite, Sphalérite, Galène, Cuivre Natif, Hématite, Oligiste, Stannite.
 Zn1 : Sphalérite, Galène, Calamine, Smithsonite, Marcasite,
 Zn2 : Sphalérite, Pyrite, Galène, Chalcopryrite, Arsénopyrite, Cuivre Gris.
 Zn3 : Galène, Sphalérite, Chalcopryrite, Pyrite.

Minéraux accessoires

Cu1 : Sphalérite, Galène, Cuivre Natif, Hématite, Digénite, Sidérose, Barytine, Anglésite, Cérusite, Cuprite, Enargite.
 Zn2 : Pyrrhotite, Or Natif, Molybdénite, Cubanite, Cérusite, Cassitérite, Calamine, Bornite, Barytine, Stannite, Scheelite, Polybasite, Melnicovite, Marcasite, Magnétite, Enargite, Cuprite, Chalcocite, Bismuthine, Azurite, Argentite.
 Zn3 : Arsénopyrite, Cuivre Gris, Bournonite, Marcasite, Cérusite, Anglésite, Pyrrhotite, Pyromorphite, Barytine, Pyrargyrite, Chalcocite, Sidérose, Or Natif, Malachite, Fluorine, Covellite, Azurite, Argent Natif, Stibine, Stannite, Magnétite, Cassitérite, Polybasite, Hydrozincite, Greenockite, Gersdorffite, Bornite, Argentite, Wolframite, Smithsonite, Löllingite, Hémimorphite, Digénite, Calamine, Boulangérite, Wurtzite, Wulfénite, Scheelite, Pentlandite, Pechblende, Oxydes Mn, Oxydes Cu, Oligiste, Nickéline, Jamesonite, Ilménite, Gypse, Cobaltite, Cinabre, Bismuthine, Bindheimite.

Polluants majeurs

Cu1 : As, Cu
 Cu2 : Cu, Pb, Sn, Zn
 Zn1 : Pb, Zn
 Zn2 : As, Cu, Pb, Zn
 Zn3 : Cu, Pb, Zn

Polluants accessoires

Cu1 : Pb, Zn
 Zn2 : Hg, Sb, Sn
 Zn3 : As, Hg, Sb

Polluants occasionnels

Zn2 : Bi, Mo, W
 Zn3 : Bi, Cd, Co, F, Mn, Mo, Ni, Sn, U, W

Substance Antimoine

Codes

Sb1 : Filons syn- à tardi-orogéniques antimoniés

Paragénèse principale

Sb1 : Stibine, Pyrite, Sphalérite, Arsénopyrite, Berthiérite

Minéraux accessoires

Sb1 : Marcasite, Chalcopyrite, Or Natif, Pyrrhotite, Galène, Cuivre Gris, Covellite, Barytine, Valentinite, Ullmannite, Kermésite, Cinabre, Bournonite, Antimoine Natif, Anglésite.

Polluants majeurs

Sb1: As, Sb, Zn

Polluants accessoires

Sb1 : Cu

Polluants occasionnels

Sb1: Hg, Ni, Pb

Substance Etain

Codes

Sn1 : Coupoles sodolithiques, Nb-Ta
Sn2 : Filonien Sn-Cu
Sn3 : Placers et paléoplacers Sn

*Sous-produits
exploités*
Sn1 : W

Paragénèse principale

Sn1 : Cassitérite, Columbo-tantalite, Lépidoïte.
Sn2 : Cassitérite, Chalcopryrite.
Sn3 : Cassitérite, Chalcopryrite, Pyrite, Magnétite, Wolframite, Ilménite, Monazite, Scheelite.

Minéraux accessoires

Sn1 : Amblygonite, Arsénopryrite, Wolframite, Apatite, Béryl, Bismuth Natif, Bismuthine, Chalcopryrite, Covellite, Enargite, Fluorine, Herdérîte, Montébrasite, Pyrite, Rutile, Scorodite, Sphalérîte.
Sn2 : Arsénopryrite, Bismuthine, Covellite, Pyrite, Sphalérîte, Bornite, Cosalite, Magnétite, Molybdénite, Roquésite, Stannite.

Polluants majeurs

Sn1 : F, Sn
Sn2 : Cu, Sn
Sn3 : Cu, Mn, Sn, W

Polluants accessoires

Sn1 : As, Bi, Cu, Mn, W, Zn
Sn2 : As, Bi, Mo, Pb, Sb, Zn

Substance Fer

Codes

Fe1 : Gîtes Stratiformes oolithiques (1)

Fe2 : Gîtes Sedex à sidérite

Fe3 : Skarns à magnétite, gisements thermo-métamorphiques

Sous-produits exploités

Fe2 : Ag, Cu

Paragénèse principale

Fe1 : Hématite, Magnétite (1)

Fe2 : Sidérose, Hématite, Galène, Sphalérite, Magnétite, Pyrite, Chalcoppyrite.

Fe3 : Magnétite, Pyrite, Oligiste, (Or Natif).

Minéraux accessoires

Fe1 : Sidérose, Pyrite, Limonite, Oligiste, Galène, Marcasite, Oxydes de manganèse. (1)

Fe2 : Boulangérite, Cuivre Gris, Goethite, Lépido-crocoïte, Pyrolusite, Oligiste, Fluorine, Monazite, Psilomélane.

Polluants majeurs

Fe1 : (1)

Fe2 : Pb, Zn

Polluants accessoires

Fe1 : (1)

Fe2 : As, Cu, Hg, Mn, Sb

Polluants occasionnels

Fe1 : Mn, Pb (1)

Fe2 : As, F

(1) Le code Fe1 ne sera pas pris en compte car les bassins ferrifères oolithiques ne sont que très partiellement renseignés dans cette base (voir texte).

Substance Aluminium

Al1 : Gîtes résiduels fossiles (bauxites)

Paragénèse principale

Hématite, Boehmite, Gibbsite, Kaolinite, Goethite.

Minéraux accessoires

Anatase, Rutile, Oxydes de manganèse.

Polluants majeurs

/

Polluants accessoires

/

Polluants occasionnels

Mn

Substance Manganèse

Mn1 : Filons et amas de substitution, gisements hydrothermaux-sédimentaires

Paragénèse principale

Goethite, Hématite, Psilomélane.

Minéraux accessoires

Barytine, Chalcopyrite, Fluorine, Magnétite, Arseniates, Pyrite, Pyrolusite, Pyrrhotite,
Rhodochrosite, Rhodonite, Rutile

Polluants majeurs

Mn

Polluants accessoires

As, Cu, F

Polluants occasionnels

/

Substance Tungstène

W1 : Skarns à scheelite
W2 : Gîtes W/Sn/Mo intra péri-granitiques

Paragénèse principale

W1 : Wolframite, Scheelite, Pyrite, Arsénopyrite, Chalcopyrite, Sphalérite, Bismuthine, Cassitérite, Molybdénite.
W2 : Scheelite, Pyrite, Arsénopyrite, Chalcopyrite, Sphalérite, Pyrrhotite, Molybdénite.

Minéraux accessoires

W1 : Pyrrhotite, Galène, Covellite, Marcasite, Bismuth Natif, Cubanite, Stannite, Fluorine, Löllingite, Melnicovite, Bournonite, Digénite, Ferbérite, Sidérose, Stibine, Tungstite.
W2 : Galène, Bismuthine, Apatite, Magnétite, Cassitérite, Wolframite, Marcasite, Fluorine, Löllingite, Melnicovite, Arseniate, Barytine, Béryl, Cérusite, Cobaltite, Gersdorffite, Graphite, Hématite, Tourmaline.

Polluants majeurs

W1 : As, Bi, Cu, Mn, W
W2: W

Polluants accessoires

W1 : Mo, Pb, Sn, Zn
W2: As, Bi, Cu, F, Mo, Pb, Zn

Polluants occasionnels

W1 : F, Sb
W2 : Co, Mn, Ni, Sn

Substance Uranium

U1 : Filons mésothermaux, leucogranites
U2 : Gîtes d'uranium sédimentaire

Paragénèse principale

U1 : Pechblende, Autunite, Pyrite, Marcasite.
U2 : Autunite, Monazite.

Minéraux accessoires

U1 : Gummite, Uranotile, Galène, Coffinite, Chalcopyrite, Fluorine, Barytine, Torbernite, Sphalérite, Covellite, Hématite, Bismuthine, Chalcocite, Goethite, Melnicovite, Phosphuranylite, Uranocircite, Anatase, Apatite, Arsénopyrite, Azurite, Bismuth Natif, Bornite, Clausthalite, Cuprite, Emplectite, Greenockite, Klockmannite, Löllingite, Oxydes Mn, Paraguanajuatite, Pyromorphite, Pyrrhotite, Renardite, Sphène, Umangîte, Uraninite, Wittichénite
U2 : /

Polluants majeurs

U1 : U
U2 : U

Polluants accessoires

U1 : Cu, F, Pb
U2 : /

Polluants occasionnels

U1 : As, Bi, Cd, Mn, Se, Zn
U2 : /

Substance Barytine - Fluorine

Codes

BaF1: Stratiformes de couverture, gîtes filoniens F-Ba

Sous-produits exploités

BaF1 : Ag, Cu, Pb, Zn

Paragénèse principale

Fluorine, Barytine, Galène, Pyrite, Chalcopryrite

Minéraux accessoires

Sphalérite, Covellite, Malachite, Cuivre Gris, Marcasite, Bournonite, Chalcocite, Pyromorphite, Sidérose, Azurite, Cérusite, Arsénopyrite, Bornite, Autunite, Cuprite, Oxydes de manganèse, Pyrolusite, Bismuthine, Calcite, Cinabre, Graphite, Hydrozincite, Jamesonite, Lépido-crocite, Manganite, Oligiste, Tétréédrite

Polluants majeurs

F, Pb

Polluants accessoires

As, Cu, Hg, Sb, Zn

Polluants occasionnels

Bi, Mn, U

3.3.3. Acidité et contenu en sulfates des effluents

Le caractère acide ou non des effluents potentiellement générés reste difficile à appréhender à ce stade, tant que l'on ne peut estimer quantitativement d'une part, la proportion de sulfures dans le minerai et d'autre part, le pouvoir tampon de certains minéraux (gangue, encaissant). Il est beaucoup plus évident d'approcher ce paramètre site par site. En effet, en partant des données disponibles dans les bases utilisées, les seuls paramètres quantifiables (tableau 6) sont, par code CD1, le nombre de gisements contenant du soufre, le pourcentage de minéraux sulfurés décrits dans la paragenèse ainsi que le taux d'apparition du soufre (selon la formule utilisée dans le tab. 5). Cette approche met bien en évidence les types CD1 systématiquement sulfurés mais, sans minéralogie quantitative, le risque acide ne peut être approché (la pyrite peut être le seul minéral sulfuré présent dans une paragenèse à 5 minéraux mais représenter 90% du minerai).

Tableau 6 : Contenu en sulfures pour chaque type CD1

CD1	% de gîtes contenant des sulfures.	% de sulfures dans la paragenèse	Taux d'apparition du soufre.
Al1	0	0	0
Au1	100	80	453
Au2	100	90	478
Au3	87	80	372
Au5	71	80	229
BaF1	96	53	382
Cha1	18	26	65
Cu1	100	54	700
Cu2	100	58	600
Fe1	44	19	56
Fe2	80	44	380
Fe3	100	25	100
Mn1	100	18	200
Sb1	100	91	513
Sn1	40	24	140
Sn2	100	80	550
Sn3	100	25	200
U1	67	37	248
U2	0	0	0
W1	90	64	560
W2	77	65	423
Zn1	100	57	400
Zn2	100	81	691
Zn3	98	74	573

3.3.4. Contenu en polluants des résidus miniers et validation de la méthode

La base de données Mining wastes décrit les différents types de résidus miniers et de traitement métallurgique présents sur chaque site et donne pour chacun les principaux éléments chimiques analysés. Nous retiendrons, pour cette étude, les résidus miniers de type Mmw (Metalliferous mine waste). A partir des 186 sites de cette base Mining Wastes reliés aux données de l'Inventaire, il a donc été possible de lister les polluants effectivement présents dans les résidus en fonction de la typologie adoptée (Tableau 7).

Ce croisement des informations permet de valider la méthode mise en œuvre car, à l'exception de quelques éléments chimiques n'ayant pas d'expression minéralogique propre ou constituant des minéraux rares et non recherchés en routine (Ga, Ge, In, Tl et Cr), tous les éléments décrits dans les résidus figurent dans les polluants issus de la minéralogie. On notera néanmoins la présence de As, Hg et Co, Sb dans les résidus des groupes Cu2 et Mn1, respectivement, non présents dans la minéralogie. Cependant, ces codes sont faiblement représentés (Cu2 : 1 site, Mn1 : 2 sites) et donc statistiquement non représentatifs.

A titre d'exemple, le mercure est minéralogiquement présent dans 13% des gîtes de type Sb1 soit 3 gîtes (tableau 5), et effectivement détecté dans les résidus correspondants de 2 de ces 3 gîtes. On notera également la présence potentielle de mercure dans les gîtes de type Zn2 et Zn3.

Pour les gisements dont les résidus ne sont pas analysés, on peut donc considérer que les polluants décrits par la minéralogie constituent la palette des éléments chimiques à rechercher impérativement.

Tableau 7 : Comparaison entre les polluants potentiels issus de l'information minéralo-chimique par code CD1, et les polluants analysés dans les résidus miniers (MMW). (**En gras**, polluants non analysés dans les résidus).

Code	Eléments traces « théoriques » (tabl.3)	Fiches substances (a)			Base de données Mining Waste	Polluants absents (b-a)
		Polluants majeurs	Polluants accessoires	Polluants occasionnels	Polluants analysés dans les résidus miniers MMW (b)	
Au1		As	Bi , Cu, Pb, Sb, W , Zn	Hg , Mn	As, Cu, Pb, Sb, Zn	
Au2		As, Sb	Cu, Zn	Pb	Non renseigné	
Au3		As	Cu, Pb, Sb, Zn	Bi , Hg, Mn , Mo, Sn , W	As, Cd, Cu, Hg, Mo, Pb, Sb, Zn	Cd
Au5		-	As, Cu, Sb	Bi, Hg, Mn, Mo, Pb, Sn, W, Zn	Non renseigné	
Cu1		As, Cu	Pb , Zn	-	As, Cu, V	V
Cu2		Cu, Pb, Sn, Zn	-	-	As, Cu, Hg, Pb, Sn, Zn	As, Hg
Zn1		Pb, Zn	-	-	Pb, Zn	
Zn2	Ge, Tl	As, Cu, Pb, Zn	Hg , Sb , Sn	Bi , Mo, W	As, Cu, Mo, Pb, Sn, Zn	
Zn3	Cd, Ge	Cu, Pb, Zn	As, Hg, Sb	Bi, Cd, Co, F , Mn , Mo, Ni, Sn, U, W	As, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, Ge, Hg, In, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Tl, U, W, Zn	Cr, Ga, Ge, In, Tl
Sb1	(Hg)	As, Sb, Zn	Cu	Hg, Ni, Pb	As, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Zn	
Sn1	Nb, Ta, U, Mo, W	F , Sn	As, Bi , Cu , Mn , W, Zn	-	As, Nb, Sn, Ta, W	Nb, Ta
Sn2	In	Cu, Sn	As, Bi, Mo , Pb , Sb, Zn	-	As, Bi, Cr, Cu, Sb, Sn, V, Zn	Cr, V
Sn3		Cu, Mn, Sn, W			Non renseigné	
Fe2		Pb, Zn	Cu, Hg , Mn , Sb	As, F	As, Cu, Pb, Sb	
Al1	Ga, Sc, Ti, V	-	-	Mn	Non renseigné	
Mn1		Mn	As, Cu, F	-	As, Co, Cu, Mn, Sb	Co, Sb
U1		U	Cu, F, Pb	As, Bi, Cd, Mn, Se, Zn	Non renseigné	
U2		U	-	-	Non renseigné	
W1		As, Bi, Cu, Mn, W	Mo , Pb, Sn, Zn	F , Sb	As, Bi, Cu, F, Mn, Pb, Sn, W, Zn	
W2	In	W	As, Bi, Cu, F , Mo , Pb, Zn	Co, Mn, Ni, Sn	As, Bi, Cu, Pb, W	
BaF1		F, Pb	As, Cu, Hg , Sb, Zn	Bi , Mn , U	As, Cu, F, Pb, Sb, Zn	

4. Conclusion

En se basant sur les données de l'Inventaire et celles de Mining Wastes, il a été possible de proposer une typologie des gisements français adaptée à l'estimation des risques de pollution minière. En effet, à partir des données factuelles de ces bases de données, chaque type de gisement défini peut être décrit en terme de paragenèse principale et secondaire ainsi qu'en terme de polluants métalliques fréquemment, occasionnellement ou rarement exprimés. Ces données, issues des descriptions minéralogiques des gisements, montrent une parfaite cohérence avec les analyses chimiques effectuées sur les différents types de résidus miniers fournies par le projet DECHMINUE. En terme d'inventaire des polluants à rechercher, l'approche typologique proposée est donc pertinente et pourra servir de point de départ à toute étude plus spécifique, notamment les Plans de Prévention de Risques Miniers (PPRM).

Cette approche générique apporte donc des renseignements qualitatifs précieux. De nombreux paramètres non utilisés dans cette étude (productions, réserves, géométrie des objets, proportion des minéraux constituant le corps minéralisé, stœchiométrie des minéraux) pourront fournir des éléments plus quantitatifs. De même, le croisement de ces données avec d'autres informations d'échelle équivalente telles que la composition des résidus en fonction du type de minerai et des filières métallurgiques (base de donnée Envirobase, en cours d'élaboration, module environnement du projet SIG Europe Centrale) permettrait une meilleure estimation *a priori* des risques liés à un site ou une région minière. Enfin, il semble indispensable d'enrichir cette base de données par les caractéristiques physico-chimiques des effluents miniers de ces différents sites.

Références bibliographiques

Bache J.J. (1978). Ressources minières françaises, tome 5. Les gisements d'or (Situation en 1978). 73 p.

Bache J.J., Bornuat M., Duhamel M., avec la collaboration de Lougnon J. et Aye F. (1982). Ressources minières françaises, tome 11. Les gisements de cuivre (Situation en 1981). Rapp.BRGM 82 SGN 074 GMX, 130 p.

Béziat P. et Bornuat M. (1995). Carte Minière de la France métropolitaine à 1/1000000. Situation en 1994. Notice explicative. Ministère de l'Industrie, BRGM, Service Minier National ; juin 1995, 102 p..

Béziat P., Coulomb J.J., avec la collaboration de Gentilhomme Ph. et de Gramont X. (1991). Les gisements de tungstène en France. Situation en 1990. Ministère de l'Industrie et de l'aménagement du Territoire. 107 p.

Bouchot V., Breteville V., Leduc C., Viallefond L., Vaillant F.X., Delpont G., Deschamps Y., Milesi J.P., Récoché G. (2001). SignateX: a deposit-model base for mineral exploration., in EUG 11, European Union of Geosciences, Strasbourg, France.

Chauris L et Guigues J. (1969). Gîtes minéraux de la France, Notice explicative régionale des feuilles au 1/320000, vol 1. Mémoires du BRGM N°74, 96 pp.

Delille J.C., avec la collaboration de Carre P., Guigues J., Moussu R., Henry B., Dijoux F. (1981). Ressources minières françaises, tome 12. Les gisements d'étain (Situation en 1981). 155 p.

Deschamps Y., Vadala P. et Gentilhomme P. avec la collaboration de Guillou Y., Joubert M., Leduc C, Marroncle J.L., Gateau C. (2002) Inventaire des Ressources minières du territoire métropolitain. Rapport BRGM/RP – 18545-FR.

Geiller M. (2001). Développement de la composante environnementale du SIG Europe Centrale, Rapport de stage IGE-ESEM, 60pp.

Hodcent S. (2001). De la caractérisation du gisement aux impacts environnementaux. Rapport de stage de l'Université d'Orléans. 44pp.

Itard Y., Coste B. et Cassard D. (2003). Geoinformation systems for sustainable development at various scales. IIIrd International Conference of Modern Management of Mine producing, Geology and Environmental Protection. 243-249.

Lhégu J. (1978). Ressources minières françaises, tome 3. Les gisements de fluorine (Situation en 1978). 201 p.

Lhégu J., Walter J. (1980). Ressources minières françaises, tome 7. Les gisements de barytine (Situation en 1980). 225 p.

Moyroud B., Féraud J., Bornuat M., Ziserman A. (1979). Ressources minières françaises, tome 6. Les gisements d'antimoine (Situation en 1979). Rapp. BRGM 79 SGN 825 GMX, 120 p.

Monthel J., avec la collaboration de Henry B., Aye F., Jebrak M., Huijbregts Ch. (1984). Ressources minières françaises, tome 13. Les gisements de mercure (Situation en 1983), 50 p.

Stolojan N., Viland J.C., avec la collaboration de Béziat P., Bigot M., Bornuat M., Cortial Ph., Lagny Ph. et Pouit G. (1992). Les gisements de plomb – zinc en France (Situation en 1991). Ministère de l'Industrie et de l'aménagement du Territoire, 276 p.

Thomassin J.F., Charbonnier P., Angel J.M., Boudot A. et Fauconnier D. (2001). Déchets miniers européens. Notice d'utilisation de la base DECHMINUE, issue des données du rapport « Mining waste management » de la DG environnement. Rapport BRGM/RP – 51393 – FR, 50pp.

Annexes

Annexe 1 : Gîtes et indices sélectionnés sur territoire français métropolitain

Gîte	ID	CODE_MW	CD1	Subst1	Substances 2	Dept	X_lamb2	Y_lamb2
Abbaretz - Nozay (district)	69	FRA0127	W2	Sn	Sn	44	308 100.0	2 291 300.0
Ahun	133		Cha1	Cha	Cha	23	581 000.0	2 119 300.1
Aire de Cote	218		Au5	Au	Au, Ag	48	701 684.8	1 904 600.9
Alès	134	FRA0311	Cha1	Cha	Cha	30	742 723.3	1 931 554.9
Ambierle	219		BaF1	Ba	Ba, F	42	720 000.0	2 123 500.0
Antully-Charbonnière	135		BaF1	F	F, Ba	71	761 100.0	2 215 400.0
Antully-Marquisat	136		BaF1	F	F, Ba	71	756 000.0	2 212 500.0
Argentolle	106	FRA0200	BaF1	F	F, Pb, Ba	71	729 900.0	2 217 200.0
Arjuzanx	128	FRA0298	Cha2	Lign	Lign.	40	342 608.7	1 895 683.9
Arrens	220	FRA0101	Zn3	Zn	Zn, Pb, Ba	65	389 481.0	1 774 313.6
Aumance (Les Plamores)	129	FRA0299 à FRA0304	Cha1	Cha	Cha, Bitum	3	648 200.0	2 164 600.0
Auxelles-Haut	137		W2	W	W	90	932 600.0	2 314 100.0
Banca	3	FRA0003	Fe2	Cu	Cu, Fe, Ag	64	297 447.6	1 798 927.8
Banciole	221		Zn3	Zn	Zn, Pb	65	397 847.2	1 773 950.8
Banèche (Vaulry)	138		Au5	Au	Au, Sn	87	503 200.0	2 114 500.0
Barjac	112	FRA0228	BaF1	Ba	Ba	48	685 864.6	1 946 520.2
Batère	93	FRA0170	Fe2	Fe	Fe	66	617 240.6	1 721 945.3
Baugiraud	139		Au1	Au	Au, As	87	535 500.0	2 121 100.0
Beaune-Les-Mines	140		Au3	Au	Au	87	519 600.0	2 102 050.0
Beauvain	222		W2	Mo	Mo, Cu, Zn, Pb	61	403 875.0	2 406 294.1
Béhélec	223		Au5	Au	Au	56	261 446.4	2 316 067.6
Bellezane (Puy de l'Age, Brugeaud)	141		U1	U	U	87	527 400.0	2 121 200.0
Bentaillou (Sentein)	62	FRA0119	Zn3	Zn	Zn, Pb, Ag	9	482 504.3	1 759 275.5
Bertholène	116	FRA0248	U1	U	U	12	633 528.9	1 931 485.4
Blanzy - Montceau-les-Mines	142	FRA0307-FRA0308	Cha1	Cha	Cha	71	754 500.1	2 188 300.0
Bodennec	224	FRA0043	Zn2	Zn	Zn, Cu, Pb, Ag	29	160 445.9	2 402 104.8
Bois d' Escalère	225		W2	W	W, Sn	31	461 603.4	1 751 878.6
Bonnac	143		Au3	Au	Au, W	15	662 912.3	2 022 944.2
Bor-Laurelle	226		Au5	Au	Au	12	580 015.9	1 910 577.5
Bossiguel	227		Au5	Au	Au	22	219 970.9	2 376 193.7

Caractérisation des pollutions potentielles relatives aux sites miniers du territoire français métropolitain

Gîte	ID	CODE_MW	CD1	Subst1	Substances 2	Dept	X_lamb2	Y_lamb2
Brassac	144	FRA0306	Cha1	Cha	Cha	43	676 002.7	2 044 853.4
Bréhan-Loudéac	228		Au3	Au	Au	22	224 993.3	2 355 693.9
Breitenbach	229		W2	Mo	Mo, W	67	967 193.7	2 387 617.8
Briquebecq	230		BaF1	Ba	Ba, Pb	50	314 070.2	2 506 194.5
Brignoles NE	145		Al1	Al	Al	83	915 295.5	1 835 018.3
Brignoles SW (La Baume Sud)	146		Al1	Al	Al	83	889 875.8	1 824 746.9
Cap Garonne	72	FRA0130	Cu1	Cu	Cu	83	901 561.8	1 793 615.7
Carboire	59	FRA0107	Zn3	Zn	Zn, Pb	9	512 912.6	1 750 434.9
Carmaux	147	FRA0330 à FRA0336	Cha1	Cha	Cha	81	583 981.8	1 892 643.5
Carnoët	231		Zn3	Zn	Zn, Pb, Ag	22	168 284.7	2 390 627.5
Cazouls-les-Béziers	148		Al1	Al	Al	34	660 799.5	1 823 159.1
Chaillac - Le Rossignol	110	FRA0206	BaF1	F	F, Ba	36	521 000.0	2 158 400.0
Chaillac - Les Redoutières	109	FRA0205	BaF1	Ba	Ba, F, Fe,	36	520 800.0	2 158 400.0
Champvert (La Porcherie)	43	FRA0088	Au1	Au	Au, As	87	539 800.0	2 066 600.1
Change (Mazenay)	89	FRA0165	Fe1	Fe	Fe	71	773 500.0	2 217 000.0
Charrier	4	FRA0009	Sn2	Cu	Cu, Sn, Pb	3	710 700.0	2 110 800.0
Chatelain	232		Au3	Au	Au	53	381 600.0	2 318 000.0
Chaumottes	149		U1	U	U	58	716 800.0	2 230 600.1
Chauvour	233		Zn3	Ag	Ag, Sb, Au, Pb, Zn, Sn	87	506 600.0	2 109 495.0
Chavaniac - Lafayette	102	FRA0194	BaF1	F	F, Pb	43	697 821.8	2 019 164.0
Chazé (Chazé-Henry)	95	FRA0173	Fe1	Fe	Fe	49	341 700.0	2 312 000.0
Chéni - Douillac	45	FRA0092	Au3	Au	Au	87	509 200.0	2 062 900.0
Chessy-les-Mines	234	FRA0142	Zn2	Zn	Zn, Cu, Ba	69	776 400.0	2 101 700.0
Chizeuil	16	FRA0029	Zn2	Cu	Cu, Pyr	71	718 300.0	2 177 800.0
Coat-An-Noz (A)	235		W1	W	W, Mo, Cu	22	177 111.6	2 405 411.4
Coat-An-Noz (B)	236		W2	W	W, Fe, Cu	22	177 135.1	2 405 793.6
Cogolin (Faucon Largentière)	76	FRA0138	Zn3	Pb	Pb, Zn, Ag	83	939 584.9	1 814 139.6
Colombières (Colombiez)	119	FRA0252	BaF1	Ba	Ba	12	597 798.0	1 930 080.1
Commentry	150		Cha1	Cha	Cha	3	633 000.0	2 142 000.0
Compilbat	151		BaF1	F	F, U	12	589 290.7	1 930 380.8
Costabonne	152		W2	W	W	66	601 303.2	1 711 820.1

Caractérisation des pollutions potentielles relatives aux sites miniers du territoire français métropolitain

Gîte	ID	CODE_MW	CD1	Subst1	Substances 2	Dept	X_lamb2	Y_lamb2
Courcelles-Fré moy	153		BaF1	F	F, Ba	21	740 400.0	2 273 100.0
Coussat	154		U1	U	U	23	569 000.0	2 145 000.1
Coutras (Le Fieu)	155		U2	U	U	33	412 000.0	2 310 000.0
Creac'h Ibil	237		Au3	Au	Au	29	116 299.9	2 353 619.5
Decazeville	131	FRA0329	Cha1	Cha	Cha	12	593 895.5	1 949 796.0
Decize (La Machine)	156	FRA0309-FRA0310	Cha1	Cha	Cha	58	685 800.0	2 209 750.0
Devay	238		Cha1	Cha	Cha	58	695 036.0	2 198 986.8
Diélette	88	FRA0164	Fe3	Fe	Fe	50	294 832.6	2 513 159.4
Echassières	239	FRA0028	Sn1	Sn	Sn, W, Li, Ta,	3	647 200.0	2 131 100.0
Egreuil	157		BaF1	F	F, Ba	58	705 200.0	2 239 300.0
Embrosse	240		Au3	Au	Au	87	485 675.0	2 115 350.0
Enguialès (Mirabel)	57	FRA0105	W1	W	W, As, Pyr	12	615 209.6	1 962 905.7
Ersa (Castagnone)	26	FRA0049	Sb1	Sb	Sb	2	1 175 850.2	1 800 732.6
Escaro	113	FRA0232	BaF1	F	F, Ba	66	597 293.7	1 726 354.5
Estables	241		BaF1	Ba	Ba, F	48	691 658.2	1 962 835.3
Fanay	158		U1	U	U	87	523 700.0	2 112 300.0
Fau Marié	159		Au3	Au	Au	87	520 850.0	2 063 300.1
Ferran	242		Au3	Au	Au	9	519 083.1	1 762 907.6
Ferrières	243		W2	W	W	81	609 213.2	1 851 389.7
Figeac	60	FRA0117	Zn3	Zn	Zn, Pb, Ag	46	574 583.3	1 959 605.1
Font d'Arques - Villeneuvevette	160		BaF1	Ba	Ba, Cu	34	685 627.0	1 844 805.8
Fontsante	126	FRA0280	BaF1	F	F	83	964 139.7	1 848 457.4
Fritot "B"	244		Au3	Au	Au, Pb, Ag	50	300 012.0	2 507 603.0
Fritot Ouest	245		Au3	Au	Au, Zn, Pb, Ag	50	299 352.0	2 506 963.0
Fumade	246		W2	W	W	81	613 118.9	1 850 889.2
Fuveau - Gardanne	132	FRA0337 à FRA0340 ; FRA0345 à FRA0351	Cha2	Lign	Lign	13	860 921.5	1 827 995.6
Gareillas	247	FRA0090	Au1	Au	Au, Ag, As	87	522 400.0	2 063 100.0
Garrot	161	FRA0279	BaF1	F	F	83	958 530.1	1 848 843.6
Génolhac	248		Au3	Au	Au	48	729 743.2	1 930 235.7
Giomagny (Saint Pierre)	29	FRA0052	Zn3	Pb	Pb, Ag, Cu	90	926 300.0	2 315 300.0
Glorianes	162		Au1	Au	As, Au	66	617 539.7	1 734 023.1

Caractérisation des pollutions potentielles relatives aux sites miniers du territoire français métropolitain

Gîte	ID	CODE_MW	CD1	Subst1	Substances 2	Dept	X_lamb2	Y_lamb2
Gouzon (Le Gouzon)	163		U1	U	U	23	593 026.6	2 131 139.8
Graissessac	130	FRA0320	Cha1	Cha	Cha	34	663 289.7	1 853 907.2
Guerdérien	249		Zn3	Zn	Zn, Pb, Ag	22	179 231.9	2 408 266.7
Halouze (Ferrières-aux-Étangs)	86	FRA0161	Fe1	Fe	Fe	61	383 098.6	2 413 852.3
Hostens	127	FRA0297	Cha2	Lign	Lign	33	361 822.7	1 949 100.9
Huelgoat	19	FRA0037	Zn3	Pb	Pb, Ag	29	151 385.5	2 389 472.1
Hyverneresse	164		U1	U	U	23	585 000.0	2 091 500.0
Jarra (Mont Jara)	165	FRA0182	BaF1	Ba	Ba	64	304 674.0	1 805 123.9
Jussey	90	FRA0167	Fe1	Fe	Fe	70	866 100.0	2 319 700.0
Kerhervé	250		Au3	Au	Au, Ag, Zn, Pb	22	193 494.5	2 406 838.8
Kerhuo	251		Zn3	Zn	Zn, Pb, Ag	56	159 650.3	2 364 383.4
L'Arboussas	166		Al1	Al	Al	34	669 402.8	1 845 097.4
L'Ecarpière	167		U1	U	U	44	332 200.0	2 238 700.0
L'Echasserie	252		W1	W	W, Sn, Sb, Mo, Bi	49	362 747.4	2 250 668.9
La Babinais	253		Au3	Au	Au	44	346 984.0	2 293 264.3
La Baume	61	FRA0118	Zn3	Pb	Pb, Zn, Ag	12	577 379.8	1 926 879.1
La Baussonnière	254		Sb1	Sb	Sb	85	353 900.1	2 202 400.0
La Bellière	66	FRA0123	Au3	Au	Au	49	344 699.9	2 257 200.0
La Bessade	13	FRA0025	Sb1	Sb	Sb, Au	43	673 815.1	2 021 649.4
La Besse	168		U1	U	U	19	584 596.5	2 018 329.6
La Bunoudière	255		Au5	Au	Au, Ag, Zn, Pb	61	403 210.6	2 405 156.7
La Capoulade	256		Sn1	Sn	Sn	34	657 936.4	1 843 640.0
La Chapelle en Juger (La Mesnildot)	330		Hg1	Hg	Hg	50	340 779.0	2 466 010.0
La Chapelle Largeau	169		U1	U	U	79	358 400.0	2 221 100.0
La Charbonnière (Châtenet)	114	FRA0237	BaF1	F	F	87	509 800.0	2 146 800.0
La Chassagne	10	FRA0022	Sb1	Sb	Sb	43	677 211.5	2 029 352.7
La Commanderie	170		U1	U	U	79	359 400.0	2 218 500.0
La Croix de Pallières	41	FRA0086	Zn3	Zn	Zn, Pb, Ag, Cd, Ge	30	728 544.8	1 895 004.6
La Croix-aux-Mines	53	FRA0099	Zn3	Ag	Ag, Pb, Cu	88	950 038.0	2 367 460.7
La Crouzille, Marnac	171		U1	U	U	87	520 640.0	2 111 700.0
La Favière (La Baisse)	75	FRA0136	W2	W	W	83	962 420.4	1 847 191.1

Caractérisation des pollutions potentielles relatives aux sites miniers du territoire français métropolitain

Gîte	ID	CODE_MW	CD1	Subst1	Substances 2	Dept	X_lamb2	Y_lamb2
La Ferrière	96	FRA0174	Fe1	Fe	Fe	49	361 500.0	2 307 700.1
La Fouctière	257		Au3	Au	Au	49	380 369.0	2 179 030.0
La Gineste	258		W2	W	W	34	657 485.3	1 844 841.6
La Glacrie	172		Det1	Ti	Ti, Zr	50	318 148.3	2 518 617.7
La Haie Claire	259		Zn2	Zn	Ag, Zn, Pb, Cu, Au	44	351 711.1	2 275 640.6
La Licoulne	6	FRA0013	Sb1	Sb	Sb	43	679 517.0	2 020 352.3
La Loubatière	35	FRA0073	Zn3	Pb	Pb, Zn, Ag	11	593 389.1	1 822 545.1
La Lucette	68	FRA0126	Sb1	Sb	Sb, Au	53	357 703.8	2 348 896.0
La Meignanne	260		Au3	Au	Au	49	374 131.6	2 284 334.4
La Mure	173	FRA0352-FRA0364	Cha1	Cha	Cha	38	870 404.6	1 998 690.0
La Petite Faye	261	FRA0089	Au3	Au	Au	23	541 200.0	2 127 400.0
La Plagne	81	FRA0152	Zn3	Pb	Pb, Ag	73	939 165.6	2 066 356.3
La Planchette	262		Au2	Au	Au, Sb	19	558 794.0	2 028 937.0
La Porte-aux-Moines	263	FRA0044	Zn2	Zn	Zn, Cu, Pb, Ag	22	209 226.6	2 379 050.3
La Rabasse	36	FRA0074	Zn3	Pb	Pb, Zn, Au	34	659 880.5	1 864 119.8
La Rousselière	264		Zn2	Zn	Zn, Pb, Mo, Ag, W, Cu, Bi	44	331 693.2	2 275 212.5
La Selle-Craonnaise	265		Au3	Au	Au	53	347 500.0	2 322 500.0
La Selle-Guerchaise	266		Au3	Au	Au	35	337 500.0	2 332 100.1
La Télachère	267		Au2	Sb	Sb, Au	85	323 833.2	2 215 356.2
La Telhaie	268		Zn3	Zn	Zn, Pb, Ag	56	265 650.0	2 326 870.1
La Villeder	174		Sn1	Sn	Sn	56	240 100.0	2 230 100.0
Lacan (Malacroux)	117	FRA0248	BaF1	Ba	Ba	12	636 431.3	1 931 486.1
Laffaud (Ougney)	91	FRA0168	Fe1	Fe	Fe	39	851 700.0	2 253 600.0
Langeac	269		Au3	Au	Au	43	691 026.0	2 010 457.0
Langeac (Marsanges)	104	FRA0196	BaF1	F	F, Ba	43	690 629.6	2 005 155.0
Lanmeur	270		Sn2	Sn	Sn, Cu, Ag, Bi	29	150 568.5	2 424 480.0
Lanvollon	271		Au5	Au	Au	22	204 450.5	2 422 628.4
Largentière	82	FRA0153	Zn3	Pb	Pb, Ag, Zn, Sb	7	756 393.4	1 950 865.3
Las Cabesses	54	FRA0100	Mn1	Mn	Mn	9	515 030.8	1 773 180.9
Lastours	272		Au2	Sb	Sb, Au	87	504 900.0	2 072 900.0
Laurières	44	FRA0091	Au3	Au	Au	87	514 500.0	2 063 500.0

Caractérisation des pollutions potentielles relatives aux sites miniers du territoire français métropolitain

Gîte	ID	CODE_MW	CD1	Subst1	Substances 2	Dept	X_lamb2	Y_lamb2
Le Beix	103	FRA0195	BaF1	F	F, Ba	63	620 200.0	2 078 500.0
Le Bernardan (Jouac)	175		U1	U	U	87	515 750.0	2 148 250.0
Le Bleynard	40	FRA0084	Zn3	Zn	Zn, Pb, Ag	48	710 987.1	1 942 234.8
Le Bourneix - Cros-Gallet	48	FRA0094	Au3	Au	Au	87	503 300.0	2 061 500.0
Le Brugeaud	176		U1	U	U	87	525 000.0	2 124 500.0
Le Burc	123	FRA0260	BaF1	F	F, Cu	81	605 607.2	1 874 721.0
Le Cellier	177		U1	U	U	48	708 163.1	1 970 051.7
Le Cerisier	71	FRA0129	Cu1	Cu	Cu	6	964 708.3	1 899 227.8
Le Chardon	178		U1	U	U	44	322 800.0	2 240 400.0
Le Châtelet	47	FRA0093	Au1	Au	Au, As	23	610 200.1	2 132 700.0
Le Collet-de-Dèze (La Felgerette)	38	FRA0076	Sb1	Sb	Sb, As	48	725 721.9	1 916 825.0
Le Colombier	7	FRA0017	Sb1	Sb	Sb	63	635 200.1	2 081 400.0
Le Coudreau	273		Au3	Au	Au	53	371 097.6	2 314 294.3
Le Fraisse	1		U1	U	U	87	524 050.0	2 114 400.0
Le Fraisse (Frayse)	12	FRA0024	Sb1	Sb	Sb, Zn	43	674 213.4	2 025 150.2
Le Grand Fraud	274		Au3	Au	Au	46	569 304.1	1 990 390.5
Le Monteil d'Entraigues	275		BaF1	Ba	Ba, Pb, Ag	19	599 650.0	2 057 032.0
Le Moulinat	125	FRA0262	BaF1	F	F	81	608 010.4	1 868 813.6
Le Plessis	276		Zn2	Zn	Zn, Pb, Cu, Au, Ag	44	318 161.0	2 283 277.0
Le Rétail (Bonnière)	329		U1	U	U	44	347 345.0	2 232 657.0
Le Rocheray (Bois Feuillet)	84	FRA0158	BaF1	F	F, Pb, Zn	73	913 529.2	2 039 493.5
Le Semnon	22	FRA0039	Sb1	Sb	Sb, Au	35	324 100.0	2 322 300.0
Le Serre	277		Zn3	Zn	Zn, Pb, Ag	12	582 484.2	1 926 278.0
Le Soulier	32	FRA0062	Zn2	Pyr	Pyr, Zn, F	30	738 944.6	1 907 127.8
Le Verger	78	FRA0140	Zn3	Zn	Zn, Pb	83	914 259.7	1 805 465.3
Le Viala	278		W1	W	W, Mo, As, Bi	12	617 360.6	1 966 107.9
Lécuras	279		Au1	Au	Au, As	87	515 700.0	2 069 300.0
Les Angles	280		Au2	Au	Au, Ag, Sb	19	558 196.9	2 034 371.1
Les Aspres	281		Au5	Au	Au	66	621 248.3	1 733 121.6
Les Baux (Canonnettes-Manville)	179		Al1	Al	Al	13	796 768.3	1 862 543.3
Les Biards	50	FRA0096	Sb1	Sb	Sb	87	513 800.7	2 050 559.6

Caractérisation des pollutions potentielles relatives aux sites miniers du territoire français métropolitain

Gîte	ID	CODE_MW	CD1	Subst1	Substances 2	Dept	X_lamb2	Y_lamb2
Les Bois Noirs	180		U1	U	U	42	707 100.0	2 108 000.0
Les Bondons (Le Cros)	181		U1	U	U	48	703 088.7	1 931 719.9
Les Bordes	282		Zn3	Zn	Zn, Pb, Ag	12	617 456.0	1 961 225.0
Les Bormettes	79	FRA0140	Zn3	Zn	Zn, Pb, Ag	83	919 884.3	1 799 066.1
Les Brouzils	283	FRA0124	Sb1	Sb	Sb	85	322 400.0	2 214 000.0
Les Crozes	284		Zn3	Zn	Zn, Pb, Ag	12	577 078.8	1 922 875.6
Les Farges	49	FRA0095	BaF1	Ba	Ba, Pb, Ag	19	600 300.1	2 060 200.0
Les Fosses	182		Fe2	Fe	Fe, Cu	73	907 720.1	2 064 800.0
Les Fouilloux	183		Au3	Au	Au	24	501 819.1	2 059 681.3
Les Gorges (+ Le Marzet, St Léger, Sauvagnac)	184		U1	U	U	87	528 600.0	2 113 000.0
Les Jallerys (Gruy)	185		U1	U	U	71	720 900.1	2 186 200.0
Les Malines	42	FRA0087	Zn3	Zn	Zn, Pb, Ag, Ba	30	703 426.7	1 881 167.3
Les Peyrouses	285		Zn3	Pb	Pb, Ag, Sn, Cu	63	636 650.0	2 090 900.0
Les Portes	186	FRA0272	BaF1	Ba	Ba, F	83	939 139.1	1 832 870.3
Les Praciaux	286		Zn3	Ag	Ag, Pb, Zn, As	63	627 350.0	2 120 050.0
Les Renauds	287		BaF1	Ba	Ba, F	58	717 000.0	2 207 000.0
Les Tourettes (Plasi)	187		W2	W	W, Au	62	381 306.9	1 769 316.0
Leucamp	15	FRA0027	W1	W	W, Pyr	15	617 209.4	1 974 913.0
Lignol (Kerlech)	188		U1	U	U	56	183 400.0	2 350 900.0
Lodève (Mas Lavayre)	189		U2	U	U	34	681 714.6	1 856 220.0
Lombre (l' Ainesse)	190		U2	U	U	3	640 600.0	2 179 300.0
Lons-le-Saunier (Plainoiseau)	191		Cha1	Cha	Cha	39	845 200.0	2 194 800.0
Lopérec	288		Au1	Au	Au, As	29	126 180.7	2 383 287.0
Loqueffret	289		Au3	Au	Au	29	142 887.0	2 388 544.0
Lucenay-les-Aix	290		Cha1	Cha	Cha	58	687 850.0	2 191 799.9
Luri (Castello, Spérgane)	27	FRA0050	Sb1	Sb	Sb	2	1 177 015.1	1 791 922.5
Maine	108	FRA0202	BaF1	F	F, Ba	71	750 300.0	2 230 100.0
Malabau	31	FRA0054	Au1	Au	As, Au, Ag	11	599 949.9	1 814 932.3
Malbosc (Le Fraissinet)	37	FRA0075	Sb1	Sb	Sb	30	738 624.3	1 927 046.9
Maleval (Challiac)	83	FRA0154	Zn3	Pb	Pb, Ag	7	789 503.6	1 975 743.1
Maranas	291		Au1	Au	Au, As	87	529 830.0	2 108 530.0

Caractérisation des pollutions potentielles relatives aux sites miniers du territoire français métropolitain

Gîte	ID	CODE_MW	CD1	Subst1	Substances 2	Dept	X_lamb2	Y_lamb2
Marigny-sur-Yonne	105	FRA0197	BaF1	F	F, Ba	58	699 500.0	2 255 699.9
Marmeissat	9	FRA0021	Sb1	Sb	Sb, Au	63	666 204.9	2 039 447.9
Martinèche - La Barre	101	FRA0193	BaF1	F	F	63	633 000.0	2 099 000.0
Mas Neuf	192		Al1	Al	Al	34	705 348.7	1 855 034.2
Massif de Labourd	292		Au5	Au	Au	64	300 595.4	1 818 706.6
Mas-Vieux	193		Au3	Au	Au	87	506 220.0	2 064 300.0
Maxonchamp	115	FRA0242	BaF1	F	F, Ba	88	920 300.0	2 334 700.1
May-sur-Orne	87	FRA0162	Fe1	Fe	Fe	14	402 040.6	2 458 809.6
Menglon	85	FRA0160	Zn1	Zn	Zn, Pb	26	848 849.1	1 969 233.9
Méria (Vallone, San Martino)	28	FRA0051	Sb1	Sb	Sb	2	1 179 000.0	1 794 642.4
Mérinchal (La Peyrouse)	194		Au2	Au	Au, Sb	23	611 200.0	2 102 700.0
Mesnard-La-Barotière	293		Au2	Au	Au, Sb	85	337 715.5	2 212 801.5
Messeix	195		Cha1	Cha	Cha	63	617 500.0	2 068 700.0
Mézos	294		Cha2	Lign	Lign	40	325 206.3	1 904 627.2
Miglos	295		Au3	Au	Au	9	540 222.4	1 752 625.5
Moncoustan	296		Au5	Au	Au	9	516 584.1	1 773 530.7
Mont Marcus - l' Hermita	111	FRA0226	BaF1	Ba	Ba, Cu, Pb	11	612 224.7	1 769 147.8
Montagaud	196		U1	U	U, F, Ba	23	571 600.0	2 144 500.0
Montalimbert	99	FRA0189	BaF1	Ba	Ba, F, Pb	3	652 200.0	2 162 000.0
Montauriol	297		Au2	Au	Au, Sb	66	630 420.0	1 729 013.9
Montbelleux - Luitré (district)	25	FRA0042	W1	W	W, Sn	35	339 761.2	2 371 463.5
Montebras	51	FRA0097	Sn1	Sn	Sn, Nb, Ta	23	597 100.0	2 146 900.0
Montgaillard (Saint Estèbe)	33	FRA0068	BaF1	Ba	Ba, Cu	11	624 349.6	1 766 744.5
Montmarçon	298		Zn3	Ag	Zn, Pb, Cu, Ag	36	563 100.0	2 164 600.0
Montpestels	118	FRA0250	BaF1	Ba	Ba, F	12	589 191.6	1 943 291.3
Montredon-Labessonnié	56	FRA0104	W1	W	W	81	599 299.1	1 859 000.1
Montrroc	124	FRA0261	BaF1	F	F, Cu	81	602 403.2	1 868 613.1
Mozé-sur-Louet	299		Au2	Au	Au, Sb	49	384 176.8	2 266 072.1
N.D. de la Brune	300		Zn3	Zn	Zn, Pb, Ag	81	595 744.4	1 867 211.2
Nades	197		Sb1	Sb	Sb	3	648 500.0	2 128 800.0
Néravaud	301		Au5	Au	Au, W	23	536 525.1	2 133 450.1

Caractérisation des pollutions potentielles relatives aux sites miniers du territoire français métropolitain

Gîte	ID	CODE_MW	CD1	Subst1	Substances 2	Dept	X_lamb2	Y_lamb2
Nesplé	302		Au1	Au	Au, As	11	604 608.0	1 820 542.0
Neuf-Jours	303		W1	W	W, Mo	19	592 650.0	2 066 525.0
Nizerolles (Régnier)	100	FRA0191	BaF1	F	F	3	700 400.0	2 124 100.0
Nord-Limoges	304		Au1	Au	Au, As	87	515 967.0	2 100 980.8
Nord-Ussel	305		Au3	Au	Au	19	599 950.1	2 070 225.0
Nouzillères	46	FRA0092	Au1	Au	Au, As	87	510 100.0	2 063 300.1
Osfonds (Conc. La Licouline)	8	FRA0019	Sb1	Sb	Sb	43	676 915.3	2 022 251.2
Ouche	14	FRA0026	Sb1	Sb	Sb	15	665 809.4	2 030 146.8
Padiès	121	FRA0258	BaF1	F	F	81	601 902.2	1 892 742.6
Pech-la-Rode	306		Au3	Au	Au	46	574 674.4	1 973 194.1
Pédaque	307	FRA0244	Zn3	Zn	Zn, Pb, Ag, Ba	46	566 583.3	1 981 219.2
Pen Pouri	308		Zn3	Zn	Zn, Pb, Ag	65	414 827.7	1 771 172.0
Pennaran (Pen Ar Ran)	198		U1	U	U	44	241 396.7	2 330 402.1
Pessens	120	FRA0253	BaF1	Ba	Ba, F	12	625 322.0	1 929 582.0
Peyrebrune	55	FRA0103	Zn3	Pb	Pb, Zn, Ag	81	593 090.7	1 862 204.6
Pierrefitte	64	FRA0121	Zn3	Zn	Zn, Pb, Ba	65	400 953.8	1 774 197.0
Pierre-Perthuis (Pontaubert)	199		BaF1	F	F, Ba	89	709 900.0	2 271 200.0
Pierres Plantées	200		U1	U	U	48	704 065.7	1 963 344.4
Pinardeau	309		W1	W	W	16	468 485.0	2 121 050.0
Plélauff	18	FRA0035	Zn3	Pb	Pb, Zn	22	188 646.1	2 371 788.6
Plonévez	310		Au3	Au	Au	29	110 120.8	2 369 894.3
Pontgibaud (district)	5	FRA0011	Zn3	Pb	Pb, Ag	63	638 800.0	2 096 000.0
Pontpéan	21	FRA0038	Zn3	Pb	Pb, Ag, Zn, Cd, Ge	35	297 900.1	2 343 100.0
Poullaouen	20	FRA0037	Zn3	Pb	Pb, Ag	29	155 882.9	2 390 487.2
Pressac	11	FRA0023	Sb1	Sb	Sb	43	663 507.5	2 033 546.1
Puig des Maurous	311		Au1	Au	Au, As	66	612 679.1	1 730 414.4
Puy-les-Vignes	52	FRA0098	W1	W	W, Sn	87	537 400.0	2 092 100.0
Puymorens	92	FRA0169	Fe2	Fe	Fe	66	553 292.1	1 727 665.2
Quingé-Arbec	312		Au3	Au	Au	49	393 362.9	2 212 479.3
Rancié	94	FRA0172	Fe2	Fe	Fe, Mn	9	533 357.3	1 751 726.6
Renardières - Rochefroide	201		Au3	Au	Au	87	504 345.0	2 062 134.7

Gîte	ID	CODE_MW	CD1	Subst1	Substances 2	Dept	X_lamb2	Y_lamb2
Rochetréjoux	67	FRA0125	Sb1	Sb	Sb	85	345 550.0	2 204 500.0
Romanèche	17	FRA0031	Mn1	Mn	Mn, F	71	785 200.0	2 135 100.1
Ronchamp	202		Cha1	Cha	Cha, U	70	920 200.0	2 311 200.0
Rosmellec	313		Zn3	Zn	Zn, Pb, Ag	56	155 746.8	2 361 021.2
Rosnoen	314		Sb1	Sb	Sb	29	115 298.7	2 384 146.8
Rouez	65	FRA0122	Au4	Au	Au, Ag	72	419 300.0	2 350 600.0
Rougé (La Noé Rouge)	97	FRA0175	Fe1	Fe	Fe	35	315 800.0	2 318 400.0
Rougé (Teillay 1)	98	FRA0175	Fe1	Fe	Fe	35	299 300.0	2 324 100.0
Sain-Bel	80	FRA0145	Zn2	Cu	Cu, Pyr	69	777 000.0	2 091 600.1
Saint-Daumas - Pic Martin	73	FRA0133	BaF1	F	F, Pb, Zn,	83	931 552.0	1 822 134.3
Sainte-Anne	315		Au5	Au	Au	35	282 590.4	2 309 154.5
Saint-Eloy	203		Cha1	Cha	Cha	63	639 300.0	2 130 100.0
Sainte-Marie-aux-Mines	2	FRA0001	Zn3	Ag	Ag, Pb, Cu	68	960 347.3	2 370 733.9
Saint-Etienne-de-Lugdarès	204		BaF1	F	F, Ba	7	729 083.6	1 961 364.4
Saint-Fiacre	316		Zn3	Zn	Zn, Pb, Ag	56	193 831.0	2 346 536.2
Saint-Geniez-d'Olt (Le Minier)	205	FRA0251	BaF1	Ba	Ba, F, Pb	12	652 240.2	1 944 001.5
Saint-Germain-des-Prés	317		Zn2	Zn	Zn, Pb, Cu, Ag	49	360 200.0	2 272 300.0
Saint-Jean-du-Gard	318		Au3	Au	Au	30	719 837.8	1 902 938.8
Saint-Pierre-du-Bû	206		Det2	Zr	Zr, Ti	61	412 185.5	2 432 606.1
Saint-Pierre-du-Cantal	207		U2	U	U	19	603 900.1	2 043 432.1
Saint-Renan (district)	24	FRA0041	Sn3	Sn	Sn	29	85 415.8	2 405 040.0
Saint-Romain (Moulin de Feuyas)	208		Au3	Au	Au, Pyr, Zn	24	486 963.6	2 049 372.2
Saint-Rome-du-Tarn	209	FRA0249	BaF1	Ba	Ba	12	644 350.2	1 893 750.9
Saint-Salvy (+Noailhac)	63	FRA0120	Zn3	Zn	Zn, Ge, Ag	81	602 403.6	1 844 278.9
Saint-Sauveur-Lendelin	210		Zn2	Zn	Zn, Au, Ba	50	326 227.1	2 465 157.9
Saint-Sébastien d'Aigrefeuille	34	FRA0072	Zn3	Pb	Pb, Ag	30	732 442.4	1 902 116.0
Saint-Symphorien-de-Marmagne	211		U1	U	U	71	752 000.0	2 205 400.0
Saint-Véran	70	FRA0128	Cu2	Cu	Cu	5	963 207.6	1 974 991.9
Saint-Yvi	319		Au3	Au	Au	29	141 938.4	2 347 094.3
Salau (Anglade)	58	FRA0106	W2	W	W	9	505 796.3	1 748 936.2
Salencs	320		Au5	Au	Au	9	528 999.8	1 755 436.7

Caractérisation des pollutions potentielles relatives aux sites miniers du territoire français métropolitain

Gîte	ID	CODE_MW	CD1	Subst1	Substances 2	Dept	X_lamb2	Y_lamb2
Salsigne	30	FRA0053	Au1	Au	Au, As, Bi, Cu	11	601 502.6	1 815 132.6
Soulobres	321		Zn3	Zn	Zn, Pb, Ag, Ba	12	653 306.8	1 903 364.6
Stival	322		Zn3	Ag	Ag, Zn, Pb, Sb	56	202 444.2	2 355 818.3
Sussac	323		Zn3	Zn	Zn, Sn, Cu	87	545 900.0	2 074 575.0
Teilary	212		Zn3	Zn	Zn, Pb	64	296 633.1	1 792 818.1
Teillay 2	213		Det1	Ti	Ti, Zr	35	311 200.0	2 318 800.0
Teillé	324		Zn3	Zn	Zn, Pb, Ag	44	330 400.0	2 278 900.0
Trébas	122	FRA0259	BaF1	F	F, Cu	81	610 262.5	1 883 081.7
Tréguennec	325		Sn1	Sn	Sn, Ta, Nb, Li, Be	29	100 500.0	2 340 800.0
Ty Gardien (Les Moulins)	23	FRA0040	Sb1	Sb	Sb	29	122 600.1	2 354 800.0
Val d'Ajol (Bas d'Hérival)	214		BaF1	Ba	Ba, F	88	912 800.0	2 337 800.0
Valauria (Minière de Valaure)	77	FRA0139	Zn3	Zn	Zn, Pb, Ag	6	1 014 734.5	1 910 280.6
Valcros	74	FRA0135	Sb1	Sb	Sb	83	920 668.1	1 806 882.3
Vay	326		Au3	Au	Au	44	296 685.6	2 291 542.6
Verreries de Moussan	327		Au5	Au	Au	34	626 492.6	1 827 505.6
Vieuville	328		Au3	Au	Au	53	350 600.1	2 326 800.1
Villardonnell	215		Au1	Au	As, Au	11	598 898.1	1 814 231.1
Villemagne	39	FRA0083	Zn3	Pb	Pb, Zn	30	688 394.4	1 902 881.9
Villeranges	216		Au2	Au	Au, Sb	23	601 400.0	2 133 500.0
Villeveyrac (district)	217		Al1	Al	Al	34	700 956.0	1 836 303.2
Voltennes	107	FRA0201	BaF1	F	F, Ba	71	740 300.0	2 227 400.0

Annexe 2 : Fiche individuelle de renseignement - Exemple du gisement Au-Sb de la Lucette.

numero ID	68
Gîte	La Lucette
District	Laval
N°BSS	0319-6x-4002
N°MW	FRA0126
Code CD1	Sb1
X lambert 2 Etendu	357 703.8
Y lambert 2 Etendu	2 348 896.0
Base	MINET3 07
Substance 1	Sb
Substances	Au
Statut	Ancienne exploitation
Type exploitation	Souterrain
Période d'activité	1900 - 1913; 1916 - 1934
Titulaire du titre minier	Sté Nouvelle des Mines de la Lucette
Situation 2001	dernier concessionnaire : Sté des Mines de La Lucette; demande de renonciation en 1996
Minerai	arsénopyrite, Or natif, Pyrite, Sphalérite, Stibine
Morphologie	Champ filonien
Encaissant	Schiste, Grès, Quartzite
Gangue	Quartz, Calcite
Région	Pays de Loire
Département	53
Surface mine	NON
Underground mine	OUI
Mineral Processing plant	At mine site
Extractive metallurgy plant	-
Type of processing	Sizing Chemical treatment Smelting & refining
Type of final products	Concentrate Metals
Production globale Sb	42000 t
Production globale Au	8.35 t
Hazard description	Effondrements
Mining wastes pollutants	Sb, Fe, Zn, As, S

Annexe 3 : Occurrences minéralogiques dans les différents codes CD1

Nbre d'apparition par CD1	Al1	Au	BaF1	Cha	Fe	Hg1	Mn1	Sb1	Sn	U	W	MxB	total
Amblygonite									2				2
Anatase	2									1			4
Anglésite								1				9	10
Antimoine Natif								1					1
Apatite									1	1	3		5
Argent Natif		1										5	6
Argentite												4	4
Argyrose		1											1
Arseniate							1				1		2
Arsenic												1	1
Arsénopyrite		59	3					18	3	1	15	24	123
Autunite			2							19			21
Azurite			4							1		9	14
Barytine		1	39	2			1	2		6	1	10	62
Berthiérîte		9						17					26
Béryl									1		1		2
Bindheimite												1	1
Bismuth Natif									1	1	2		4
Bismuthine		5	1						2	2	9	2	21
Boehmite	4												4
Borate indifférencié											1		1
Bornite		1	3						1	1		8	14
Boulangérite		4			2							2	8
Bournonite		2	8					1			1	15	27
Calamine												5	5
Calcite			1										1
Cassitérite		3							8		8	6	25
Cérusite			4								1	16	21
Chalcocine			6							2		10	18
Chalcopyrite		30	25	1	3		1	6	4	8	13	52	143
Cinabre		1	1			1		1				1	5
Clausthalite										1			1
Cobaltite											1	1	2
Coffinite										9			9
Columbo-tantalite									3				3
Cosalite									1				1
Covellite		1	12					2	2	3	3	8	31
Cubanite											2	2	4
Cuivre Gris		8	9		2			2				21	42
Cuivre Natif						1						2	3
Cuprite			2							1		2	5
Digénite											1	3	4
Electrum		2											2
Emplectite										1			1
Enargite									1			2	3
Feldspath									1				1
Ferbérite											1		1
Fluorine			42		1		1		1	7	2	5	59

*Caractérisation des pollutions potentielles relatives aux sites miniers du territoire français
métropolitain*

Nbre d'apparition par CD1	Al1	Au	BaF1	Cha	Fe	Hg1	Mn1	Sb1	Sn	U	W	MxB	total
Galène		31	35	2	5			2		10	7	63	155
Gersdorffite											1	3	4
Gibbsite	1												1
Goethite	3		6		2		2		1	2	2	2	20
Graphite		2	1	19							1		23
Greenockite										1		3	4
Gummite										11			11
Gypse												1	1
Hématite	4		3		12		2			3	1	2	27
Hémimorphite												2	2
Herdérite									1				1
Hydrozincite			1									3	4
Ilménite									1			1	2
Jamesonite		3	1									1	5
Kaolinite	4								1			1	6
Kermésite		2						1					3
Klockmannite										1			1
Lépidocrocite			1		2								3
Lépidolite									3				3
Limonite		2	6		5			1		1	1	10	26
Löllingite		2								1	2	2	7
Magnétite		2			8		1		2		3	5	21
Malachite		1	11									8	20
Manganite			1										1
Marcasite		3	9		1			7		12	3	15	50
Mélanterite				1									1
Melnicovite										2	2	1	5
Molybdénite		2				1			1		10	2	16
Monazite					1				1	1			3
Montebrasite									1				1
Muscovite											1		1
Nickéline												1	1
Oligiste			1		4							2	7
Or Natif		35			1			3				7	46
Oxydes d'uranium										7			7
Oxydes de cuivre												1	1
Oxydes Mn	1		2		1					1		1	6
Paraguajuatite										1			1
Pechblende				1						24		1	26
Pentlandite												1	1
Phosphate										1			1
Phosphuranylite										2			2
Polybasite												4	4
Proustite		1											1
Psilomélane					1		2						3
Pyrargyrite		1										6	7
Pyrite		57	28	3	7	1	1	20	3	15	18	47	200
Pyrolusite			2		2		1						5
Pyromorphite			6							1		7	14
Pyrrhotite		14					1	2		1	11	11	40
Renardite										1			1

*Caractérisation des pollutions potentielles relatives aux sites miniers du territoire français
métropolitain*

Nbre d'apparition par CD1	Al1	Au	BaF1	Cha	Fe	Hg1	Mn1	Sb1	Sn	U	W	MxB	total
Rhodochrosite							1						1
Rhodonite							1						1
Roquésite									1				1
Scheelite		6							1		20	2	29
Scorodite									1				1
Sidérose (Sidérite)		1	5	2	8						1	6	23
Smithsonite												3	3
Sphalérite		33	22	2	4			18	2	4	13	59	157
Stannite									1		2	6	9
Stibine		19						24			1	4	48
Tennantite												2	2
Tétraédrite		2	1		1							5	9
Torbernite										5			5
Tourmaline											1		1
Tungstite											1		1
Ullmannite								1					1
Umangite										1			1
Uraninite										1			1
Uranocircite										2			2
Uranotile										11			11
Valentinite								1					1
Wittichénite										1			1
Wolframite		6							3		11	2	22
Wulfénite												1	1
Wurtzite												1	1

Annexe 4 : Taux d'apparition des éléments chimiques (100 x nombre de fois où l'élément est cité en minéralogie / nombre de sites) dans les différents codes CD1. Les valeurs supérieures à 100 indiquent que l'élément est présent sous plusieurs formes minéralogiques sur chaque site considéré

CD1	Ag	Al	B	Ba	Be	Ce	F	Hg	In	La	Li	Mn	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Ta	Th	U	W	Zn
Al1		129										14													
Au1	20							13				13					73	47						27	67
Au2																	11	189							44
Au3	23			3				13				8	3				64	56		3				15	62
Au4	100																								
Au5	7							14				7	7				21	29		14				14	21
BaF1	18			78			84	20				10					108	38					4		64
Cha1				12													12						6		12
Cu1																	150								50
Cu2																	100			100					100
Fe1												11					11								
Fe2	40					20	20	40		20		60			20		120	100				20			120
Fe3				150																					
Hg1				8				100					100												
Mn1		180					50					250													
Sb1	8							13								4	17	200							83
Sn1					40		180				80	100		60						100	60			40	20
Sn2				30					50				50				50	50		150					50
Sn3						100				100		100			100					100		100		200	
U1							30					4					48		15				337		15
U2		15	15	8		25				25					25							25			
W1				50			10					100	50				40	20		80				210	60
W2					8		38					8	38			8	38			15				92	54
Zn1																	100								300
Zn2	73			18				55					18				118	64		27				9	173
Zn3	62	2		13			10	31				6	2			10	187	100		15			2	6	135

Centre scientifique et technique
Service Ressources Minérales
3, avenue Claude-Guillemain

BP 6009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 33 (0)2 38 64 34 34