

Document public

Évolution Base de données « Gisements France » : Atlas des substances critiques et stratégiques

Rapport final

BRGM/RP-71133-FR

Décembre 2021



Document public

Évolution Base de données « Gisements France » : Atlas des substances critiques et stratégiques

Rapport final

BRGM/RP-71133-FR

Décembre 2021

Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 2020-2021
avec le soutien du Ministère de la Transition Écologique

B. Gourcerol, T. Gutierrez, A. Pochon, M. Picault, E. Gloaguen, E. Fournier

Vérificateur :

Nom : Guillaume Bertrand

Fonction : Responsable d'unité
DGR/GEM

Date : 07/12/2021

Signature :



Approbateur :

Nom : François Prognon

Fonction : Directeur adjoint à la
Direction des Géoressources (DGR)

Date : 10/12/2021



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

Contact : qualite@brgm.fr



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots-clés : Base de données, ProMine, Armada, Métallogénie, France, Gisement, Ressources minérales, Économie, Atlas

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

B. Gourcerol, T. Gutierrez, A. Pochon, M. Picault, E. Gloaguen, E. Fournier (2021) – Évolution Base de données « Gisements France » : Atlas des substances critiques **et stratégiques**. Rapport final. BRGM/RP-71133-FR, 66 p., 31 fig., 18 tabl.

Synthèse

La présente étude a été réalisée dans le cadre de la convention 210 330 3671 DEB-BRGM 2021 signée entre la Direction de l'Eau et de la Biodiversité (DEB) du Ministère de la Transition Écologique (MTE) et le BRGM.

Ce présent rapport constitue une synthèse des travaux effectués sur les diverses mises à jour depuis 2012 sous forme d'atlas des substances critiques et stratégiques. Cet atlas, initié par Deschamps *et al.* (2002) au travers notamment de la publication du site SIG Mines France (non disponible en ligne actuellement), se veut synthétique en présentant un bilan des ressources historiques estimées et des productions passées de ces différentes substances ainsi qu'un bref contexte géologique associé.

Soulignons l'important biais d'exploration à l'échelle nationale puisque la plupart des données historiques acquises durant l'Inventaire Minier (1975-1991) ne font pas état des ressources en certains petits métaux devenus critiques et stratégiques au cours des dernières décennies. Ainsi, leur représentativité dans les bases de données actuelle n'est pas représentative du potentiel national puisqu'ils ont été trop peu reportés. Afin de remédier à cet écart, de nouvelles acquisitions de données en France métropolitaine devront être envisagées.

Sommaire

1. Introduction	9
1.1 TERMINOLOGIE UTILISÉE.....	10
2. Révision de la base de données.....	11
2.1 RÉALISATION D'UN CONTRÔLE	11
2.2 VALIDATION DES DONNÉES ÉCONOMIQUES	12
2.3 AJOUT DE RÉFÉRENCES.....	13
3. Bilan des actions 2020 et 2021	15
3.1 STATISTIQUES DE L'ACTION 2021	15
4. Atlas des substances critiques et stratégiques	19
4.1 LE TUNGSTÈNE	19
4.2 L'ANTIMOINE	21
4.3 LE ZIRCONIUM	25
4.4 LE COBALT	26
4.5 L'HAFNIUM	28
4.6 LE VANADIUM	29
4.7 LE NIOBIUM	30
4.8 LE CHROME	32
4.9 LE LITHIUM.....	33
4.10 LE BÉRYLLIUM.....	35
4.11 LE CUIVRE.....	37
4.12 L'ÉTAIN	40
4.13 LE TELLURE	42
4.14 LE SCANDIUM	43
4.15 LE MOLYBDÈNE	44
4.16 LE TITANE	46
4.17 L'INDIUM	48

4.18 LE SÉLÉNIUM	49
4.19 LE TANTALE	50
4.20 LE NICKEL	52
4.21 LE GERMANIUM	54
4.22 LE GALLIUM.....	56
4.23 L'ARGENT	57
4.24 L'OR	60
5. Perspectives	63
6. Bibliographie	65

Liste des figures

Figure 1 : Exemple de l'onglet « Informations générales » du gisement de Beauvoir (France).	11
Figure 2 : Exemple de l'onglet « Économie » du gisement de Beauvoir (France) pour l'étain (ici entouré en rouge). Les références entourées en vert et bleu correspondent à celles de la Figure 3.	13
Figure 3 : Exemple de l'onglet « Bibliographie » du gisement de Beauvoir (France). Les références entourées en vert et bleu correspondent à celles de la Figure 2.	14
Figure 4 : Positionnement des éléments étudiés dans le cadre de la convention DEB 2021 sur l'évaluation de la criticité pour la France des substances ou groupes de substances étudiées par le BRGM dans le cadre des travaux pour le COMES (Comité des Métaux Stratégiques) (source : BRGM).	15
Figure 5 : Histogramme du nombre d'enregistrements mis à jour entre 2005 et 2021.	16
Figure 6 : Histogramme du nombre d'enregistrements créés entre 2005 et 2021.	16
Figure 7 : Histogramme du nombre d'indices, de gîtes ou de gisements mis à jour et/ou créés pour chaque substance.	16
Figure 8 : Répartition des enregistrements des gîtes mis à jour dans en 2021 sur fond géologique.	17
Figure 9 : Carte de distribution des gîtes de tungstène en France métropolitaine.	19
Figure 10 : Carte de distribution des gîtes d'antimoine en France métropolitaine.	22
Figure 11 : Carte de distribution des gîtes de zirconium en France métropolitaine.	25
Figure 12 : Carte de distribution des gîtes de cobalt en France métropolitaine.	27
Figure 13 : Carte de distribution du gîte de vanadium en France métropolitaine.	29
Figure 14 : Carte de distribution des gîtes de niobium en France métropolitaine.	30
Figure 15 : Carte de distribution des gîtes de chrome en France métropolitaine.	32
Figure 16 : Carte de distribution des gîtes de lithium en France métropolitaine.	33
Figure 17 : Carte de distribution des gîtes de béryllium en France métropolitaine.	35
Figure 18 : Carte de distribution des gîtes de cuivre en France métropolitaine.	37
Figure 19 : Carte de distribution des gîtes d'étain en France métropolitaine.	40
Figure 20 : Carte de distribution des gîtes de tellure en France métropolitaine.	42
Figure 21 : Carte de distribution des gîtes de scandium en France métropolitaine.	43
Figure 22 : Carte de distribution des gîtes de molybdène en France métropolitaine.	44
Figure 23 : Carte de distribution des gîtes de titane en France métropolitaine.	46
Figure 24 : Carte de distribution des gîtes d'indium en France métropolitaine.	48
Figure 25 : Carte de distribution des gîtes de sélénium en France métropolitaine.	49
Figure 26 : Carte de distribution des gîtes de tantale en France métropolitaine.	50
Figure 27 : Carte de distribution des gîtes de nickel en France métropolitaine.	52
Figure 28 : Carte de distribution des gîtes de germanium en France métropolitaine.	54
Figure 29 : Carte de distribution des gîtes de gallium en France métropolitaine.	56
Figure 30 : Carte de distribution des gîtes d'argent en France métropolitaine.	57
Figure 31 : Carte de distribution des gîtes d'or en France métropolitaine.	60

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification des gisements en fonction du volume pour les substances sélectionnées suivant la méthode proposée par Cassard <i>et al.</i> (2015).....	12
Tableau 2 : Principaux gîtes de tungstène français recensés en 2021. À noter que la catégorie E, ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).	21
Tableau 3 : Principaux gîtes d'antimoine français recensés en 2021. À noter que la catégorie E, ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).	24
Tableau 4 : Principaux gîtes de zirconium français recensés en 2021. Les classes sont calculées suivant le Tableau 1.	26
Tableau 5 : Principal gîte à cobalt recensé en 2021. À noter que la catégorie E, ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).	28
Tableau 6 : Estimation maximale des ressources métropolitaines en hafnium en considérant un ratio de zirconium(métal):hafnium(métal) de 34 :1. La classe est définie suivant le Tableau 1.	28
Tableau 7 : Principal gîte de niobium français recensé en 2021. À noter que la catégorie E, ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).	31
Tableau 8 : Principaux gîtes de lithium recensés en 2021. À noter que la catégorie E, ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).	34
Tableau 9 : Principaux gîtes de béryllium recensés en 2021. À noter que la catégorie E, ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).	36
Tableau 10 : Principaux gîtes de cuivre recensés en 2021. À noter que la catégorie E, ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).	39
Tableau 11 : Principaux gîtes d'étain recensés en 2021. À noter que la catégorie E, ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).	41
Tableau 12 : Principaux gîtes de molybdène recensés en 2021. À noter que la catégorie E, ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).	45
Tableau 13 : Principaux gîtes de titane recensés en 2021. À noter que la catégorie E, ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).	47
Tableau 14 : Principaux gîtes de tantale recensés en 2021. À noter que les catégories E, ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).	51
Tableau 15 : Principaux gîtes de nickel recensés en 2021. À noter que la catégorie E, ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).	53
Tableau 16 : Principaux gîtes de germanium recensés en 2021. À noter que la catégorie E, ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).	55
Tableau 17 : Principaux gîtes d'argent recensés en 2021. À noter que la catégorie E, ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).	59
Tableau 18 : Principaux gîtes d'or recensés en 2021. À noter que la catégorie E, ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).	61

1. Introduction

La présente étude a été réalisée dans le cadre de la convention DEB-BRGM 2021 signée entre la Direction de l'Eau et de la Biodiversité (DEB) du Ministère de la Transition Écologique (MTE) et le BRGM. Elle conclut l'action entamée en 2016 consistant à mettre à jour et à valider les données figurant dans la base de données (BDD) « Gisements, gîtes et indices France ».

Cette base de données a été créée dans les années 2000 à la demande du Conseil Scientifique du BRGM. Son architecture réutilise celles des bases de données « Ressources Minérales », « SIG Andes » et « SIG Afrique » développées au BRGM à partir de 1997 et dont la vocation et la motivation était, avant tout, métallogénique. Il s'agissait d'évaluer le potentiel minéral d'un district minier, d'une région ou d'un objet géologique minéralisé. Pour cela, une estimation du budget minéral (ou encore « dotation » ou potentiel [du gîte minéral]), basée sur la somme des productions passées, des réserves et des ressources (n'incluant pas les réserves), était suffisante.

Ce rapport synthétise le travail mené en 2021 et conclue l'action de révision de la base de données initiée en 2016 par la réalisation d'un atlas de cartes des substances critiques et stratégiques en France métropolitaine.

Pour plus de détail sur l'historique, et la structure de la base de données, se référer aux rapports BRGM/RP-69422-FR de décembre 2019 intitulé « *Évolution Base de données « Gisements France » : vers des données validées* » et BRGM/RP-69922-FR de décembre 2020 intitulé « *Évolution Base de données « Gisements France » : vers des données validées (action 2021)* ». Par ailleurs, la section 2. « *Révision de la base de données* » est semblable à celle de ces rapports sus-cités puisque la mission a été sensiblement identique.

1.1 TERMINOLOGIE UTILISÉE

Gisement : concentration naturelle de minéraux économiquement exploitables (notion économique associée à une temporalité comme les variations du cours des matières premières, ainsi qu'à des contraintes de faisabilité techniques).

Gîte : concentration naturelle de masses minérales contenant des métaux susceptibles d'être économiquement exploitables.

Indice ou prospect : minéralisation dont l'existence est connue grâce à des observations de terrain, éventuellement étayées par quelques sondages et petits travaux miniers (tels que des tranchées, galeries de reconnaissance) et/ou par des observations indirectes (géochimie ; géophysique) mais dont l'intérêt économique n'est pas encore démontré.

Minéral/minéraux : désigne une substance inorganique, d'origine naturelle, caractérisée par sa formule chimique et par l'arrangement de ses atomes selon une structure géométrique particulière.

Minéralisation : désigne une concentration naturelle élevée de minéraux dont l'exploitation pourrait présenter un intérêt économique. Il s'agit d'un concept plus large que le terme « minerai » qui, dans les gisements, désigne la partie exploitable (techniquement et économiquement) de la minéralisation.

Minerai : désigne une roche contenant une concentration d'un ou plusieurs minéraux en quantité suffisante pour être économiquement exploitable.

Potentiel géologique : il s'agit d'une première estimation, basée sur des critères et des raisonnements géologiques, de l'existence de gisements dans une région ou un pays.

Réserves : ce terme désigne l'ensemble des volumes de ressources accessibles et récupérables d'un gisement dont l'exploitabilité a été démontrée lors d'une étude de faisabilité et qui est à la fois rentable selon le marché actuel et techniquement extractible.

Ressources : il s'agit d'une minéralisation dont l'enveloppe et le volume ont fait l'objet d'une première estimation, encore imprécise, à l'aide de sondages, de petits travaux miniers, de prospection en surface et/ou d'observations indirectes par géochimie, géophysique, etc.

Un **gisement** est donc un **gîte** caractérisé par un ensemble de **minéralisations** dans lequel a été identifié un ensemble de **minerais** composés de **minéraux** ou de roches dont certains présentent une concentration suffisante pour être exploités (extraits) de façon économique.

2. Révision de la base de données

Cette section, plus largement détaillée dans les rapports BRGM/RP-69422-FR et BRGM/RP-69922-FR, présente un aperçu de l'ensemble des révisions effectuées lors de cette action 2021.

2.1 RÉALISATION D'UN CONTRÔLE OU D'UNE RÉVISION

Lors de la revue d'un gîte, le contrôleur indique son nom dans la case « contrôleur » et une date de contrôle est automatiquement incrémentée dans la base de données (Figure 1). Ces informations permettent de connaître le nom de la personne ayant modifié en dernier la fiche et la date de la dernière mise à jour, afin de garder une trace de la modification et du contexte (e.g., offre en cours, etc.) pour permettre la mise à niveau si nécessaire.

The screenshot shows the 'Description du gîte' window for the 'Gisement' Beauvoir. The window is divided into several sections:

- Identifiant:** FRA-00003
- Province:** Echassières, Ebreuil, dept 03, Massif central
- Statut:** B10 (Gisement en activité), B20 (Gisement en développement - projet)
- Longitude:** 2.95311
- Latitude:** 46.18131
- Pays:** FRANCE (République française)
- Auteur:** Deschamps Y.
- Date de création:** 14/09/2004
- Contrôleur:** Gloaguen E.
- Date de contrôle:** 28/09/2018
- Commentaires:** 20 000 t Sn + 5 000 t W03 + 5 000 t Ta-Nb + 280 000 t Li2O @ 0,7 % (potentiel) ; env. 2% Ta2O5 dans la cassitérite (Béziat et al., 1985) ; Potentiel géologique pour les 300 m supérieurs du granite : 1 Mt Li @ 1,3 % Li2O, 150 000 t Sn @ 0,1 % Sn, 20 000 t Ta @ 100 g/t Ta (Cuney et al., 1992) ; Granite de Beauvoir : 299 +/- 9 (Rb/Sr); 312 +/- 8 Ma (Rb/Sr); 308 +/- 2 Ma
- URL:** https://www.mindat.org/loc-45991.html, http://sigminefrance.brgm.fr/telechargement/substances/Sn
- Source:** Mindat Beauvoir, BRGM
- Nom de la base:** GEODE
- Identifiant dans la base:** x

The sidebar on the right contains the following actions:

- Retour au menu principal
- Vue avant impression pour ce gisement
- Ajouter un nouveau gisement
- Dupliquer ce gisement
- Supprimer ce gisement

Figure 1 : Exemple de l'onglet « Informations générales » du gisement de Beauvoir (France).

Par la suite, le statut du gîte peut être réévalué suivant son évolution et le contexte économique. Les coordonnées géographiques, les différents noms, les liens URL et les noms de BDD (incluant le numéro de la banque du sous-sol (BSS) associé) sont vérifiés et actualisés si nécessaire.

Une case « commentaires » est également disponible afin de pouvoir éventuellement compléter la description d'un gîte de toutes informations complémentaires pertinentes telles que les teneurs/tonnages du site, la/les compagnie(s) concernées par l'exploitation ou la détention du permis d'exploration, etc.

2.2 VALIDATION DES DONNÉES ÉCONOMIQUES

Cette veille sur la base de données permet de réévaluer le potentiel minier des gîtes en fonction des classes automatiquement calculées suivant la méthode proposée par Cassard *et al.* (2015). Ce calcul prend en compte, pour chaque substance, le contenu métal total présent dans le gisement (productions passées cumulées, plus réserves, plus ressources [n'incluant pas les réserves]) (Tableau 1).

Substances	Description	Valeurs de seuil de classes (en tonnes métriques)			
		Très grand gisement (Classe A)	Grand gisement (Classe B)	Gisement moyen (Classe C)	Petit Gisement (Classe D)
Ag	Argent (métal)	10 000	2 500	500	100
Al	Aluminium (minerai de bauxite)	1 000 000 000	100 000 000	10 000 000	1 000 000
Au	Or (métal)	500	100	10	1
Be	Béryllium (BeO)	20 000	2 000	200	50
Bi	Bismuth (métal)	20 000	2 000	200	2
Br	Baryte (BaSO ₄)	5 000 000	1 000 000	200 000	50 000
Cd	Cadmium (métal)	10 000	2 000	500	100
Co	Cobalt (métal)	500 000	50 000	2 000	200
Cr	Chrome (Cr ₂ O ₃)	25 000 000	5 000 000	1 000 000	200 000
Cu	Cuivre (métal)	10 000 000	1 000 000	100 000	10 000
Fe	Fer (métal)	1 000 000 000	100 000 000	10 000 000	1 000 000
Fl	Fluorine (CaF ₂)	5 000 000	1 000 000	200 000	50 000
Ga	Gallium (métal)	100	50	10	1
Ge	Germanium (métal)	500	100	20	5
Gr	Graphite (substance)	10 000 000	1 000 000	100 000	10 000
Hf	Hafnium (métal)	10 000	1 000	100	10
Hg	Mercure (métal)	50 000	5 000	500	100
In	Indium (métal)	500	100	25	5
Li	Lithium (Li ₂ O)	1 000 000	100 000	50 000	5 000
Mg	Magnésium, magnésite (MgCO ₃)	100 000 000	10 000 000	1 000 000	100 000
Mn	Manganèse (métal)	100 000 000	10 000 000	1 000 000	100 000
Mo	Molybdène (métal)	500 000	100 000	5 000	1 000
Nb	Niobium (Nb ₂ O ₅)	1 000 000	100 000	10 000	2 000
Ni	Nickel (métal)	2 000 000	500 000	20 000	2 000
PbZn	Plomb + Zinc (métal)	10 000 000	1 000 000	100 000	10 000
Pltd	Platinoïdes, groupe	1 000	100	10	1
Rb	Rubidium (Rb ₂ O)	1 000	100	10	1
Re	Rhénium (métal)	5 000	500	50	5
REE	Terres rares (RE ₂ O ₃)	1 000 000	100 000	10 000	1 000
Sb	Antimoine (métal)	100 000	25 000	2 000	1 000
Sc	Scandium (métal)	1 000	100	10	1
Se	Sélénium (substance)	5 000	1 000	250	50
Sn	Étain (métal)	200 000	25 000	1 000	100
Ta	Tantale (Ta ₂ O ₅)	25 000	2 000	1 000	200
Te	Tellure (métal)	500	100	20	5
Ti	Titane, général (TiO ₂)	20 000 000	2 000 000	200 000	20 000
V	Vanadium (métal)	2 000 000	200 000	20 000	2 000
W	Tungstène (WO ₃)	200 000	50 000	5 000	500
Zr	Zirconium (ZrO ₂)	1 000 000	100 000	10 000	1 000

Tableau 1 : Classification des gisements en fonction du volume pour les substances sélectionnées suivant la méthode proposée par Cassard *et al.* (2015).

À noter que toutes les évaluations de réserves historiques effectuées par le BRGM ne sont pas, dans la plupart des cas, normées selon un système CRIRSCO, impliquant qu'un(e) géologue qualifié(e) ait effectué l'évaluation des ressources/réserves selon des normes internationales (e.g., canadienne – NI43-101 –, australienne – JORC –, ou européenne – PERC –). En toute rigueur, elles doivent donc être traitées en tant que « ressources indiquées ou mesurées ».

2.3 AJOUT DE RÉFÉRENCES

Chaque donnée numérique de l'onglet « Économie » (tonnage métal et teneur moyenne) des productions passées cumulées, de réserves et/ou ressources en fonction des substances identifiées (entourée en rouge sur la Figure 2) doivent, dans la mesure du possible, être étayées par des références. Le référencement des sources documentaires est un point fondamental d'évaluation de la qualité de la donnée, aspect essentiel pour les utilisateurs.

Ces références permettent en effet aux lecteurs de remonter aux données sources, de contrôler l'information et de disposer ainsi de données fiables. Par ailleurs, les dates d'évaluation des réserves/ressources ainsi que l'intervalle de temps correspondant à la production sont reportés lorsque ces informations sont disponibles. Le code de classification du calcul des réserves/ressources (e.g., JORC, NI43-101, PERC) est également mis à jour lorsque cela est possible.

The screenshot displays the 'Description du gîte' window for the Beauvoir deposit (Id: FRA-00003). The 'Économie' tab is active, showing a table of economic data. The 'Substance' is set to 'Sn' (Tin). The table includes columns for 'Production passée', 'Réserves', and 'Ressources', each with a 'Teneur moy.' (average grade) and 'Années' (years). The 'Production passée' row shows a value of 2 000 t(1000 kg) for the years 1915 to 1962. The 'Réserves' row shows a value of 4 317 t(1000 kg) for the years 1932 to 1932. The 'Ressources' row shows a value of 60 006 t(1000 kg) for the years 1932 to 1932. The 'Type de réserve' is set to 'Réserves minérales probables'. The 'Type de ressource' is set to 'Ressources minérales présumées'. The 'Références' column contains several entries, with some highlighted in green and blue. The 'Code de classification des Res/Ress' is set to 'Méthode inconnue'. The 'Calcul' button is visible at the bottom right.

Figure 2 : Exemple de l'onglet « Économie » du gisement de Beauvoir (France) pour l'étain (ici entouré en rouge). Les références entourées en vert et bleu correspondent à celles de la Figure 3.

Les références sont également reportées dans l'onglet « Bibliographie » et dans la section « Bibliographie économique » de la base de données « Gisements » France. Cette dernière est connectée à la BDD indépendante « BibCom » où sont stockées et gérées l'ensemble des références utilisées (ajout, retrait, mise à jour et corrections...) suivant leur type de support (e.g., monographie, rapport, thèse, etc.).

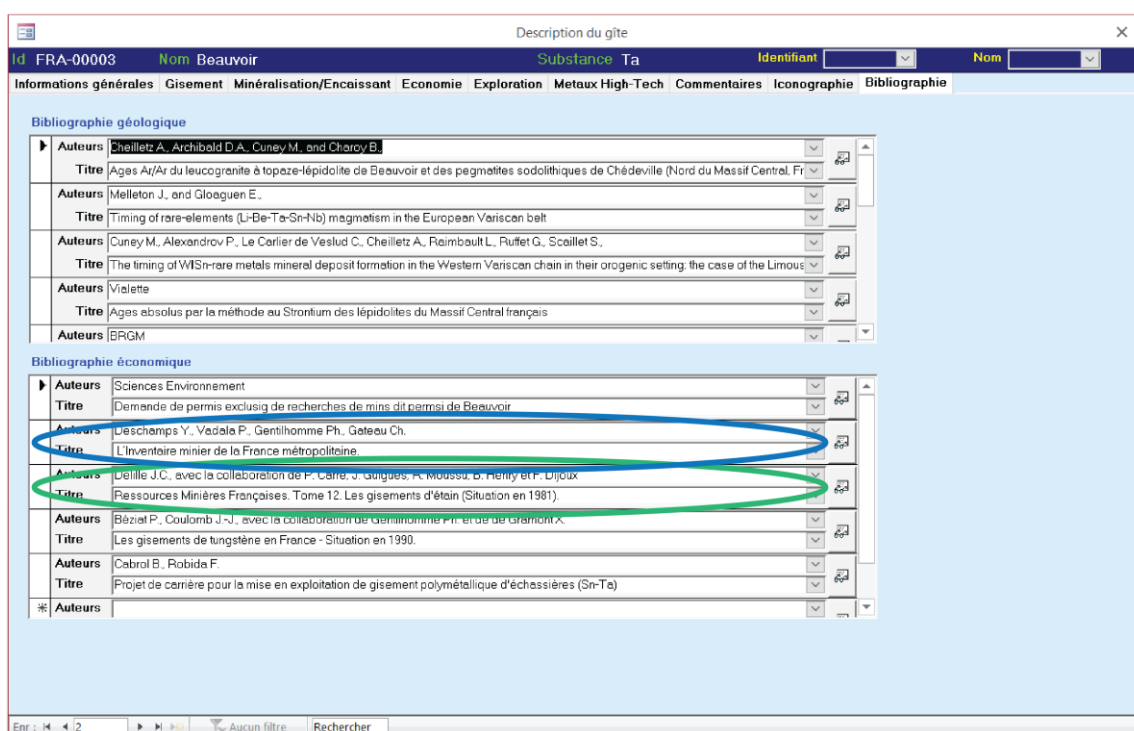


Figure 3 : Exemple de l'onglet « Bibliographie » du gisement de Beauvoir (France). Les références entourées en vert et bleu correspondent à celles de la Figure 2.

Parmi les documents de références figurent principalement :

- les travaux issus de l'Inventaire Minier de la France métropolitaine incluant :
 1. Les ressources minières françaises par substances. Quatorze volumes rédigés entre 1978 et 1990, concernant les substances Pb-Zn, W, Sn, Sb, Mn, Cu, Au, fluorine, barytine, S, Hg, talc, amiante¹ et andalousite.
 2. Les synthèses régionales issues des travaux de l'inventaire incluant 15 rapports relatifs aux secteurs Nord-Bretagne, Bassin de Châteaulin, Basse-Normandie, Saint-Georges-sur-Loire, Vendée Mauges, Plateau d'Aigurande, Granite de Meymac, Pontgibaud, Sud-Limousin, Argentat-Châtaigneraie, District de Brioude-Massiac, Cévennes, Montagne Noire et Pyrénées orientales.
 3. La carte minière de la France métropolitaine, à l'échelle du 1/1 000 000 et sa notice explicative, situation 1993-1994 (e.g., Béziat *et al.*, 1994).

Mais également :

- la synthèse de Deschamps *et al.* (2002) portant sur l'Inventaire Minier de la France métropolitaine qui couvre les principaux gîtes ou gisements découverts ou valorisés dans le cadre de cette opération ;
- les panoramas des marchés de 16 substances (ou groupe de substances) réalisés par le BRGM entre 2010 et 2015.

¹ L'amiante n'est plus considérée comme une substance depuis un décret officiel publié en 1997 (n° 96-1133) interdisant la fabrication, la transformation, la vente et l'importation de fibres d'amiante.

3. Bilan des actions 2020 et 2021

L'action 2021 a permis de finaliser la mise à jour des indices et gisements principaux, et en second lieu de réaliser un atlas des gîtes contenant des substances critiques ou stratégiques présentées Figure 4.

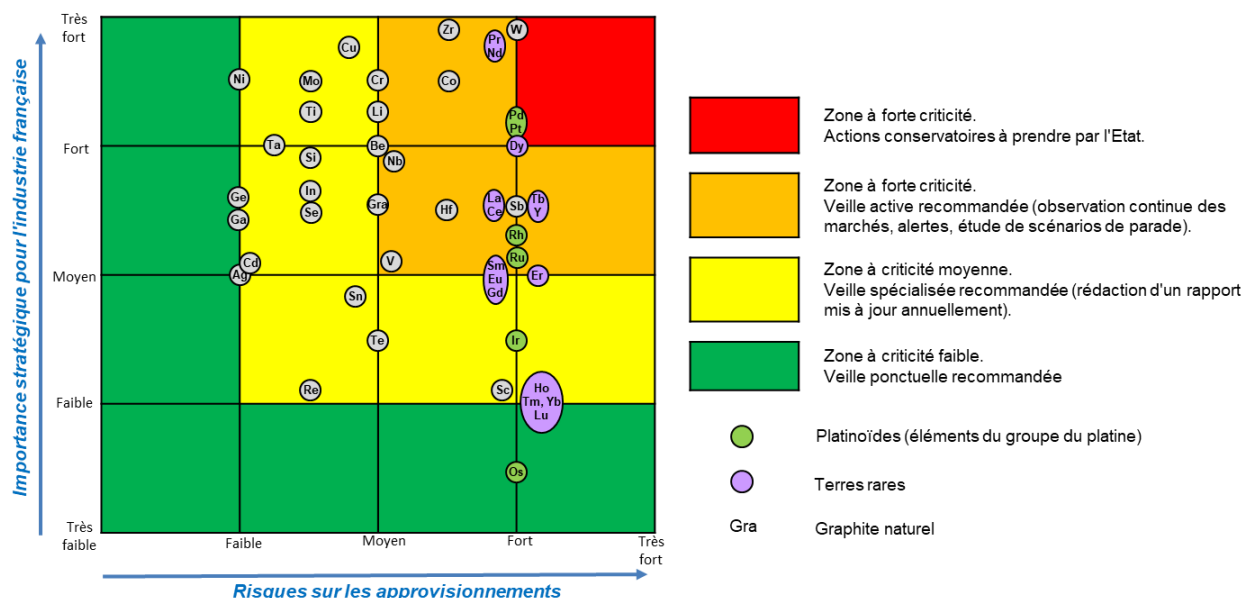


Figure 4 : Positionnement des éléments étudiés dans le cadre de la convention DEB 2021 sur la matrice de criticité proposée par le BRGM dans le cadre des travaux pour le COMES (Comité des Métaux Stratégiques) (source : BRGM).

3.1 STATISTIQUES DE L'ACTION 2021

En fin 2021, après cette dernière action de mise à jour qui consistait également à éliminer les doublons éventuels rencontrés lors de la vérification, 4 396 enregistrements sont désormais référencés dans la BDD « Gisements, gîtes et indices » pour la France métropolitaine.

À travers cette action d'Appui aux Politiques Publiques (2021), 109 enregistrements ont été mis à jour, certains comprenant plusieurs substances (Figure 5).

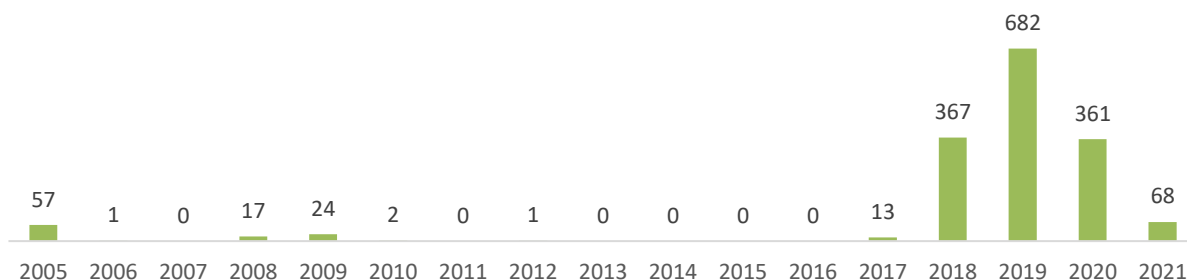


Figure 5 : Histogramme du nombre d'enregistrements mis à jour entre 2005 et 2021.

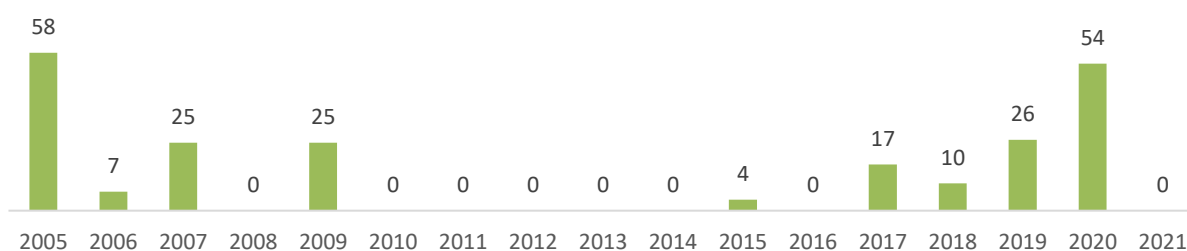


Figure 6 : Histogramme du nombre d'enregistrements créés entre 2005 et 2021.

Pour les données économiques, sur les 1 500 enregistrements contenant des indications de production, de réserves et/ou de ressources, 200 (soit près de 13,33 % des enregistrements) ont été vérifiés au cours de des actions de 2020/2021. Il est important de noter que de nombreux enregistrements comprennent plusieurs substances associées (sous-produits ou co-produits) et que toutes les substances ont été vérifiées pour chaque occurrence et étayées par des références bibliographiques. En 2021, les substances vérifiées ont été principalement le Cuivre (Cu), la barytine (Brt), le fer (Fe) et le (Pb) (Figure 7). Le Fe et le Pb principalement en co-produits.

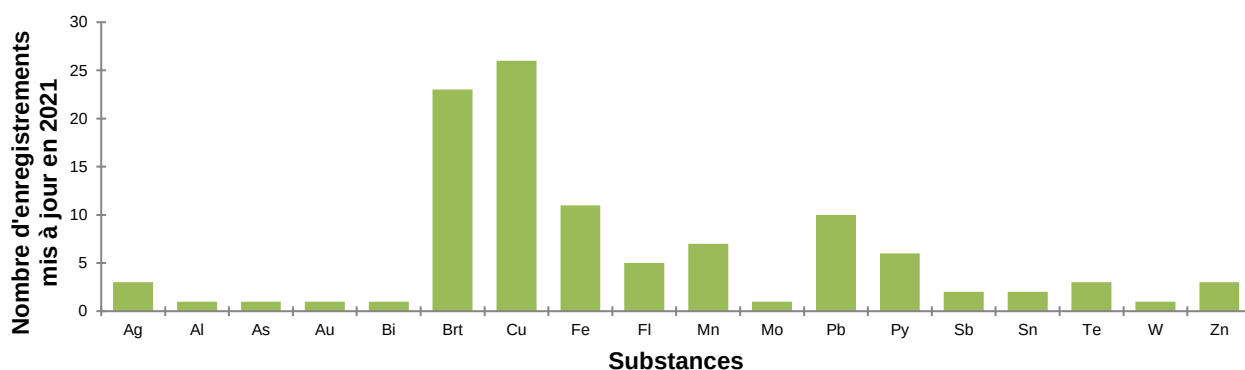


Figure 7 : Histogramme du nombre d'indices, de gîtes ou de gisements mis à jour et/ou créés pour chaque substance.

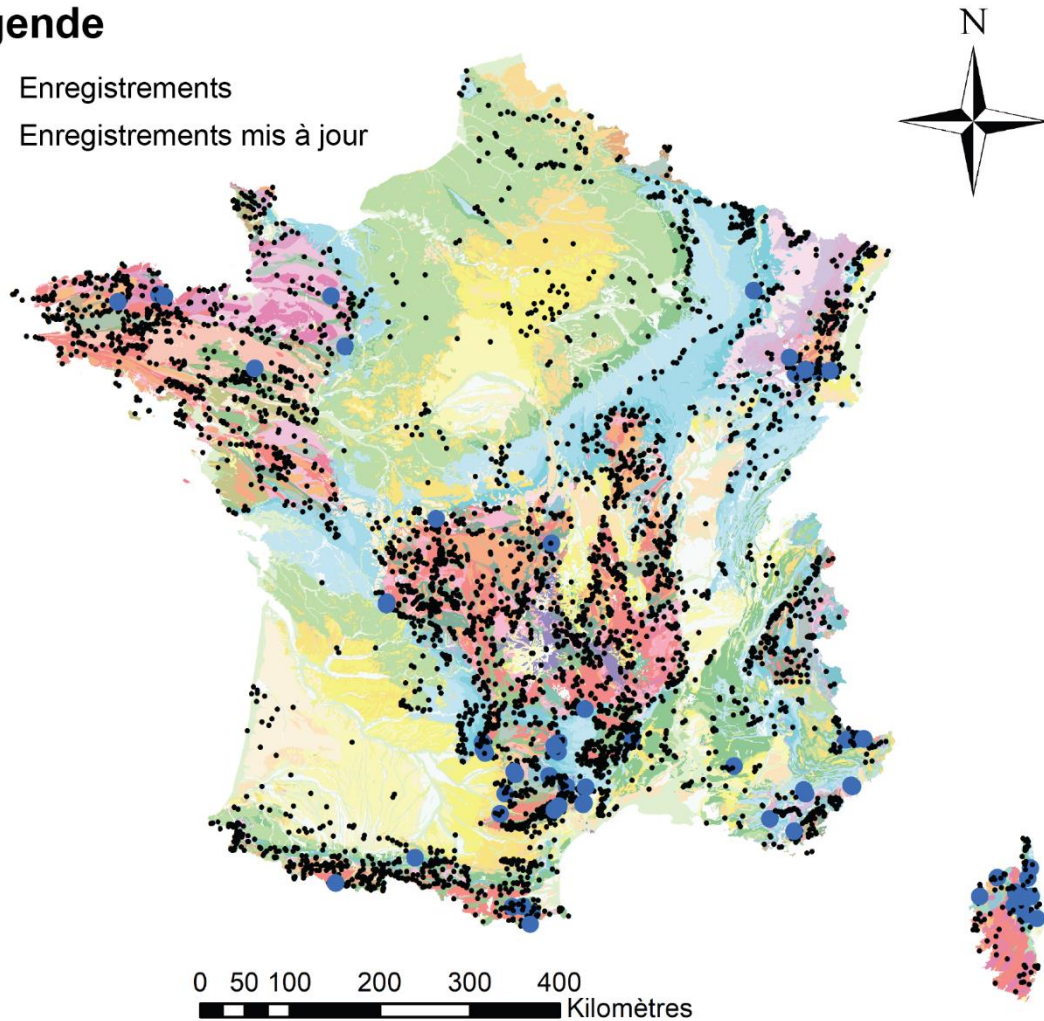
La carte de la Figure 8 présente la localisation des enregistrements mis à jour dans le cadre de l'action de 2021.

Quant aux données bibliographiques, en 2020, un total de 19 références avait été ajoutées à la BDD afin d'étayer les informations économiques et géologiques. En 2021, un total de 8 957 références bibliographiques est dorénavant associé aux gîtes dans la BDD soit 151 références de plus ajoutées par rapport à l'année dernière.

Cependant, suite au versement des données historiques « SIG Guyane » dans une BDD unique Armada, ces références bibliographiques représentent celles associées aux données France métropolitaine et Guyane.

Légende

- Enregistrements
- Enregistrements mis à jour



Source des données:
Base de données ARMADA / ProMine au 27/10/2021
Carte géologique de la France au 1:1 000 000

Figure 8 : Répartition des enregistrements des gîtes mis à jour dans en 2021 sur fond géologique.

4. Atlas des substances critiques et stratégiques

Un atlas des substances critiques et stratégiques françaises (Figure 4) ainsi que leurs ressources estimées/productions passées sont présentées dans ce chapitre. Leur ordre de présentation est fonction de leur criticité. Par ailleurs, il est à noter que la taille du gîte est calculée en fonction des valeurs seuils de tonnage définies par Cassard *et al.*, 2015.

4.1 LE TUNGSTÈNE

En France métropolitaine, le tungstène (W) est actuellement recensé sur 175 sites (Figure 9 et Tableau 2) essentiellement aux travers des minéralisations à scheelite (CaWO_4) et/ou à wolframite $(\text{Fe,Mn})\text{WO}_4$.

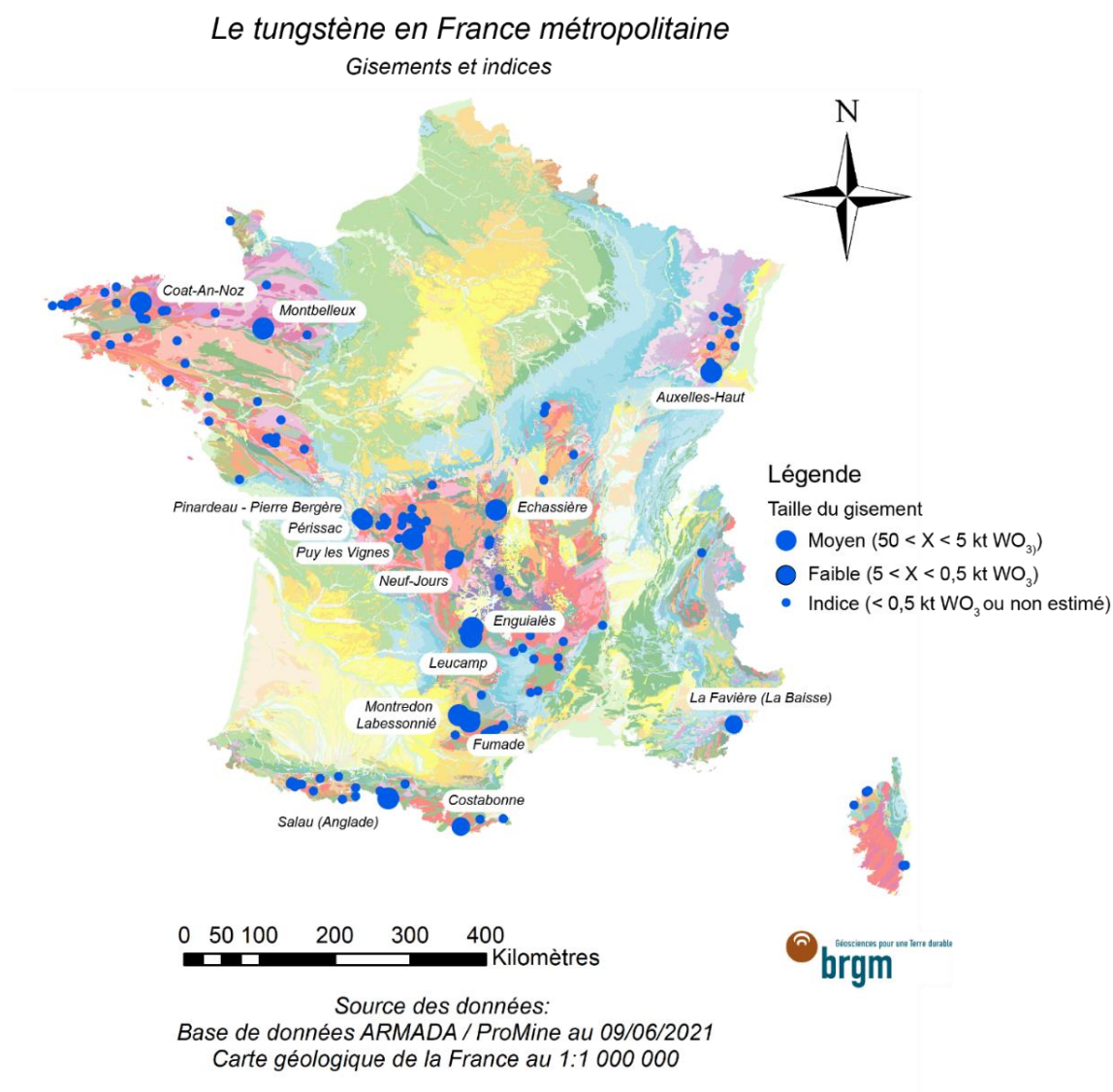


Figure 9 : Carte de distribution des gîtes de tungstène en France métropolitaine.

Un total de 22 sites indique des ressources estimées et 15 gisements (classes C à D ; Tableau 2) sont identifiés parmi lesquels figurent Fumade (Tarn), Salau (Ariège) et Montbelleux (Ile-et-Vilaine).

Géologiquement, les gisements de tungstène sont le plus souvent associés à des intrusions de granitoïdes (acides à modérément acides). Les types de gisements principaux sont :

- les filons et stockwerks de quartz à wolframite associés à des leucogranites très évolués (e.g., Puy les Vignes, Montbelleux) ;
- les skarns à scheelite, formés par métamorphisme de contact d'un granite dans un encaissant carbonatés type calcaire (e.g., Salau-Anglade) ;

Et en de moindres mesures :

- dans des gites de type stratiforme à scheelite (gites de contact transposés par la déformation et métamorphisés) (e.g., La Favière) ;
- enfin, dans certains porphyres à molybdène (Porphyre à Molybdène de Beauvain (Orne) à faible teneur en W).

Dans la plupart de ces gisements mondiaux, le tungstène est exploité en substance principale et accessoirement pour l'étain (Sn) et quelques autres métaux associés tels que le bismuth (Bi), l'arsenic (As), le béryllium (Be), le bore (B) etc. Dans les porphyres à molybdène, il peut cependant être exploité en sous-produit (Audion et Labbé, 2012).

Historiquement, la France a été un important producteur de tungstène jusqu'en 1986. Au total, 27 240 t de WO_3 ont été produits en France (BRGM, 1986, Béziat *et al.*, 1990) entre 1 812 et 1986, avec une production record de 1400 t WO_3 en 1986. La mine de Salau a été la dernière mine de tungstène jusqu'en 1986 (Deschamps *et al.*, 2002). Les ressources identifiées sont de 100 000 t WO_3 .

Nom du site	Production passée (t)	Ressources supposées (t)	Potentiel total (Prod.+Ress.)	Classe
Fumade	-	26 970,00	26 970,00	C
Salau (Anglade)	13 756,00	3 516,00	17 272,00	C
Montbelleux	247,00	11 199,50	11 446,50	C
Montredon-Labessonniè	864,00	10 500,00	11 364,00	C
Coat-An-Noz	-	11 000,00	11 000,00	C
Echassière	3 861,00	5 000,00	8 861,00	C
Leucamp	1 700,00	7 000,00	8 700,00	C
Auxelles-Hauts	-	8 500,00	8 500,00	C
Engualès	1 300,00	5 284,00	6 584,00	C
Puy les Vignes	3 970,00	1 158,00	5 128,00	C
Costabonne	-	3 900,00	3 900,00	D
La Favière (La Baisse	895,00	1 800,00	2 695,00	D
Neuf jours	-	2 500,00	2 500,00	D
Pinardeau-Pierre Bergère	3,00	1 000,00	1 003,00	D
Périssac / Esse	3,00	520,00	523,00	D
Mandelesse	201,00	-	201,00	E
Mazet	201,00	-	201,00	E
Murols	120,00	-	120,00	E
Vaulry	32,50	-	32,50	E
Lagarde	26,00	-	26,00	E
Vaulry-Cieux	58,00	-	58,00	E
Meymac	2,50	-	2,50	E
TOTAL (t W métal)	27 240	99 848	127 088	

Tableau 2 : Principaux gîtes de tungstène français recensés en 2021. À noter que la catégorie E ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).

4.2 L'ANTIMOINE

En France métropolitaine, l'antimoine (Sb) est recensé sur 214 sites (Figure 10) essentiellement au travers de minéralisations de stibine (Sb_2S_3). Un total de 78 sites indique des ressources estimées et 30 gisements (classes B à D ; Tableau 3) sont identifiés, parmi lesquels figurent La Lucette (Mayenne), Le Semnon (Ile-et-Vilaine) et Les Brouzils (Vendée).

Les gisements français à antimoine sont essentiellement associés à des filons à stibine encaissés dans des roches métamorphiques hercyniennes (excepté aux filons du Cap Corse qui sont d'âge alpin). Bien que certaines minéralisations antimonifères soient antérieures (Le Semnon est daté à 360 Ma, Pochon *et al.*, 2018), la fin de l'orogénèse varisque est considérée comme une période favorable de mise en place de ces minéralisations, synchrones aux minéralisations aurifères de « l'évènement Or 300 Ma » (Bouchot *et al.*, 2005). De plus, certains gîtes dits sédimentaires de couverture de type « Red Bed » peuvent indiquer des teneurs intéressantes en antimoine (e.g., Largentière (Ardèche) avec 3 000 t Sb métal produit).

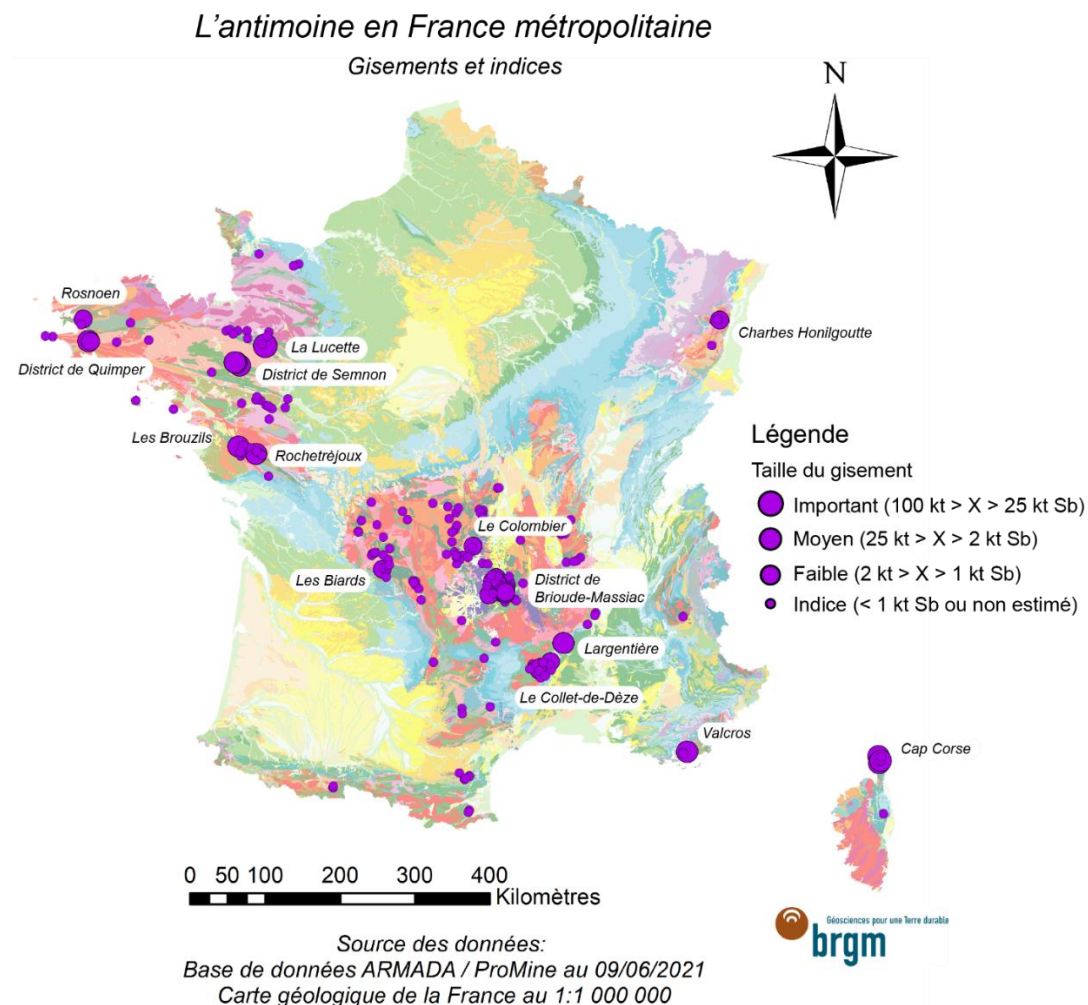


Figure 10 : Carte de distribution des gîtes d'antimoine en France métropolitaine.

La France a occupé le 1^{er} rang mondial des producteurs miniers d'antimoine de 1890 à 1908 assurant jusqu'à 25 % de la production. Celle-ci a cessé vers 1935 en dépit de quelques tentatives d'exploitations sporadiques jusqu'en 1991 (Deschamps *et al.*, 2002). Un total de 128 436 t de Sb métal produit sont ainsi recensés. Cette évolution est liée à l'épuisement des mines et la mise en concurrence des minerais et concentrés venus de Thaïlande, de Bolivie et de Chine. Les ressources actuelles de Sb représentent environ 70 175 t Sb métal (Tableau 3).

Nom du site	Production passée (t)	Ressources supposées (t)	Potentiel total (Prod.+Ress.)	Classe
La Lucette	42 000,00	-	42 000,00	B
Le Semnon	500,00	19 500,00	20 000,00	C
Rochetréjoux	16 500,00	100,00	16 600,00	C
La Coëfferie	-	14 355,00	14 355,00	C
Les Touches	-	11 484,00	11 484,00	C
Les Brouzils	895,00	9 250,00	10 145,00	C
La Bessade	8 500,00	100,00	8 600,00	C
Ouche (district de Massiac)	8 300,00	200,00	8 500,00	C
Méria (Vallone, San Martino)	5 600,00	400,00	6 000,00	C
Luri (Castello, Spergane)	3 400,00	2 000,00	5 400,00	C
Valcros	292,00	4 300,00	4 592,00	C
Ty Gardien (Les Moulins)	565,00	3 785,00	4 350,00	C
Pressac	3 000,00	200,00	3 200,00	C
Le Fraisse	3 000,00	100,00	3 100,00	C
Largentièrre	3 000,00	-	3 000,00	C
Osfonds (Conc. La Licoulne)	3 000,00	-	3 000,00	C
Le Collet-de-Dèze	2 500,00	-	2 500,00	C
La Chassagne	2 000,00	100,00	2 100,00	C
Ersa (Castagnone)	2 000,00	-	2 000,00	C
Les Biards	1 800,00	-	1 800,00	D
Rosnoen	-	1 500,00	1 500,00	D
Auliac	1 100,00	400,00	1 500,00	D
Auliac Filon Principal	1 100,00	400,00	1 500,00	D
Kerveady	-	1 400,00	1 400,00	D
La Rodde	1 250,00	-	1 250,00	D
Le Valadou	1 300,00	-	1 300,00	D
Le Colombier	1 100,00	-	1 100,00	D
Malbosc (Le Fraissinet)	1 063,00	-	1 063,00	D
Le Monteil (Cons. La Licoune)	1 000,00	-	1 000,00	E
Charbes Honilgoutte (Honnegoutte)	1 000,00	-	1 000,00	D
Marmeissat	1 000,00	-	1 000,00	D
Mérinchal (La Peyrouse)	900,00	-	900,00	E
La Planchette (Chanac)	900,00	-	900,00	E
San Martino Fossato	900,00	-	900,00	E
Freycenet	900,00	-	900,00	E
La Ramée	850,00	-	850,00	E
Cistrières	800,00	-	800,00	E
Nades	735,00	-	735,00	E
Conche / Chanet	700,00	-	700,00	E
La Baussonnière	-	600,00	600,00	E
Espezolles	500,00	-	500,00	E
Chazelles / Le Céroux (Filon Jeune)	500,00	-	500,00	E



Spergane	400,00	-	400,00	E
Kerdévot	325,00	-	325,00	E
Montignat	300,00	-	300,00	E
Luzer	300,00	-	300,00	E
Ceyroux	300,00	-	300,00	E
La Veronnière	250,00	-	250,00	E
Chavignance	250,00	-	250,00	E
Terret	250,00	-	250,00	E
La Fage	250,00	-	250,00	E
Lussac / Étagnac 1	200,00	-	200,00	E
Les Borels	165,00	-	165,00	E
La Forge	150,00	-	150,00	E
Bournac	100,00	-	100,00	E
Terraillon / Le Paillassier / Vidalin (Vidaren)	100,00	-	100,00	E
Anglebas	100,00	-	100,00	E
Sainte Marie (85)	100,00	-	100,00	E
Cassagnas	80,00	-	80,00	E
Vieljouve	79,00	-	79,00	E
Malvaisse / La Coste (15)	60,00	-	60,00	E
Violay	52,00	-	52,00	E
Villerange / Fontanière	50,00	-	50,00	E
Le Rouve et Solpéran	30,00	-	30,00	E
Moulergues	21,00	-	21,00	E
Brugailles	15,00	-	15,00	E
Chomadoux (Sb)	12,50	-	12,50	E
Fromenty	10,00	-	10,00	E
Poubeau / Les Courbets / Queou / Escourbets	10,00	-	10,00	E
Montmalart / Les Jardinats	7,00	-	7,00	E
Oursière	6,00	-	6,00	E
Pandrignes	4,00	-	4,00	E
La Blatte	2,50	-	2,50	E
Mervent	2,00	-	2,00	E
Florat	2,00	-	2,00	E
Naves	1,50	-	1,50	E
Lastours (Au)	-	1,00	1,00	E
Miramont	1,00	-	1,00	E
TOTAL (t Sb métal)	128 436	70 175	198 611	

Tableau 3 : Principaux gîtes d'antimoine français recensés en 2021. À noter que la catégorie E ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).

4.3 LE ZIRCONIUM

En France métropolitaine, le zirconium (ZrO_2) est actuellement recensé sur 69 sites (Figure 11) au travers de l'occurrence de zircon ($ZrSiO_4$). Les gîtes de La Glacerie (Manche) et de Teillay (Ile-et-Vilaine) représentent des gîtes de taille importante (classe B, Tableau 1) avec des tonnages compris entre 1 000 et 100 000 t de ZrO_2 . Cependant, ces ressources sont considérées comme subéconomiques en raison des difficultés de traitement du minerai (dureté de la roche encaissante et finesse des grains) (Deschamps *et al.*, 2002).

Ces gisements sont associés à des paléoplacers à zircon et à rutile, encaissés dans les grès armoricains d'âge Ordovicien.

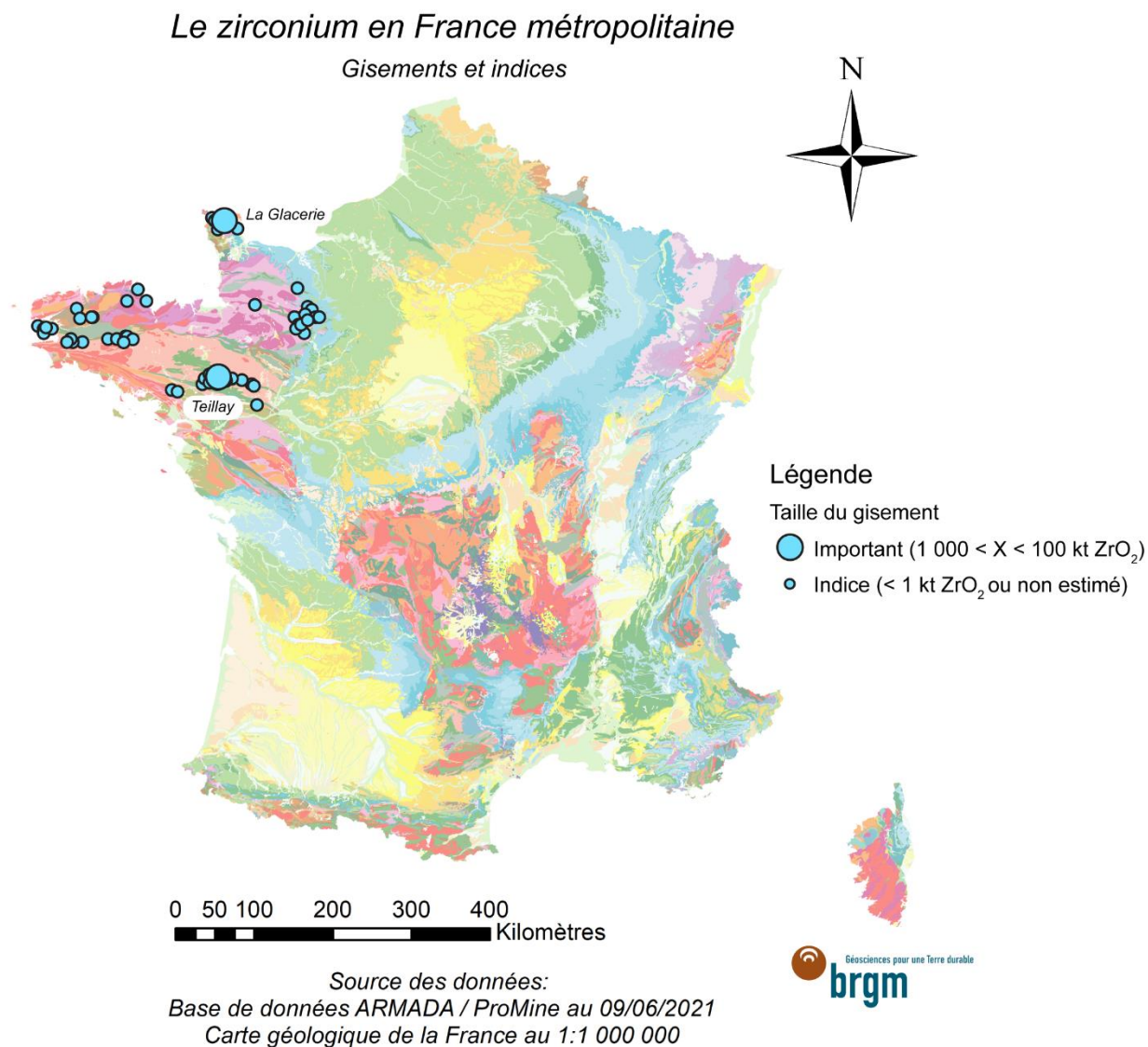


Figure 11 : Carte de distribution des gîtes de zirconium en France métropolitaine.

Dans la plupart des gîtes identifiés, le Zr constitue la substance principale. Cependant, dans le cas de La Glacerie, du Teillay et de Saint Pierre-du-Bû (Orne), le titane (Ti) est la substance principale.

Aucune production de ZrO_2 n'a été recensée en France métropolitaine. Cependant, les ressources sont estimées à 320 000 t sur deux sites seulement (Tableau 4).

Nom du site	Production passée (t)	Ressources supposées (t)	Potentiel total (Prod.+Ress.)	Classe
La Glacerie	-	100 000,00	100 000,00	B
Teillay 2	-	220 000,00	220 000,00	B
TOTAL (t ZrO₂)	0	320 000	320 000	



Tableau 4 : Principaux gîtes de zirconium français recensés en 2021. Les classes sont calculées suivant le Tableau 1.

4.4 LE COBALT

En France métropolitaine, le cobalt (Co) est actuellement recensé en substance secondaire sur 9 sites, sans mettre en évidence un potentiel économique significatif (Figure 12).

Contrairement à la Nouvelle-Calédonie, la France métropolitaine n'enregistre pas de production minière pour ces métaux. Seule la mine de Fanny (Kruth 1, Haut-Rhin) indique une production passée de 5 t Co métal (Tableau 5) et la présence de minéraux tels que la skutterudite (CoAs₃) associés à des filons polymétalliques encaissés dans les schistes du Dévonien (Tableau 5).

Par ailleurs, de très faibles productions de Co ont été identifiées dans des filons polymétalliques arséniés à Ag, Pb, Cu et Ni provenant des anciennes mines des Challanches (Isère) et du district de Sainte-Marie-aux-Mines (Haut-Rhin), sans avoir été quantifiées (Deschamps *et al.*, 2002).

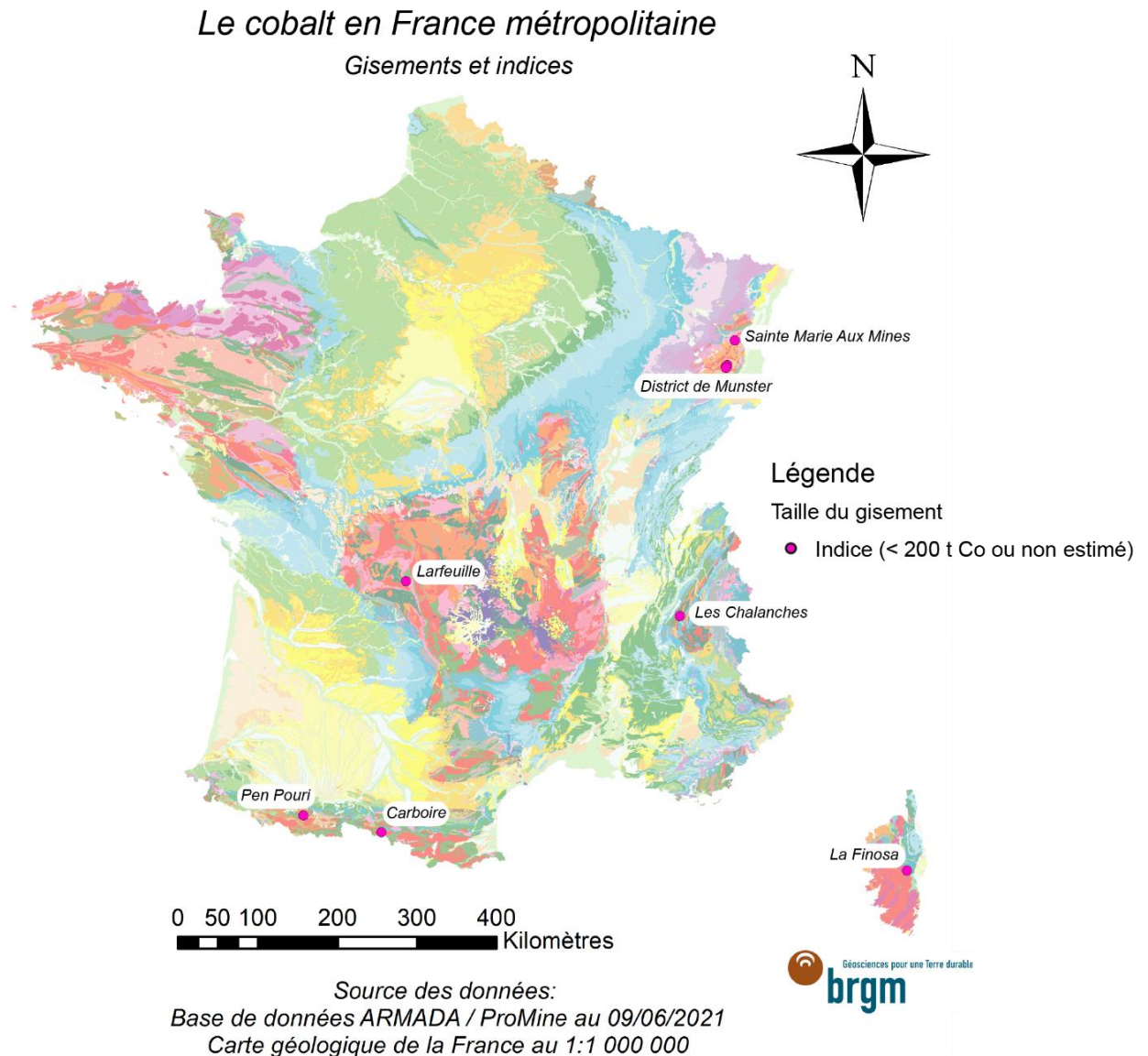


Figure 12 : Carte de distribution des gîtes de cobalt en France métropolitaine.

Géologiquement, les occurrences cobaltifères sont intimement associées au nickel (Ni) et au chrome (Cr) puisqu'ils se situent dans des contextes géologiques similaires tels que :

- les roches magmatiques mafiques à ultramafiques ;
- les gisements de Ni-Co sulfurés ;
- les gisements sédimentaires stratiformes cuprifères ou sulfurés.

Il est à noter que les ophiolites de la chaîne alpine ne contiennent pas de gisements notables (Deschamps *et al.*, 2002) et qu'aucun gisement résiduel latéritique n'est présent en France métropolitaine.

Nom du site	Production passée (t)	Ressources supposées (t)	Potentiel total (Prod.+Ress.)	Classe
Kruth 1 (Mine Fanny)	5,00	-	5,00	E
TOTAL (t Co métal)	5	0	5	



Tableau 5 : Principal gîte à cobalt recensé en 2021. À noter que la catégorie E ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).

4.5 L'HAFNIUM

Aucun gisement ni indice ne sont actuellement recensés en France métropolitaine.

Cependant, l'hafnium (Hf) est très souvent associé au zirconium puisque tous deux sont contenus dans le zircon pour un ratio zirconium_(métal) : hafnium_(métal) de 34 :1 (Jones *et al.*, 2017). Il serait donc possible d'identifier ce métal sur les gisement de zirconium de La Glacière (Manche) et de Teillay (Ile-et-Vilaine) (Figure 11 et Tableau 4). Ainsi, en considérant que la totalité du zirconium serait associée au zircon, environ 7 000 t d'hafnium métal pourraient être estimées (Tableau 6).

identifiant	POTENTIEL	classe
La Glacière	2 177,4	B
Teillay 2	4 790,2	B
TOTAL (t Hf)	6 967,5	



Tableau 6 : Estimation maximale des ressources métropolitaines en hafnium en considérant un ratio de zirconium_(métal):hafnium_(métal) de 34 :1. La classe est définie suivant le Tableau 1.

4.6 LE VANADIUM

En France métropolitaine, le vanadium (V) est recensé sur le seul site de Saint Martin de Belleville (Savoie) (Figure 13) au travers de l'occurrence de vanadates uranifères.

Par ailleurs, aucune production ni estimation de ressources n'est reportée en France métropolitaine. Pour information, le vanadium est un métal associé à divers autres métaux : Ti, Pb, U, Al, Fe. Il est extrait dans le monde comme co-produits dans des contextes très variés : titanomagnétite vanadifères, produits carbonées (sables bitumineux ; charbon, pétrole), minerai d'uranium, de fer, ou d'alumine.

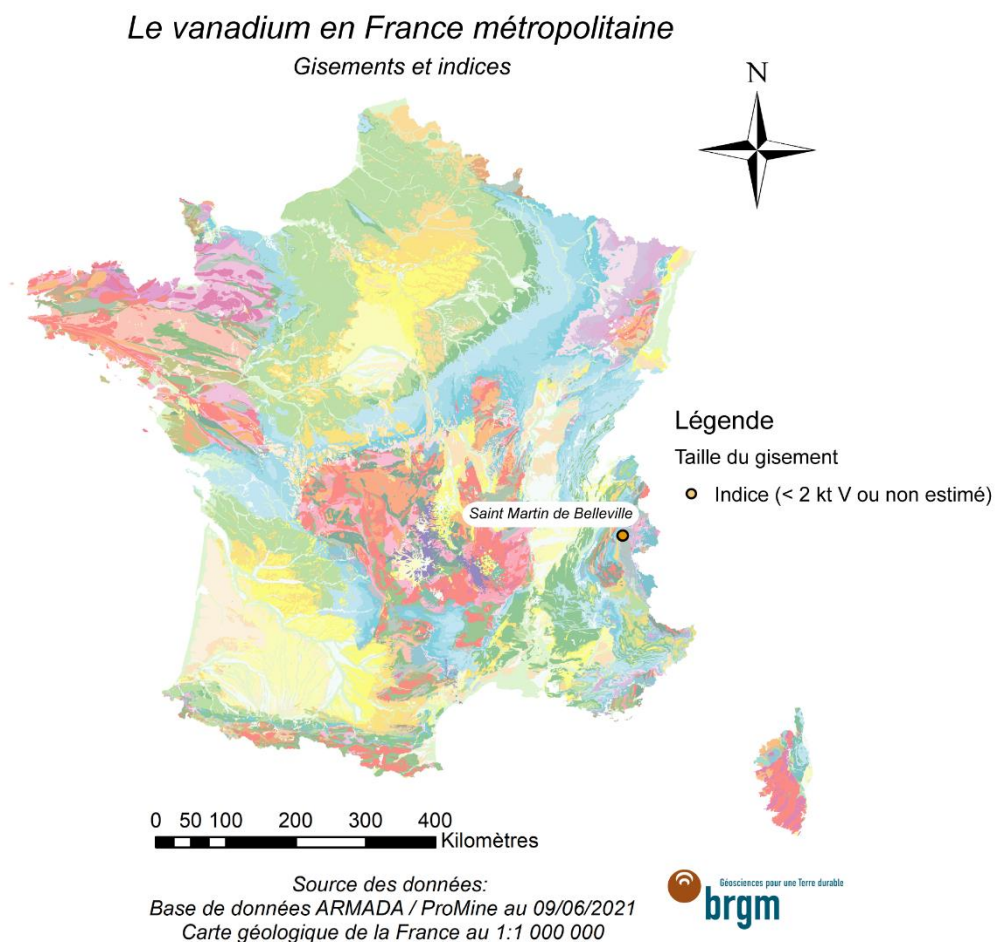


Figure 13 : Carte de distribution du gîte de vanadium en France métropolitaine.

4.7 LE NIOBIUM

En France métropolitaine, le niobium (Nb) est recensé sur 12 gîtes (Figure 14), et se trouve principalement dans un oxyde, la columbite ((Fe,Mn)Nb₂O₆). Seul le site de Trégennec/Prat-ar-Hastel (Finistère) présente des teneurs estimées à 1 300 t Nb₂O₅ (Tableau 7 ; Lulzac, 1986).

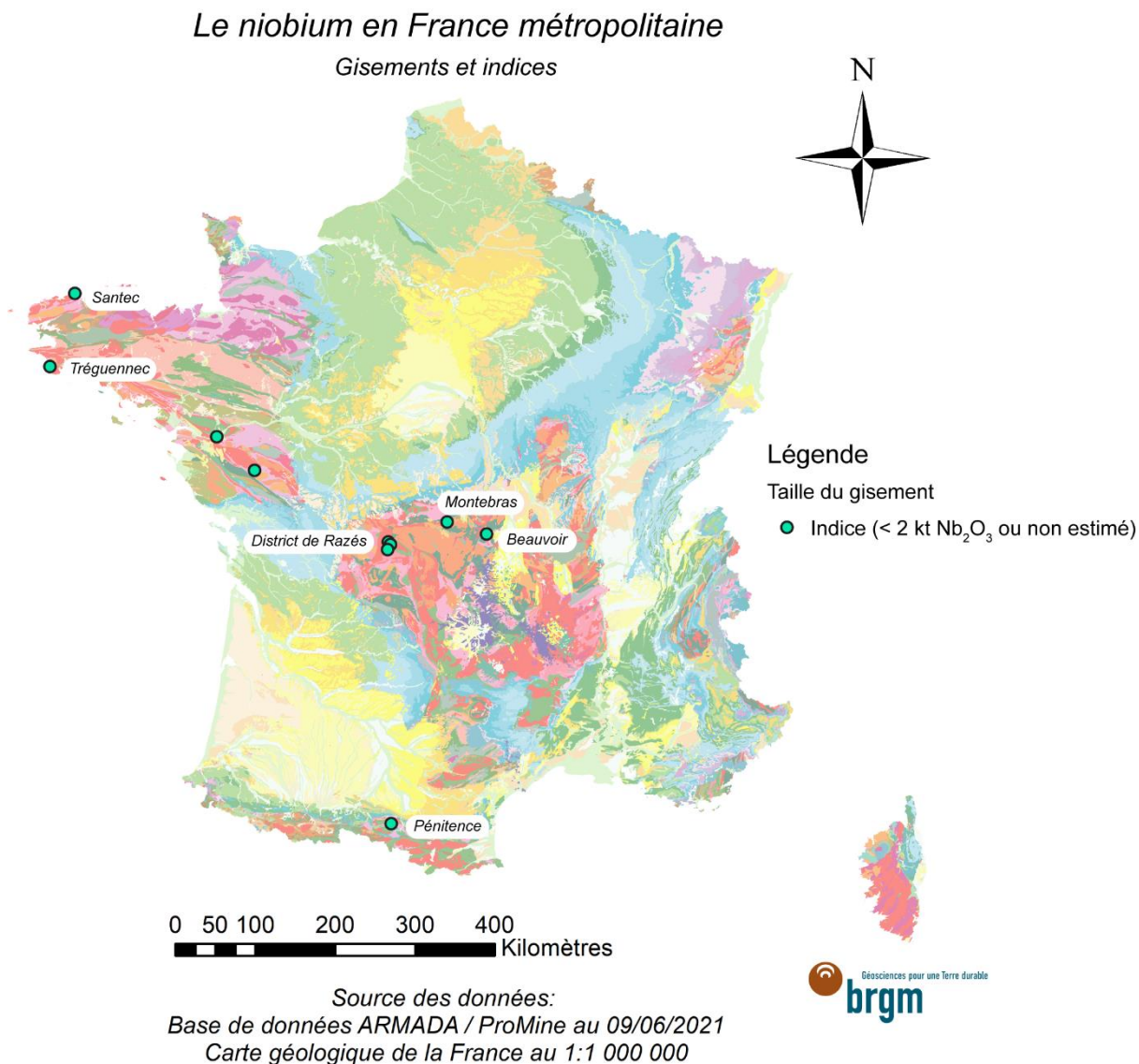


Figure 14 : Carte de distribution des gîtes de niobium en France métropolitaine.

Géologiquement, le Nb est associé en France à deux types de gisements :

- les pegmatites granitiques de type Lithium-Césium-Tantale (LCT) (Černý *et al.*, 2005). Ces roches sont composées de nombreux minéraux à valeur économique dont le béryl (Be), la cassitérite (Sn), la molybdénite (Mo), le spodumène, la pétalite et la lépidolite (Li), la columbite et la tantalite (Nb-Ta) ;
- les granites à métaux rares et greisens associés. Il s'agit principalement de granites peralumineux à metalumineux (Černý *et al.*, 2005) issus d'une cristallisation fractionnée et dont la partie supérieure est souvent affectée par une altération hydrothermale à haute température sous l'action de fluides pneumatolytiques (enrichis en gaz et en éléments légers). Ces granites sont de taille relativement petite (< 1 km³), et montrent un enrichissement notable en Li, Ta, Nb, Sn et F.

Nom du site	Production passée (t)	Ressources supposées (t)	Potentiel total (Prod.+Ress.)	Classe
Tréguennec / Prat-ar-Hastel	-	1 300,00	1 300,00	E
TOTAL (t Nb₂O₅)	-	1300	1300	



Tableau 7 : Principal gîte de niobium français recensé en 2021. À noter que la catégorie E ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).

Sur les 12 indices recensés, le Nb représente une substance secondaire du Li, Be, feldspath et kaolin. Seul le gîte de Châteaumur (Vendée) identifie le Nb en substance principale car il s'agit d'un granite contenant de la columbite disséminée dans sa masse.

4.8 LE CHROME

Huit indices, sans ressources estimées, de chrome (Cr) sont identifiés en France métropolitaine (Figure 15). Ces indices sont associés à des intrusions magmatiques mafiques-ultramafiques et des occurrences de chromite (FeCr_2O_4) associées. Le chrome est identifié comme substance principale sur ces typologies de gisements.

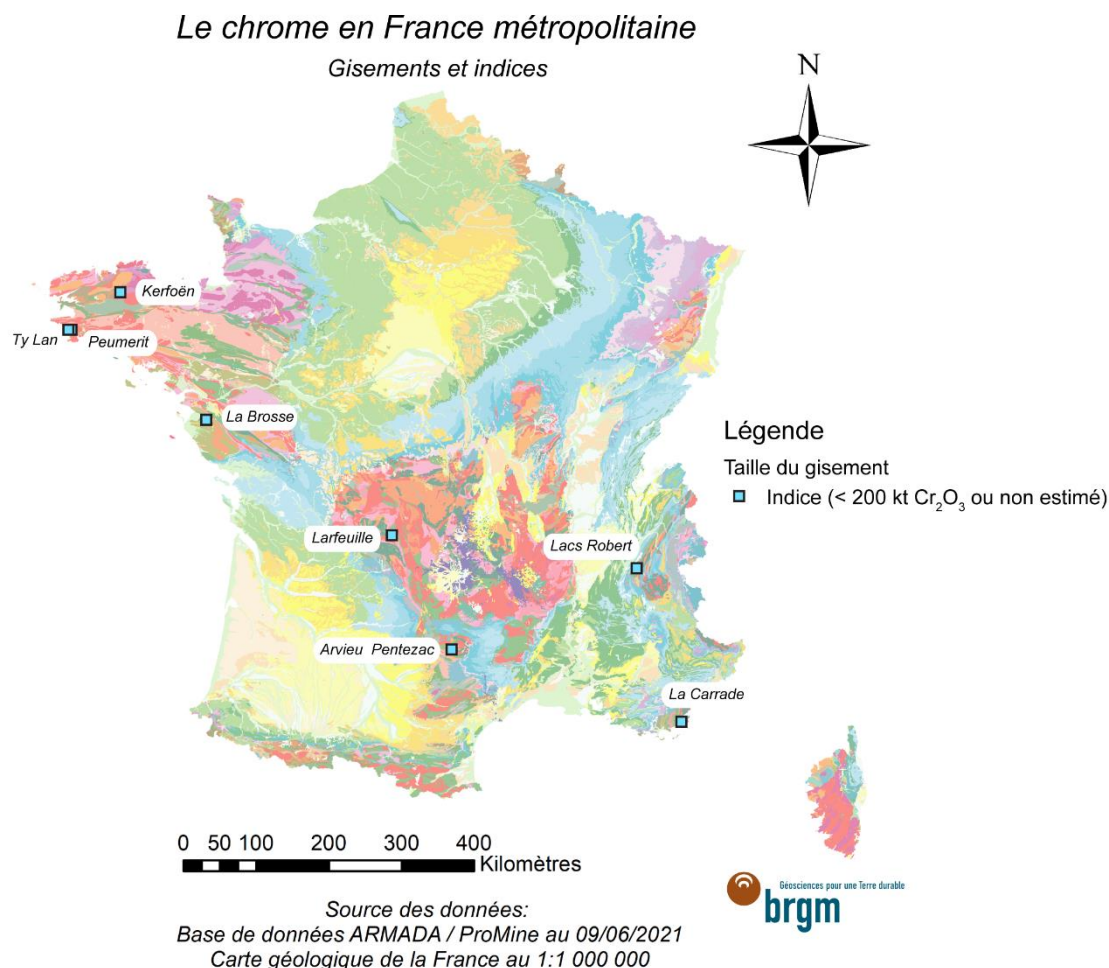


Figure 15 : Carte de distribution des gîtes de chrome en France métropolitaine.

4.9 LE LITHIUM

Au total 40 gîtes contenant du lithium (Li_2O) sont recensés en France dont 6 avec des ressources estimées et 5 gisements (classes A à D) (Figure 16 et Tableau 8).

Géologiquement, et à l'instar du niobium, ces occurrences lithinifères françaises sont associées aux :

- pegmatites granitiques de type LCT tels que Chabannes (Haute-Vienne) et Chédeville (Haute-Vienne) ;
- granites à métaux rares et greisens associés, tels que Beauvoir (Allier), Montebbras (Creuse) et Tréguennec (Finistère).

Le rapport BRGM/RP-68321-FR (Gloaguen *et al.*, 2018) fait un état des lieux relativement complet sur le potentiel lithinifère qui avait été mis à jour en 2017-2018 (cf. Gourcerol *et al.*, 2018).

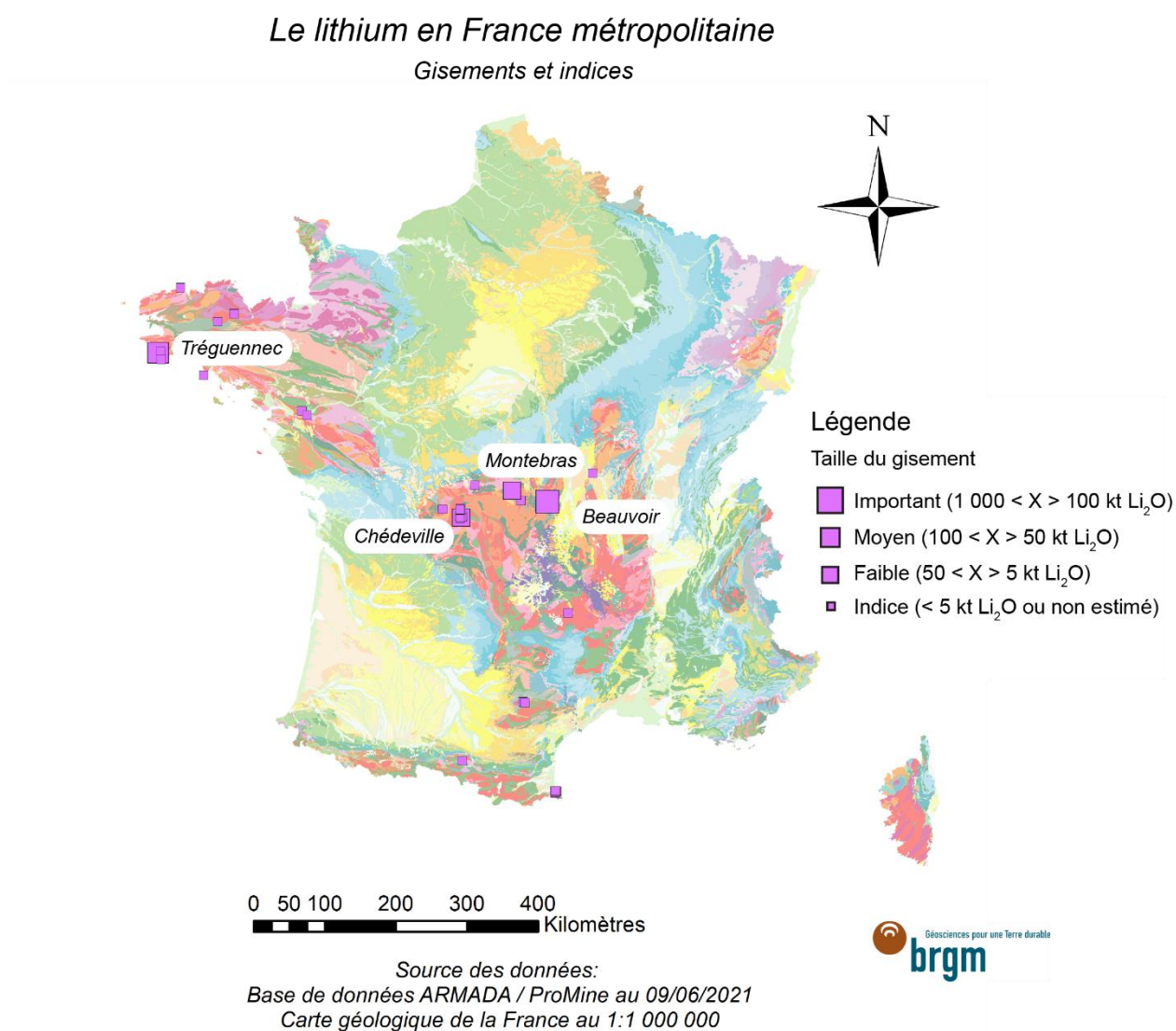


Figure 16 : Carte de distribution des gîtes de lithium en France métropolitaine.

Un total de 502 t LiO₂ produit et 458 495 t LiO₂ de ressources a été estimé en France métropolitaine (Tableau 8).

Nom du site	Production passée (t)	Ressources supposées (t)	Potentiel total (Prod.+Ress.)	Classe
Beauvoir	-	374 400,00	374 400,00	B
Tréguennec - Prat-ar-Hastel	-	64 680,00	64 680,00	C
Chédeville	354,00	6 000,00	6 354,00	D
Brunet Montebbras	-	8 700,00	8 700,00	D
Montebbras	148,00	3 500,00	3 648,00	D
Tréguennec - Tréluan	-	1 215,00	1 215,00	E
TOTAL (t Li₂O)	502	458 495	458 997	



Tableau 8 : Principaux gîtes de lithium recensés en 2021. À noter que la catégorie E ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).

4.10 LE BÉRYLLIUM

En France métropolitaine, un total de 91 indices et gisements de béryllium (BeO) sont recensés au travers de l'occurrence du béryl ($\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$) (Figure 17). Seul le gisement de Tréguenec (Finistère) a fait l'objet d'une estimation de ressources (Lulzac, 1986).

La plupart des indices sont associés à des occurrences de pegmatites (cf. section 4.9 Lithium) à béryls, associés à des gneiss (exploité également ailleurs dans le monde à partir de la bertrandite, un autre silicate de béryllium).

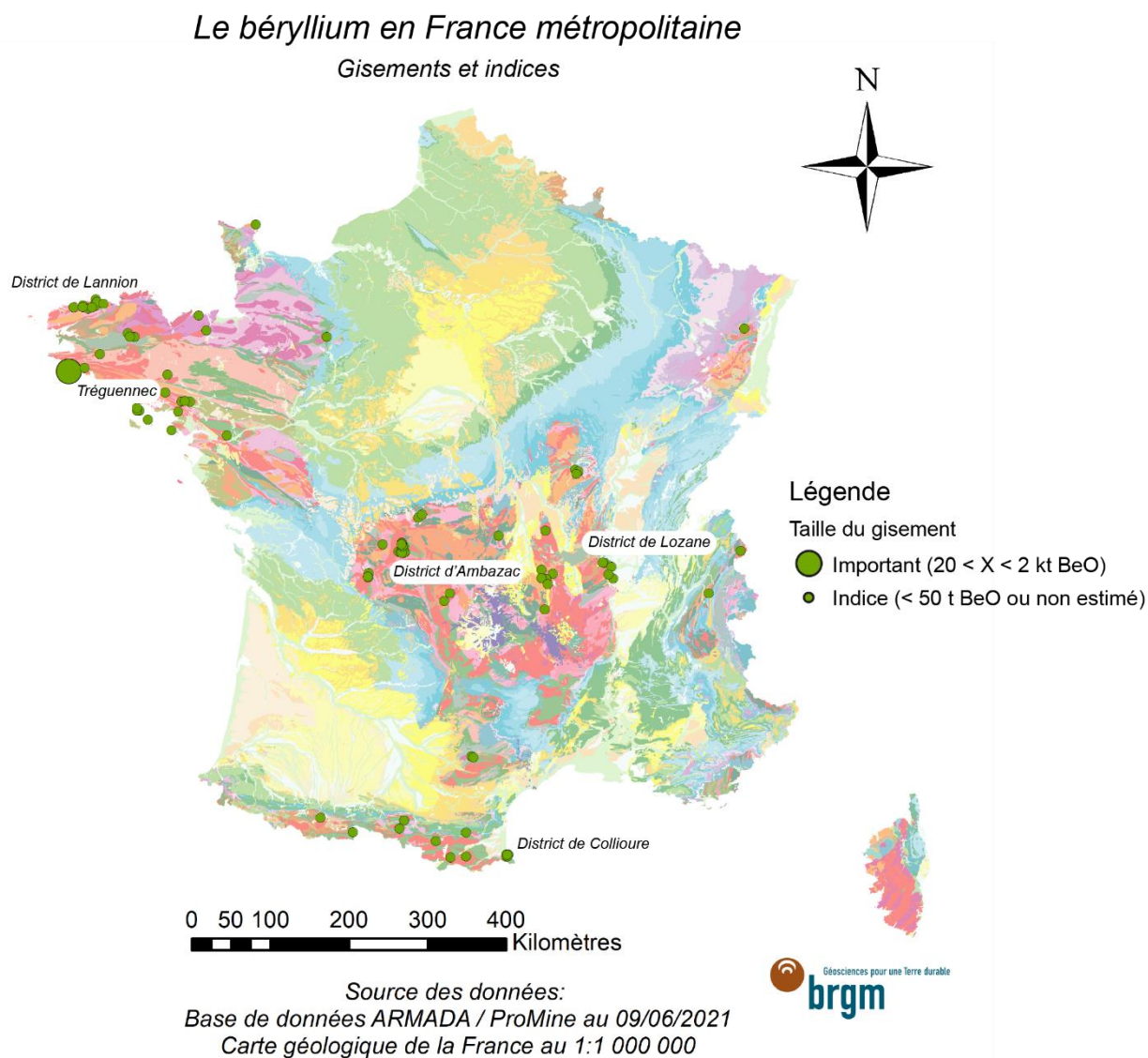


Figure 17 : Carte de distribution des gîtes de béryllium en France métropolitaine.

Le gisement de Tréguenec présente un potentiel de 2 400 t BeO à 284 g/t (Tableau 9 ; Lulzac, 1986).

Nom du site	Production passée (t)	Ressources supposées (t)	Potentiel total (Prod.+Ress.)	Classe
Tréguennec / Prat-ar-Hastel	-	2 400,00	2 400,00	B
La Roche	1,00	-	1,00	E
TOTAL (t BeO)	1	2 400	2 401	



Tableau 9 : Principaux gîtes de béryllium recensés en 2021. À noter que la catégorie E ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).

4.11 LE CUIVRE

Un total de 536 gîtes cuprifères (Cu) est recensé en France dont 6 gisements, 2 de classe moyenne et 4 de classe petite (Figure 18). Une vingtaine de ces occurrences ont fourni une production significative (Deschamps *et al.*, 2002) au cours d'une exploitation sporadique depuis l'Antiquité (e.g., La Croix-aux-Mines (Haut-Rhin), Sainte Marie-aux-mines (Haut-Rhin)).

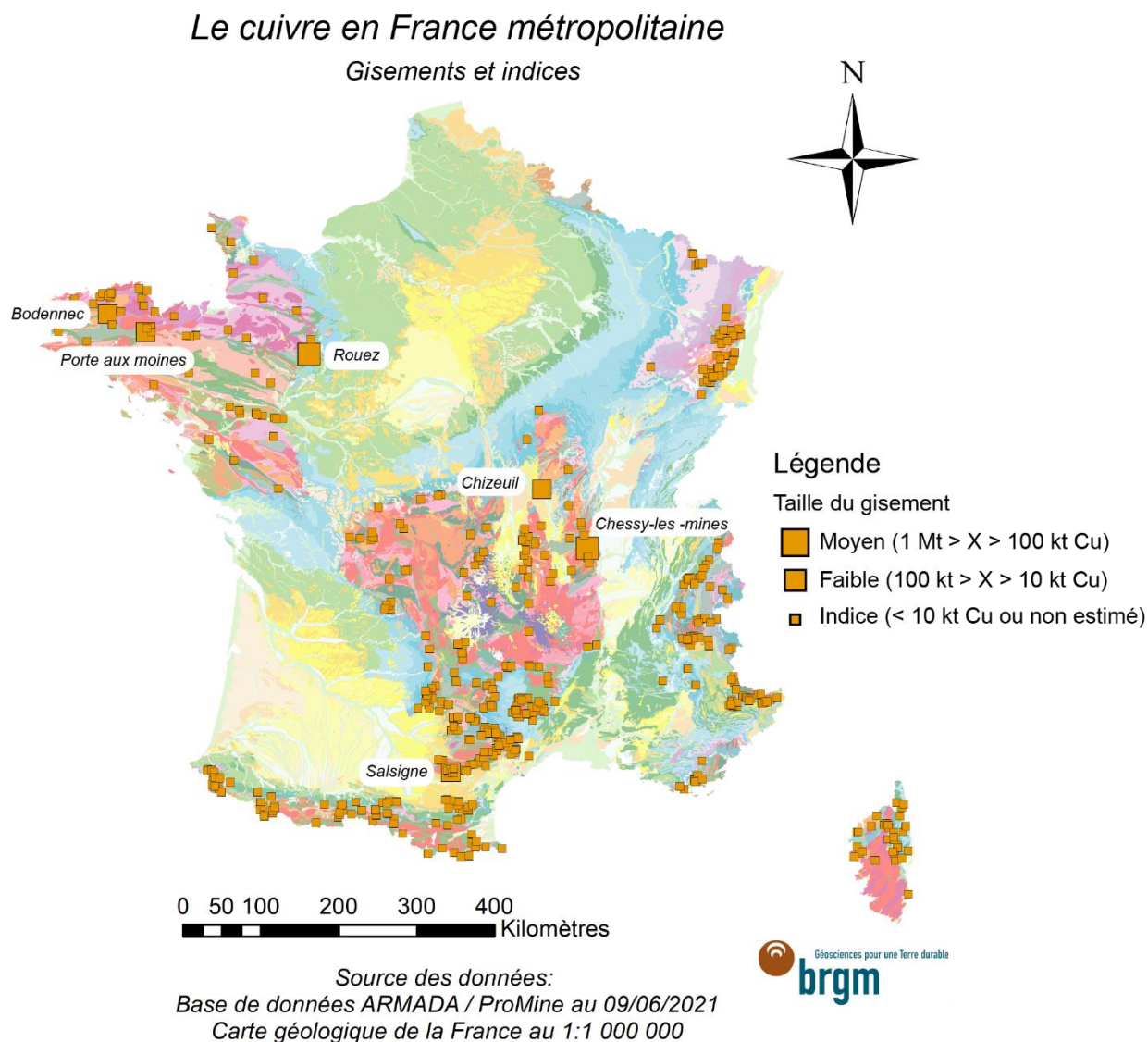


Figure 18 : Carte de distribution des gîtes de cuivre en France métropolitaine.

Géologiquement, ces gîtes sont localisés dans les reliques des massifs d'âge Cadomien, au cœur des massifs hercyniens ainsi que leur couverture permo-triasique. Les principaux types de gisement cuprifère sont :

- les porphyres Cu-Mo (W) tels que Beauvain (Orne), La Rousselière (Loire-Atlantique) et Breitenbach (Bas-Rhin) ;
- les lentilles stratiformes encaissées dans des sédiments détritiques (type « Red Bed ») principalement localisés dans les bassins permien continentaux et dans les couvertures triasiques (e.g., Saint-Avold (Moselle), Le Cerisier (Alpes-maritimes), Cap Garonne (Var)). Les amas et lentilles stratiformes de minerai massif à sub-massif, formant des gisements de types VMS (amas sulfurés volcanogéniques). A l'exception du gisement de Rouez qui

est d'âge Cadomien, ces gisements sont principalement associés à un volcanisme dévono-carbonifère et sont localisés dans le NE du Massif Central (e.g., Chessy-les-mines (Rhône), Chizeuil (Saone-et-Loire)), les Pyrénées et le Massif Armoricaïn, exception faite de Saint-Véran (Hautes-Alpes), encaissé dans les séries ophiolitiques alpines. A Rouez, la présence d'un gossan surplombant le VMS a également été identifié et exploité pour l'or et l'argent ;

- les filons de types « variés » dont à sidérite (e.g., Banca (Pyrénées-Atlantiques), Les Fosses (Savoie).

Un total de 99 487 t Cu métal a été historiquement exploité, ainsi que 753 380 t de ressources ont été identifiées (Tableau 10).

Nom du site	Production passée (t)	Ressources mesurées (t)	Potentiel total (Prod.+Ress.)	Classe
Rouez	-	540 000,00	540 000,00	C
Chessy les Mines	15 000,00	128 500,00	143 500,00	C
Chizeuil	1 000,00	30 000,00	31 000,00	D
Salsigne	30 000,00	-	30 000,00	D
Bodennec	-	24 500,00	24 500,00	D
La Porte-aux-Moines	-	14 100,00	14 100,00	D
Guersaliou	-	8 000,00	8 000,00	E
Sain Bel	7 000,00	-	7 000,00	E
Banca Trois Rois / Berg Op Zom	1 300,00	3 500,00	4 800,00	E
Les Vieilles Mines	4 000,00	-	4 000,00	E
Sainte Marie-aux-Mines	4 000,00	-	4 000,00	E
Sainte Marie Aux Mines 1	4 000,00	-	4 000,00	E
Coat-An-Noz (B)	-	3 300,00	3 300,00	E
La Croix Aux Mines 1	3 000,00	-	3 000,00	E
Cap Garonne	3 000,00	-	3 000,00	E
Le Cerisier	2 500,00	300,00	2 800,00	E
Elisa	2 500,00	-	2 500,00	E
Le Pilon	2 500,00	-	2 500,00	E
Montroc	2 500,00	-	2 500,00	E
Les Barrens / Lastours	2 000,00	-	2 000,00	E
Les Fosses (73)	1 100,00	300,00	1 400,00	E
Camélas	1 400,00	-	1 400,00	E
Le Remoud	1 000,00	300,00	1 300,00	E
Saint-Véran	1 000,00	300,00	1 300,00	E
Trébas	1 080,00	-	1 080,00	E
Le Charrier	1 000,00	-	1 000,00	E
Oms 2	1 000,00	-	1 000,00	E
Les Fosses (Saint Georges d'Hurtières)	1 000,00	-	1 000,00	E





Argentella Capo	900,00	-	900,00	E
Malabau / La Messette	800,00	-	800,00	E
Vézzani	600,00	30,00	630,00	E
La Fare	390,00	200,00	590,00	E
Giromagny (Saint Pierre)	500,00	-	500,00	E
Château Lambert	500,00	-	500,00	E
Saint Sylvestre	350,00	-	350,00	E
Alzen-Lina / Vieux Minier	340,00	-	340,00	E
Mollau-Wesserling	300,00	-	300,00	E
Giromagny 1 / Teutschgrund	300,00	-	300,00	E
Les Berchoux	250,00	-	250,00	E
Le Burc	200,00	-	200,00	E
Irazein	160,00	-	160,00	E
Valleccalle (Valle Calda)	150,00	-	150,00	E
Le Haut Bois	120,00	30,00	150,00	E
Pujol La Cabasse	100,00	-	100,00	E
Saint Avoird	100,00	-	100,00	E
Ponte Lecchia	60,00	20,00	80,00	E
La Rossignole / Mas Rouch / Autimergues / Pioch Farrus (Cabrières)	55,00	-	55,00	E
Casaluna	35,00	-	35,00	E
Piana / Castifao	35,00	-	35,00	E
Lubine 1	34,00	-	34,00	E
Lozari	30,00	-	30,00	E
Moustajon	30,00	-	30,00	E
Artigue / Bois des Ayres	30,00	-	30,00	E
Cardo	25,00	-	25,00	E
Le Luc	24,00	-	24,00	E
Prunelli Marignana / Livida Mala	20,00	-	20,00	E
Rieucros / Faveyrolles	20,00	-	20,00	E
Léouvé	20,00	-	20,00	E
Montagne de L'Homme	20,00	-	20,00	E
Le Raminier	15,00	-	15,00	E
Frangone	12,00	-	12,00	E
Le Pouget (48)	12,00	-	12,00	E
Pitaffe	10,00	-	10,00	E
Aspeich	10,00	-	10,00	E
Le Lautaret (Les Clochettes)	10,00	-	10,00	E
San Quilico	8,00	-	8,00	E
La Chauvetane	6,00	-	6,00	E
Le Mouthoumet / Montagne de Marcus (Auriac)	3,80	-	3,78	E
Linguizetta	3,00	-	3,00	E
Les Atiels	3,00	-	3,00	E
Le Chardonnet 2	3,00	-	3,00	E
L' Alp	0,70	-	0,70	E
Fagnou / Caire Nègre (Ker Ner) / Artillac (Pb, Zn, Cu)	3,00	-	3,00	E
Erbajola	2,00	-	2,00	E
Altiani Rasine	2,00	-	2,00	E
Scata San Cavino	2,00	-	2,00	E
Clai	2,00	-	2,00	E
Ondarolle	1,80	-	1,80	E
La Briasse / Ayen	0,10	-	0,10	E
TOTAL (t Cu métal)	99 487	753 380	852 867	

Tableau 10 : Principaux gîtes de cuivre recensés en 2021. À noter que la catégorie E ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).

4.12 L'ÉTAIN

En France métropolitaine, l'étain (Sn) est recensé sur 167 gîtes (Figure 19), dont 10 gisements, 1 de classe importante et 9 de classe moyenne. L'étain est primaire ou secondaire. Lorsqu'il est d'origine primaire, il est associé à des roches de composition granitique. Il se trouve soit disséminé dans des granites à métaux rares (e.g., Montebras) et des pegmatites ou localisés dans des skarns, des filons de quartz hydrothermaux (e.g., Abbaretz) et dans les zones d'altération hydrothermales (greisen) des granites associés (e.g., La Villeder). Lorsqu'il est secondaire, l'étain se trouve reconcentrés dans les gisements détritiques de type placer (e.g., Saint Renan).

Il est généralement exploité comme métal principal mais il peut parfois être un co-produit dans certains amas sulfurés polymétalliques.

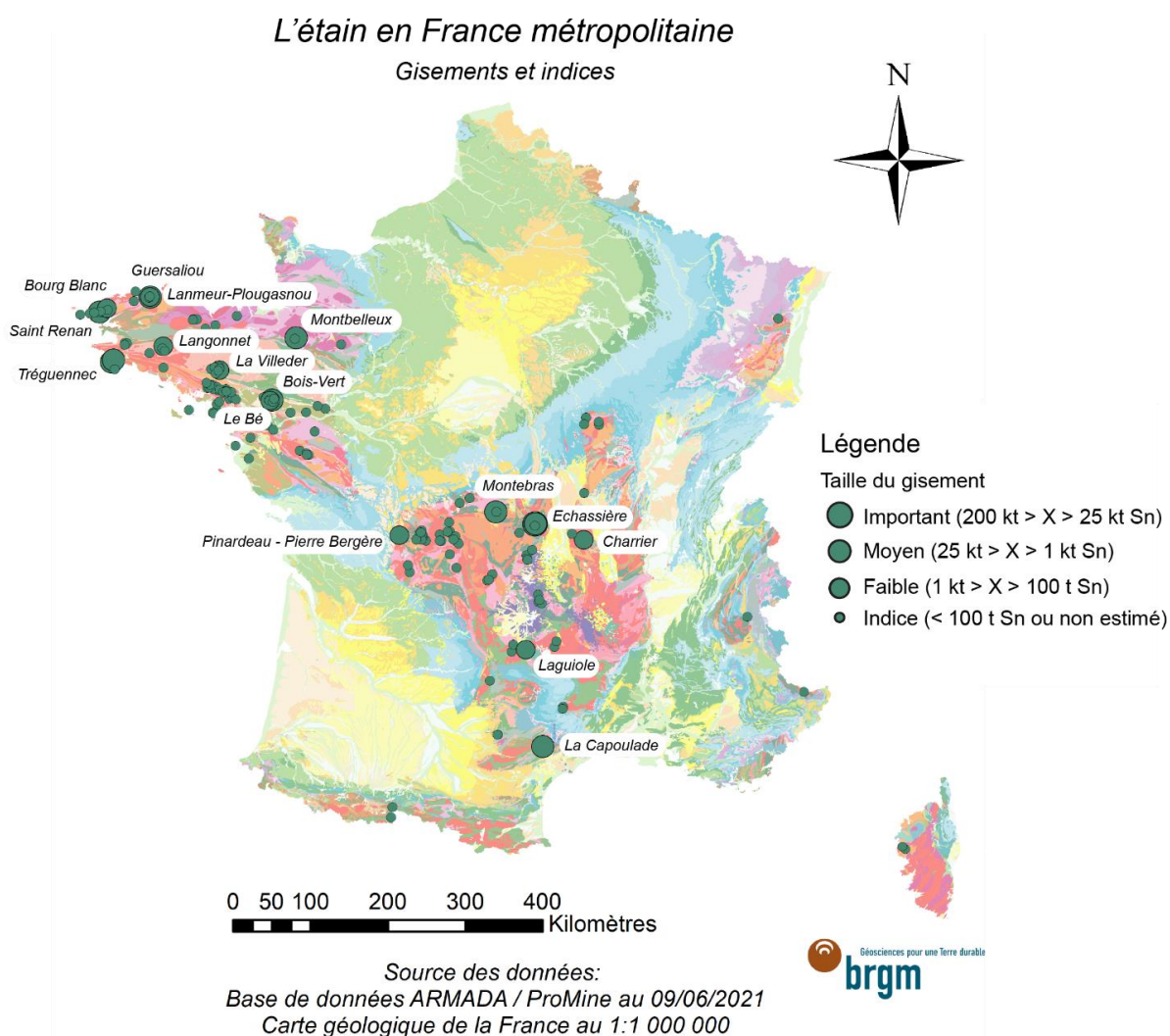


Figure 19 : Carte de distribution des gîtes d'étain en France métropolitaine.

Un total de 14 198 t Sn a été exploitée pour un total de 95 479 t de ressources identifiées (Tableau 11).

Nom du site	Production passée (t)	Ressources supposées (t)	Potentiel total (Prod.+Ress.)	Classe
Beauvoir (Echassiere)	2 000,00	64 323,00	66 323,00	B
Bois-Vert / Abbaretz-Nozay	2 700,00	9 100,00	11 800,00	C
Tréguennec / Prat-ar-Hastel	-	5 400,00	5 400,00	C
Guersaliou	-	5 200,00	5 200,00	C
Saint Renan	5 000,00	-	5 000,00	C
Montbelleux	25,00	4 250,00	4 275,00	C
Montebras / Les Mines	300,00	3 500,00	3 800,00	C
La Bosse / Les Montmins (Echassières)	2 000,00	-	2 000,00	C
Tréguennec / Tréluan	-	1 245,00	1 245,00	C
La Capoulade	-	1 000,00	1 000,00	C
La Villeder	159,00	700,00	859,00	D
Le Charrier	750,00	-	750,00	D
Bourg Blanc	500,00	-	500,00	D
Lanmeur-Plougasnou	460,00	-	460,00	D
Langonnet	50,00	335,00	385,00	D
Laguiole / Huparlac	-	340,00	340,00	D
Périssac / Esse	0,50	280,00	280,50	D
Le Bé / Abbaretz-Nozay	100,00	-	100,00	D
Jouhé / La Garde (Vaulry)	62,00	-	62,00	E
Vaulry - Cieux / La Glaieule / Banèche	50,00	-	50,00	E
Piriac 2	15,00	-	15,00	E
Piriac 3	15,00	-	15,00	E
Plage de la Mine d'Or / Pénestin	3,00	6,00	9,00	E
Piriac 1	8,00	-	8,00	E
Monsac / Cieux	0,40	-	0,40	E
TOTAL (t Sn métal)	14 197,90	95 679,00	109 876,90	

Tableau 11 : Principaux gîtes d'étain recensés en 2021. À noter que la catégorie E ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).

4.13 LE TELLURE

Cinq indices sont reportés en France métropolitaine (Figure 20). Ces occurrences sont associées géologiquement à des gîtes volcano-sédimentaires (type VMS) et exhalatifs-sédimentaires (type SEDEX), formant des amas ou lentilles, parfois démembrés, encaissés dans des roches ultramafiques en contexte ophiolitique indifférencié (Noceta (Haute-Corse) et Ponte Lecchia (Haute-Corse)), serpentinite (Linguizetta (Haute-Corse), Saint Véran (Hautes-Alpes)) ou gabbro (Casaluna (Haute-Corse)). Dans ces différentes occurrences, le cuivre représente la substance principale. Les tellurures identifiés sont la mélonite (NiTe_2), la hessite (Ag_2Te), l'altaïte (PbTe) et la coloradoïte (HgTe). Le tellure est un métalloïde rare dans le milieu naturel. Il est fréquemment associé au sélénium et est exclusivement produit dans le monde comme un co-produit de l'extraction du cuivre, du plomb ou du nickel.

Il n'y a pas de production historique, ni de ressources identifiées en France métropolitaine.

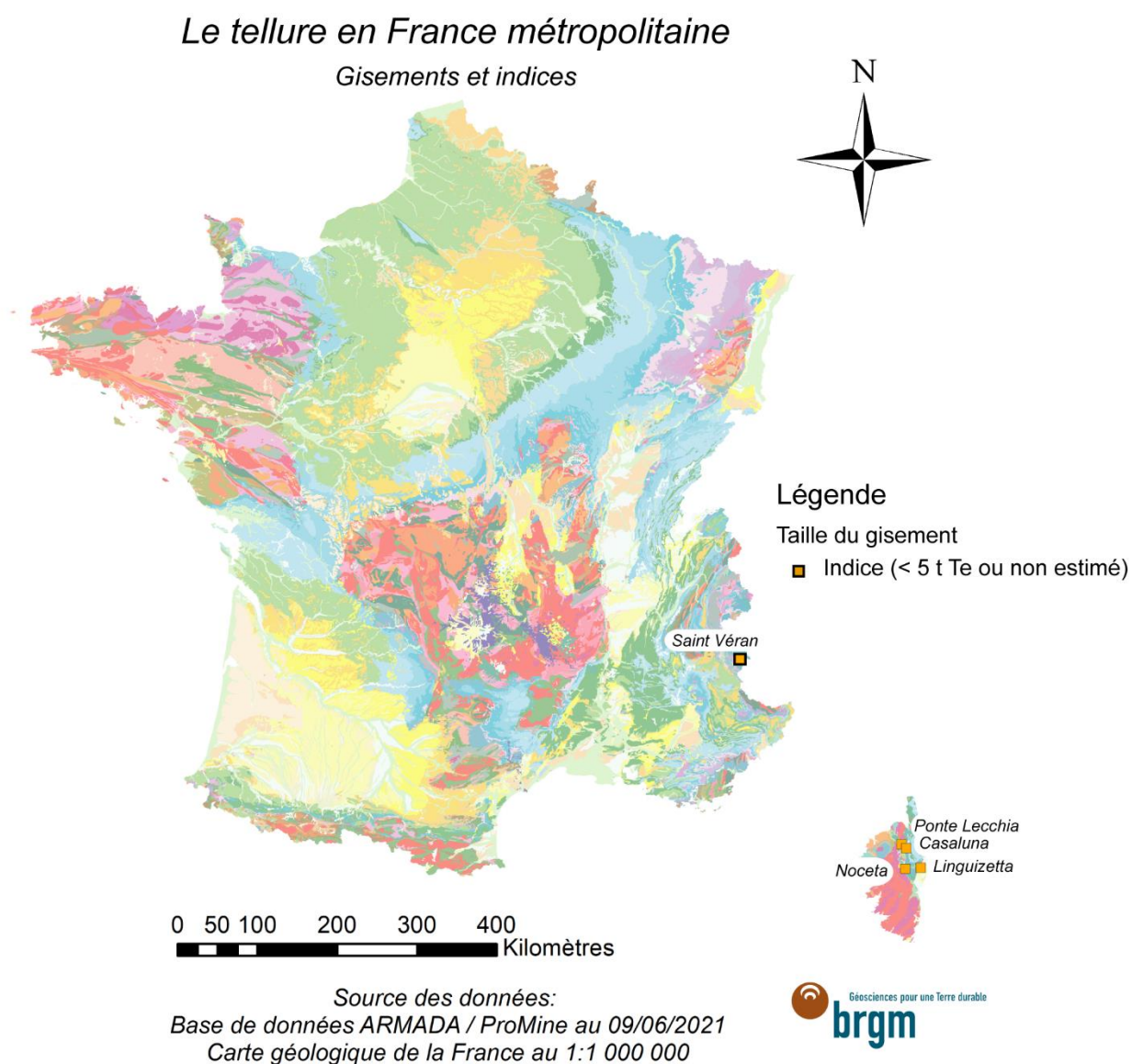


Figure 20 : Carte de distribution des gîtes de tellure en France métropolitaine.

4.14 LE SCANDIUM

En France métropolitaine, le scandium (Sc) est identifié sur trois indices (Figure 21). Cependant aucune estimation des ressources n'a été réalisée, ni aucune production connue.

Le scandium est un métal ayant une affinité avec les terres rares. Géologiquement associé à des processus magmatiques (Gwernavalou (Côtes d'Armor)) ou hydrothermaux (Saint Aubin des Châteaux (Loire-Atlantique) et Entre deux Roches (Savoie)). Les minéraux porteurs (e.g., prétilite, xénotime, zircon) sont nombreux et présentent rarement des teneurs supérieures à 1 % Sc, excepté la prétilite qui est composée d'environ 32 % de Sc.

Ils ne forment que très rarement des gisements scandifère, mais constituent un co-produit de l'extraction du titane, de l'étain, du tungstène, de l'uranium ou encore de l'apatite.

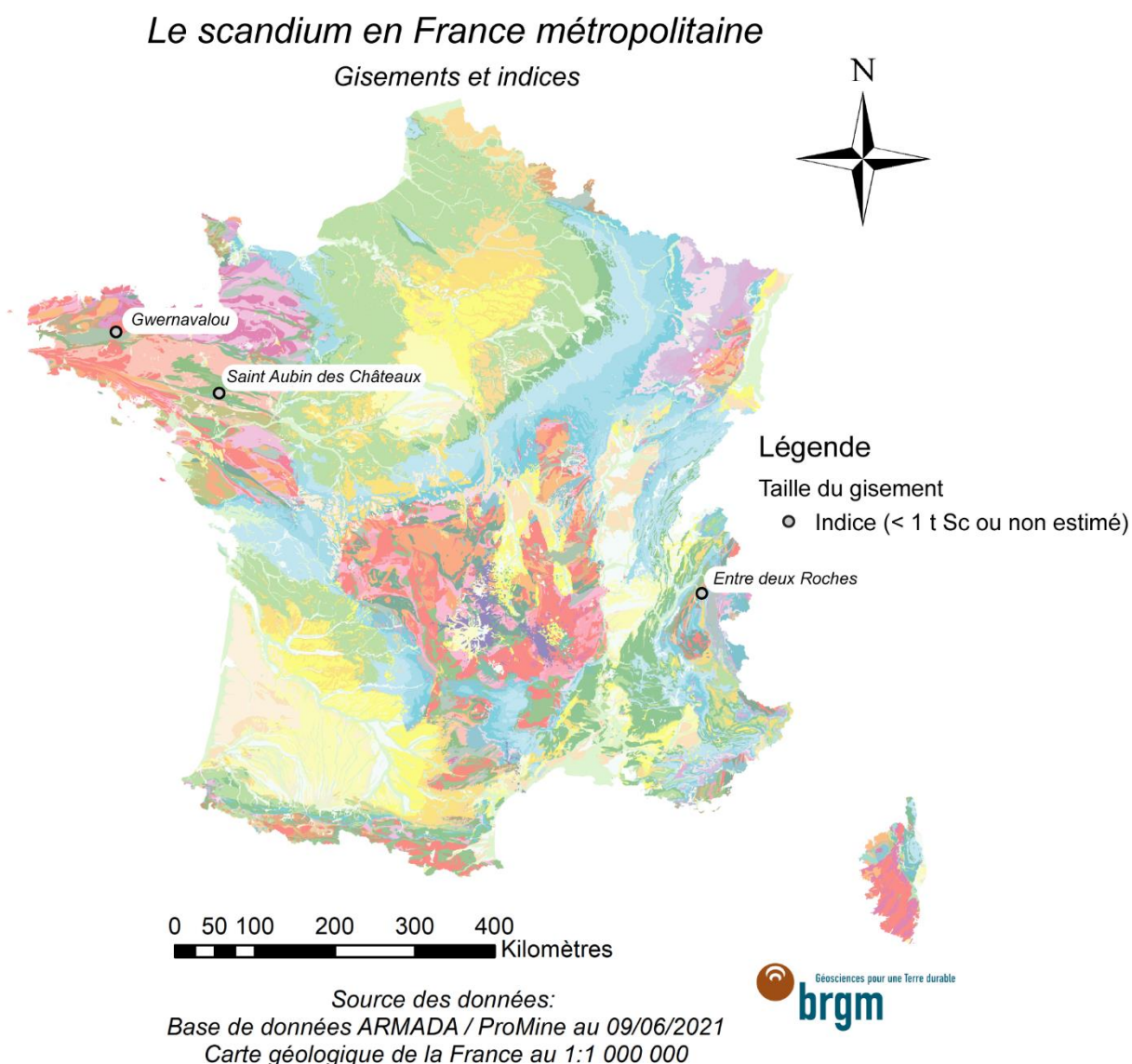


Figure 21 : Carte de distribution des gîtes de scandium en France métropolitaine.

4.15 LE MOLYBDÈNE

En France métropolitaine, le molybdène (Mo) est identifié sur 59 gîtes (Figure 22), exclusivement au travers d'occurrences de molybdénite (MoS_2).

Géologiquement, la molybdénite est principalement associée aux gisements porphyriques en association avec le Cu, ce qu'on appelle communément les porphyres à Cu-Mo (e.g., Beauvain (Orne), La Rousselière (Loire-Atlantique), Breitenbach (Bas-Rhin)). Ces gisements peuvent également contenir du tungstène.

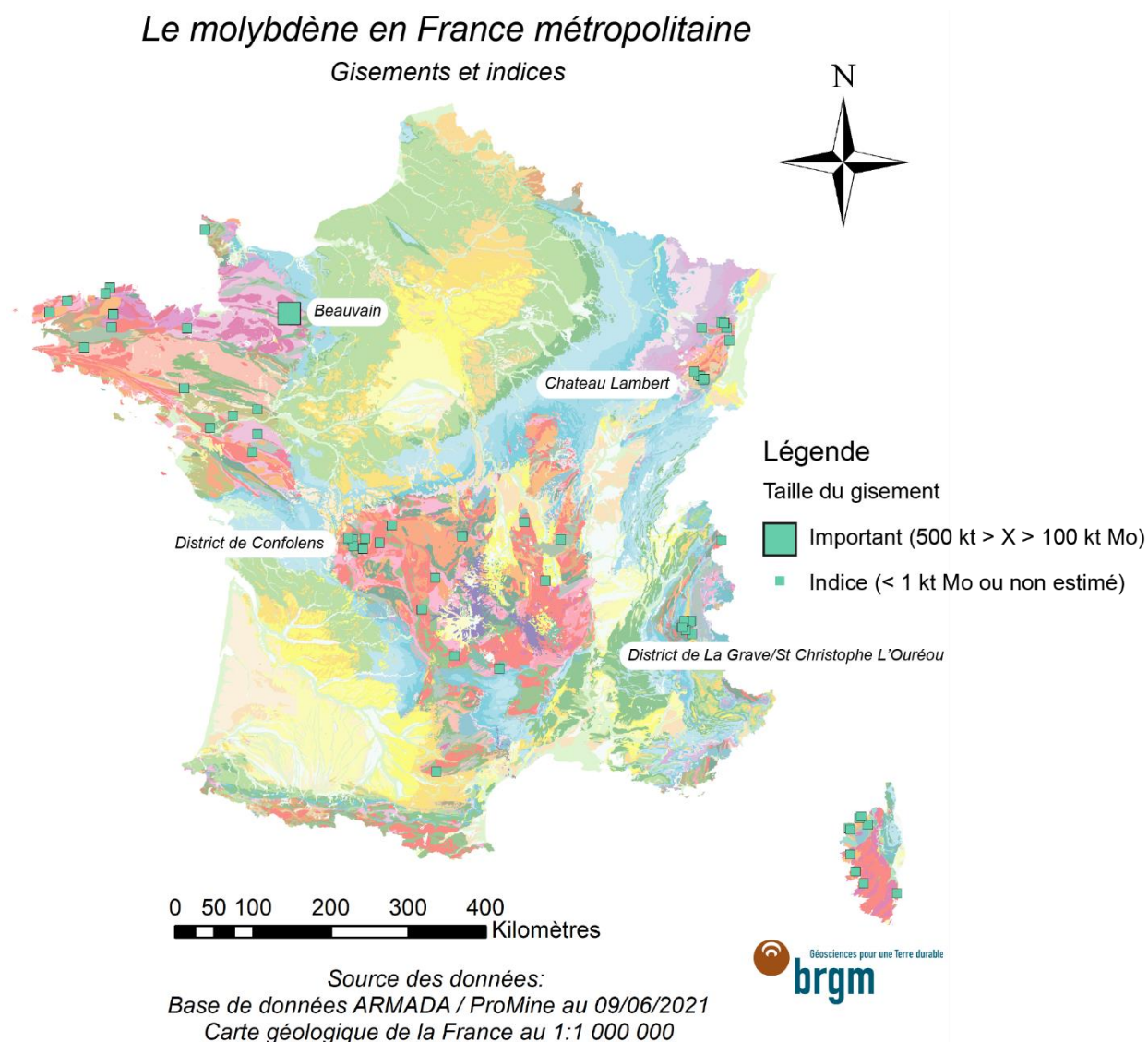


Figure 22 : Carte de distribution des gîtes de molybdène en France métropolitaine.

Un total de 37 t Mo métal ont été exploités sur le gîte « contrôlés par des granitoïdes » de Château Lambert (Haute-Saône) alors que 60 000 t Mo métal sont identifiées sur le gisement porphyrique de Beauvain (Orne) (Tableau 12). Ce dernier présente des teneurs moyennes relativement basses à 0,02 – 0,03 % Mo, bien que certains panneaux plus riches soient évalués à 0,06-0,12 % Mo. Cette estimation de ressources est basée sur seulement 18 sondages de reconnaissance réalisés entre 1981 et 1984.

Nom du site	Production passée (t)	Ressources supposées (t)	Potentiel total (Prod.+Ress.)	Classe
Beauvain	-	60 000,00	60 000,00	C
Château Lambert	37,00	-	37,00	E
TOTAL (t Mo métal)	37	60 000	60 037	



Tableau 12 : Principaux gîtes de molybdène recensés en 2021. À noter que la catégorie E ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).

4.16 LE TITANE

Le titane est identifié sur un total de douze indices incluant trois gisements de faible tonnage en France métropolitaine (Figure 23). Seuls quatre gîtes présentent des ressources estimées dont trois gisements de classe petit (La Glacerie (Manche), Saint Pierre-du-Bû (Calvados), Teillay (Ile-et-Vilaine)). Le titane se trouve exclusivement sous la forme de dioxyde de titane, soit dans le rutile TiO_2 ou dans l'ilménite FeTiO_3 .

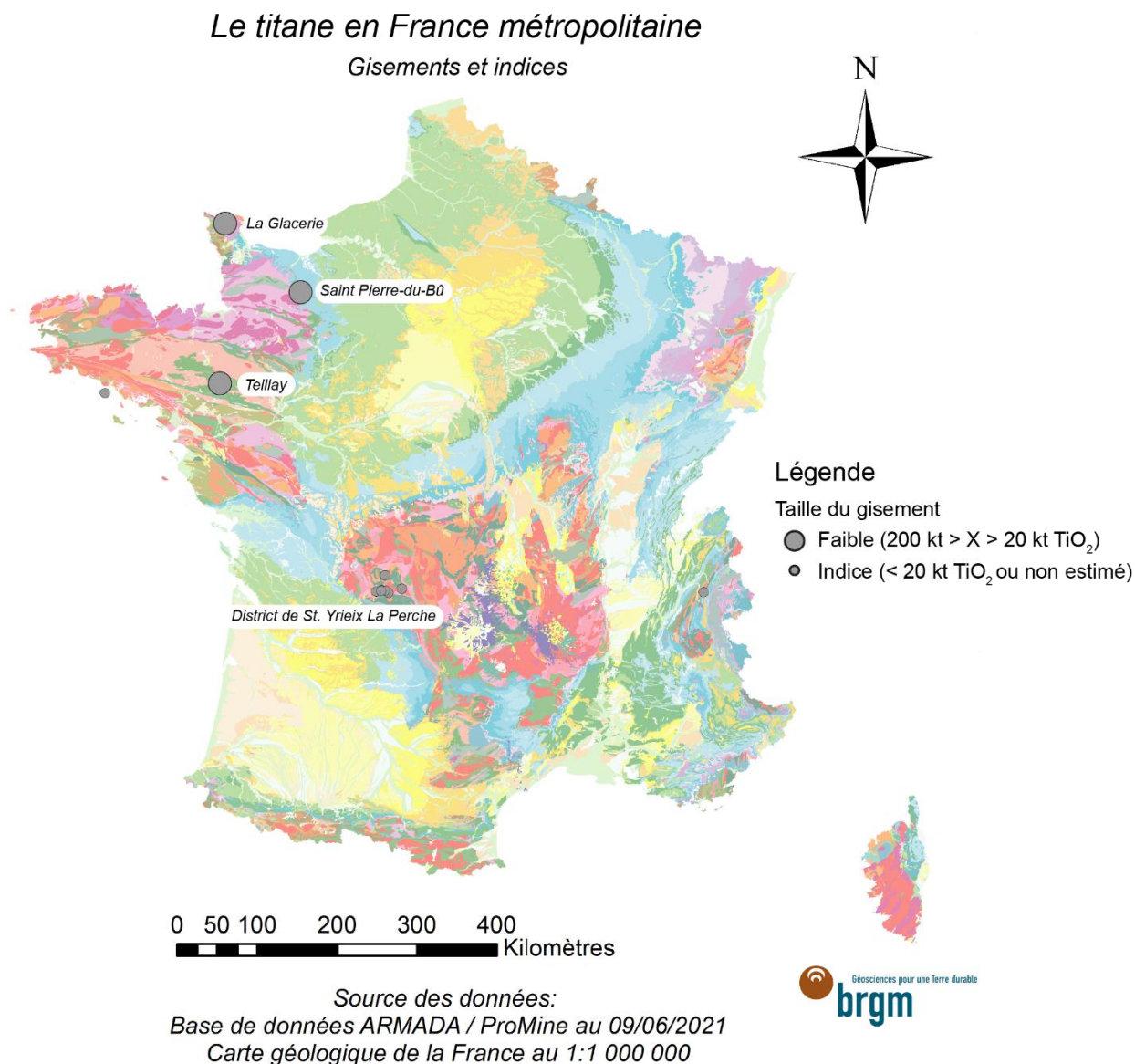


Figure 23 : Carte de distribution des gîtes de titane en France métropolitaine.

Les trois gisements connus sont localisés au sein du Massif Armoricain et associés à des paléoplacers à rutile et à zircon, tout comme les indices (non évalués) du district de St-Yrieix-la-Perche. Le zirconium et l'hafnium constituent de potentiels co-produits de ces occurrences.

Un total de 66 t de TiO_2 a été exploité, cependant les ressources identifiées restent importantes (1,04 millions de t TiO_2 , Tableau 13).

Nom du site	Production passée (t)	Ressources supposées (t)	Potentiel total (Prod.+Ress.)	Classe
Teillay 2	-	640 000,00	640 000,00	C
La Glacerie	-	200 000,00	200 000,00	C
Saint Pierre-du-Bû	-	200 000,00	200 000,00	C
Piquette	66,00	-	66,00	E
TOTAL (t TiO₂)	66	1 040 000	1 040 066	



Tableau 13 : Principaux gîtes de titane recensés en 2021. À noter que la catégorie E ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).

4.17 L'INDIUM

En France métropolitaine, un total de 15 indices d'indium (In) est identifié (Figure 24). Aucun n'a fait l'objet d'exploitation ou d'évaluation de ressources.

Pour information, l'indium est un métal de post-transition, rare dans le milieu naturel, avec un Clarke² faible, de quelques dizaines de mg/t. On le rencontre en quantité infime dans les minerais de Pb-Zn (100 ppm pour les plus riches), Cu, Fe. Il est extrait, dans le monde, comme sous-produit du raffinage du zinc.

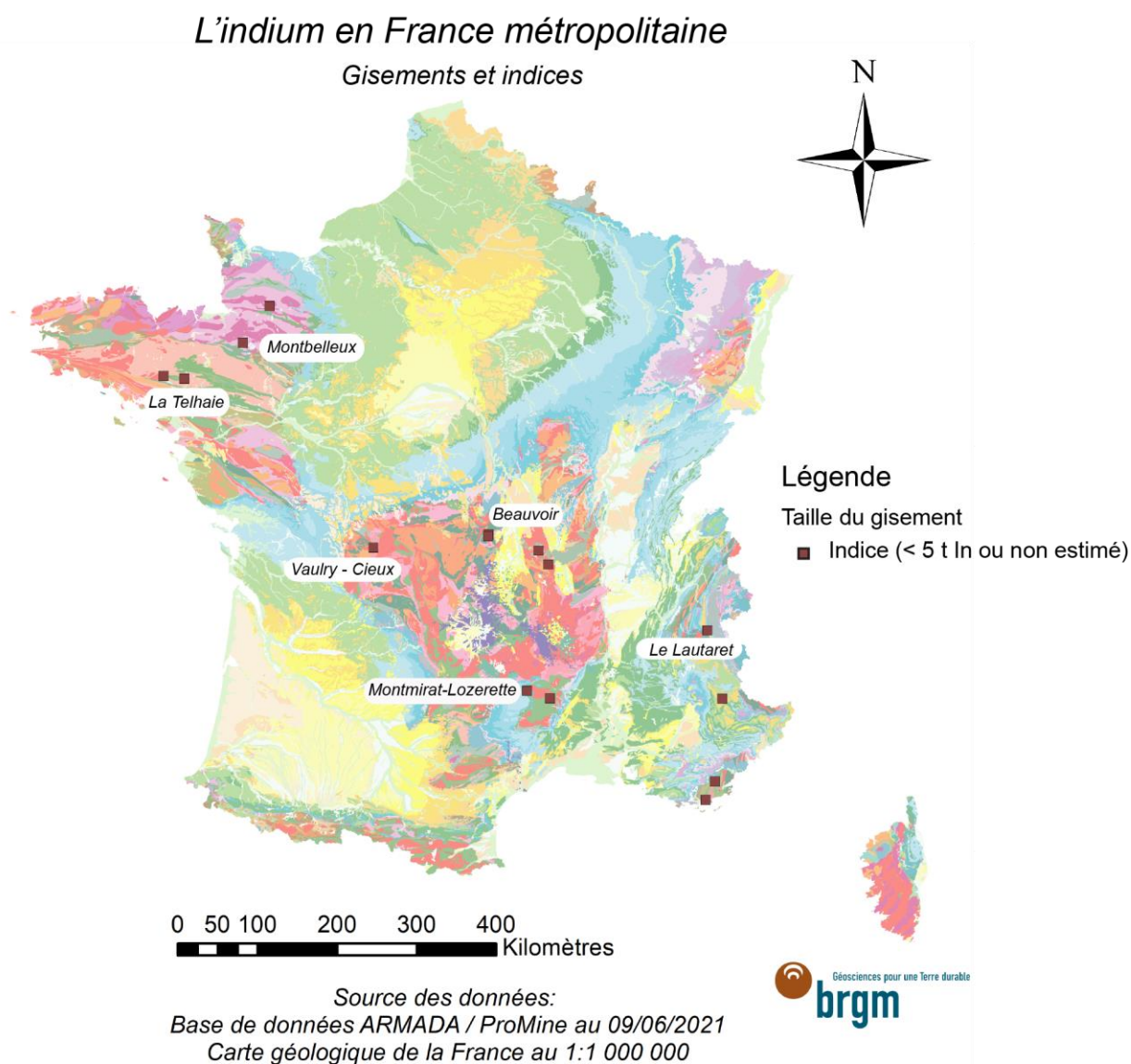


Figure 24 : Carte de distribution des gîtes d'indium en France métropolitaine.

² Valeur moyenne d'un élément dans la croûte terrestre.

4.18 LE SÉLÉNIUM

En France métropolitaine, le sélénium (Se) est recensé uniquement sur le gîte uranifère de Olloix (Puy-de-Dôme) (Figure 25). Par ailleurs, aucune exploitation historique ni estimation de ressources n'est reportée en France métropolitaine.

Pour information, le sélénium est un élément non métallique rare, parfois considéré comme un métalloïde. Chimiquement proche du soufre, il se rencontre en substitution de ce dernier dans les sulfures ou sous forme de séléniures, rares dans le milieu naturel. Il n'y a pas de gisement de sélénium dans le monde, il est extrait comme co-produit du raffinage du cuivre, plomb ou nickel -cobalt.

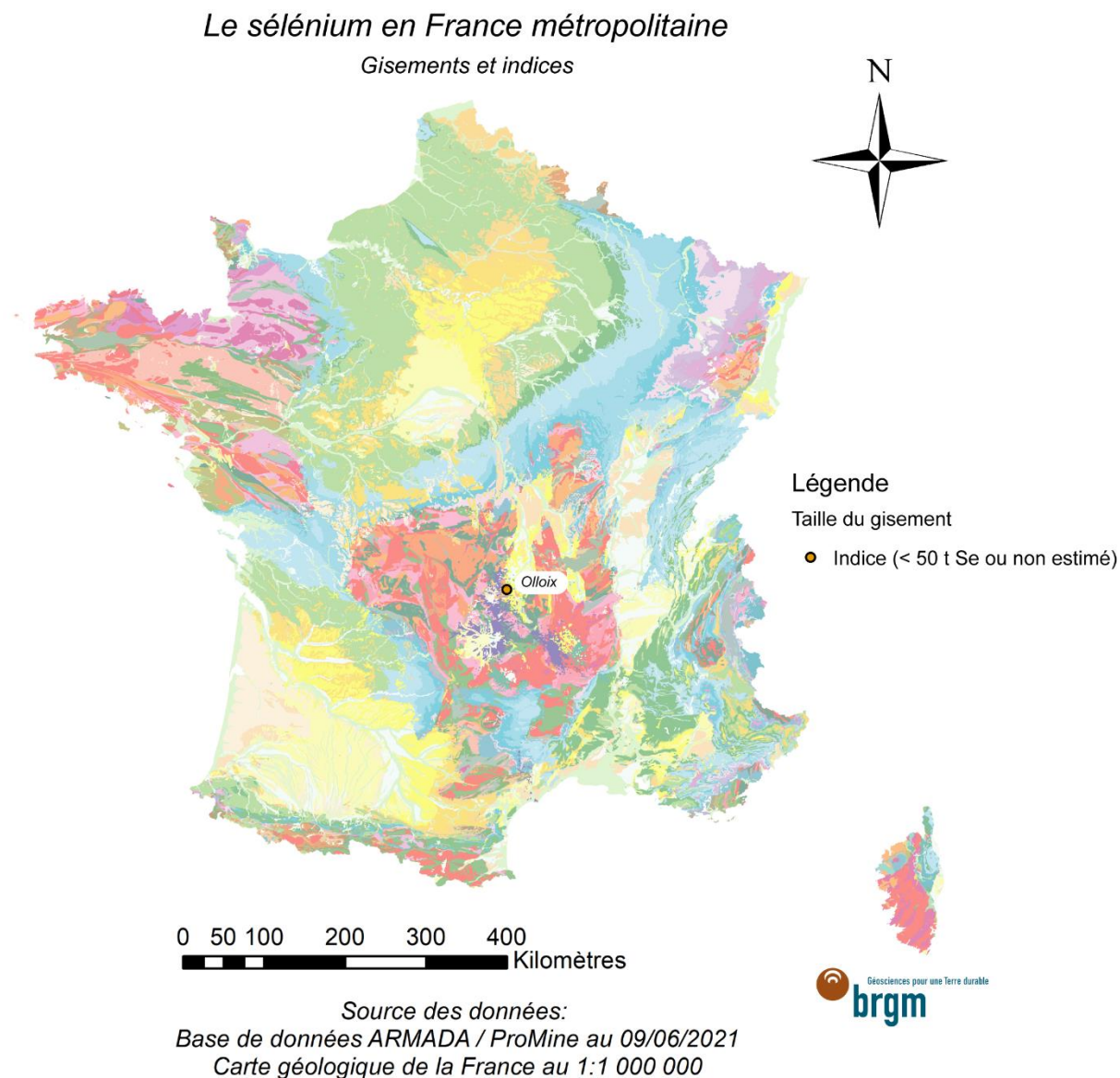


Figure 25 : Carte de distribution des gîtes de sélénium en France métropolitaine.

4.19 LE TANTALE

En France métropolitaine, des ressources en tantale (Ta) sont recensé sur 3 gites (Figure 26).

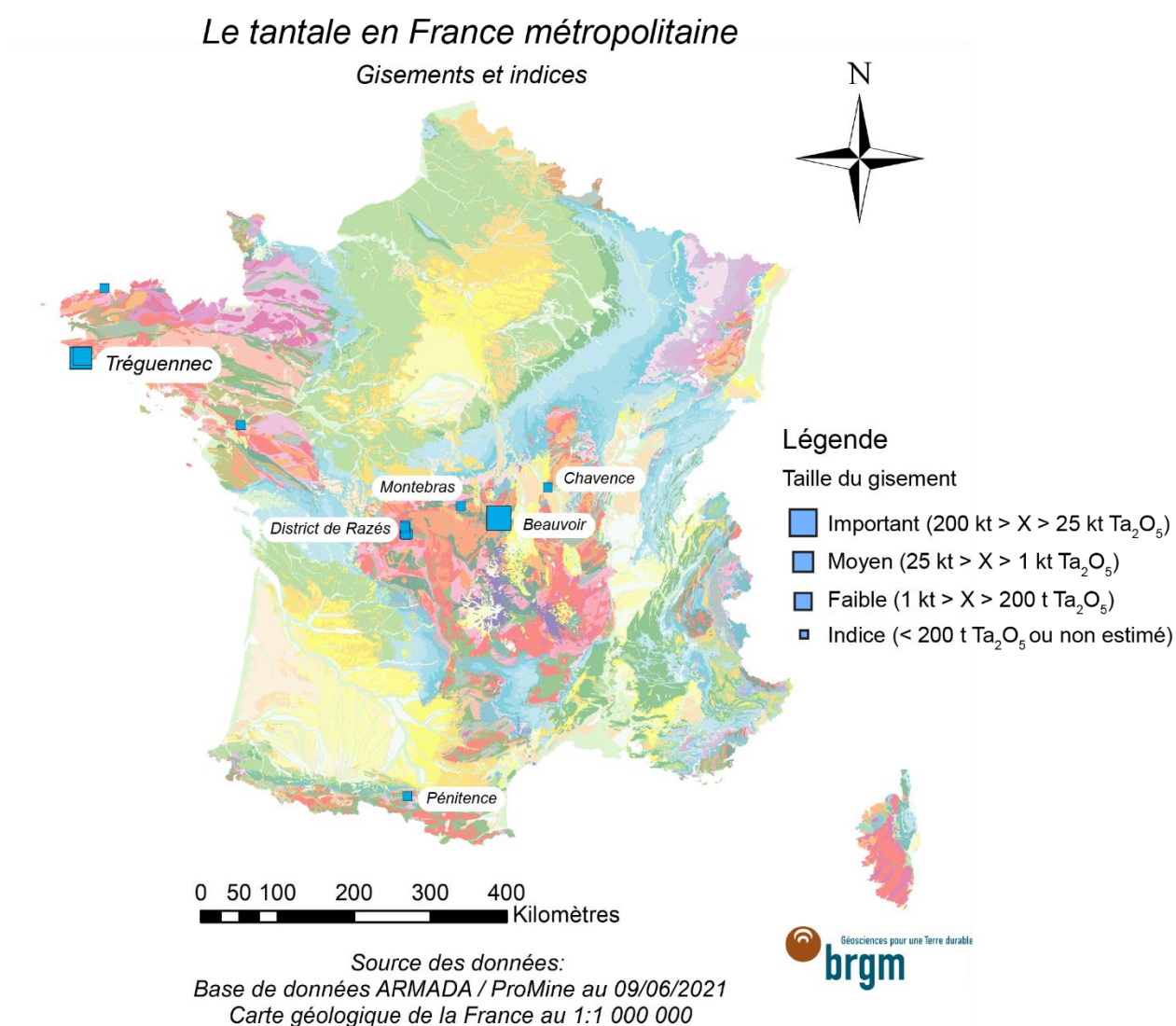


Figure 26 : Carte de distribution des gîtes de tantale en France métropolitaine.

Géologiquement, le tantale est un métal très souvent associé au niobium avec qui il présente de fortes affinités et possède les mêmes contextes de formations en France :

- les pegmatites de type Lithium-Césium-Tantale (LCT) (Černý *et al.*, 2005) ;
- les granites à métaux rares et greisens associés.

Le tantale est fréquemment en association avec Fe et Mn mais aussi Au, Ag, Co, Sn, W ou U.

Il est produit dans le monde, à partir de minerai de tantale-niobium dont le coltan (Colombite-Tantalite). Il est également extrait du recyclage et comme co-produit dans la production d'étain.

Il n'y a pas de production historique de tantale, cependant les ressources estimées représentent 17 933 t Ta_2O_5 (Tableau 14).

Nom du site	Production passée (t)	Ressources supposées (t)	Potentiel total (Prod.+Ress.)	Classe
Beauvoir (Echassiere)	-	16 128,00	16 128,00	B
Tréguennec / Prat-ar-Hastel	-	1 600,00	1 600,00	C
Tréguennec / Tréluhan	-	205,00	205,00	D
TOTAL (t Ta₂O₅ métal)	-	17 933	17 933	



Tableau 14 : Principaux gîtes de tantale recensés en 2021. À noter que les catégories E ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).

4.20 LE NICKEL

En France métropolitaine, le nickel (Ni) est recensé sur 23 indices en Bretagne, dans les Vosges, le Massif Central, les Alpes, les Pyrénées et la Corse Alpine (Figure 27).

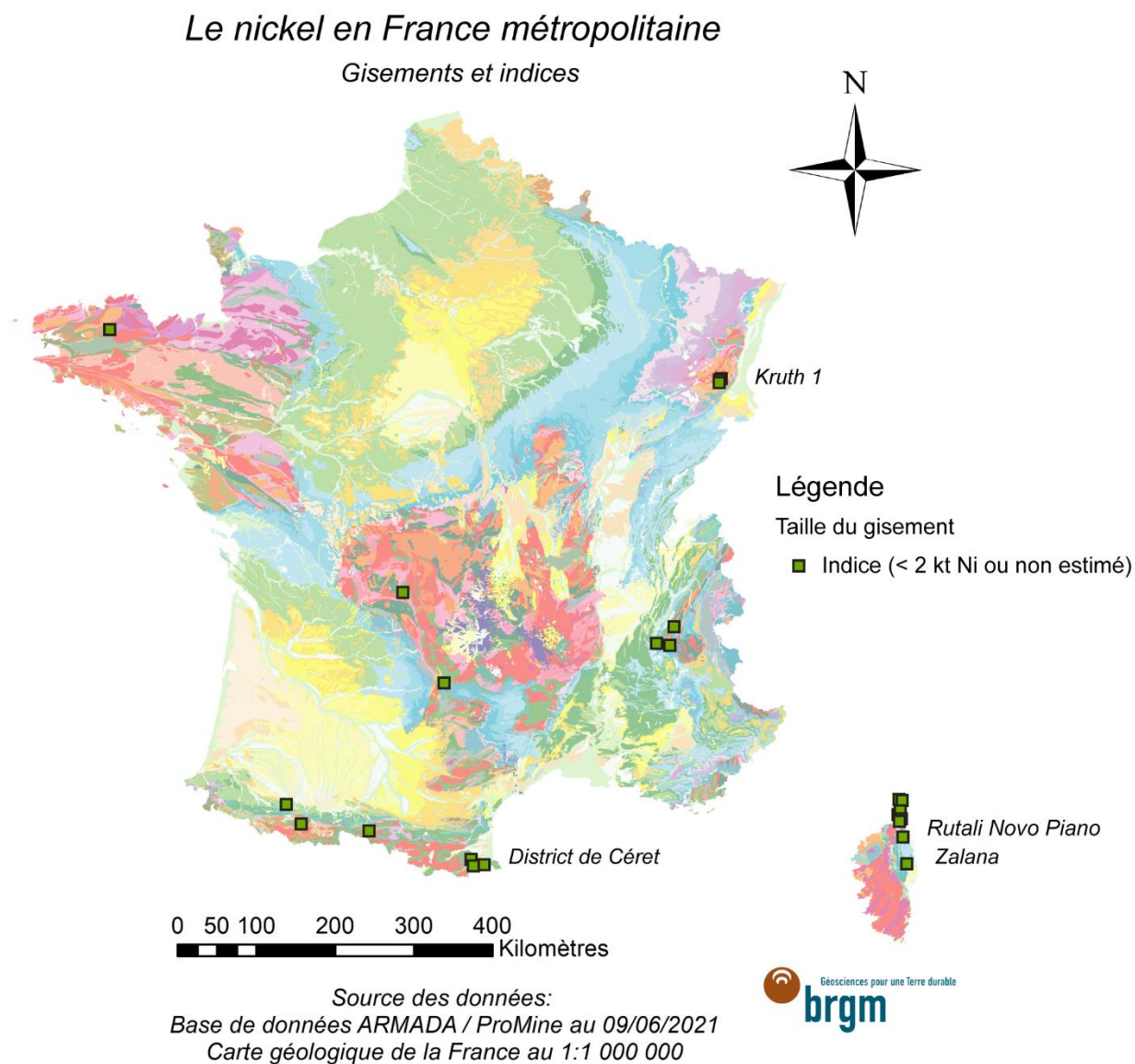


Figure 27 : Carte de distribution des gîtes de nickel en France métropolitaine.

Géologiquement, le nickel est un métal très souvent associé au chrome et au cobalt avec qui il présente de fortes affinités (ainsi que le Fe, Mn et Mg). Le nickel, constitue souvent la substance principale des minerais formés dans des contextes géologiques similaires au chrome et au cobalt :

- les roches magmatiques mafiques à ultramafiques altérées (contexte latéritique donnant notamment la garniérite, la minéralisation la plus fréquente) ;
- les gisements de Ni-Co sulfurés ;
- les gisements sédimentaires stratiformes cuprifères ou sulfurés ;
- gisement à sulfures de cuivre en contexte d'impact météorique de type complexe ultramafique stratifié.

Dans le contexte de la France métropolitaine, les indices concernent des sulfures encaissés dans des roches ultramafiques. La France métropolitaine enregistre une production minière limitée pour ce métal au XIX^e siècle.

Il est à noter que les ophiolites de la chaîne alpine ne contiennent pas de gisements notables (Deschamps *et al.*, 2002). Aucun gisement résiduel latéritique, n'est présent en France métropolitaine, contrairement à la Nouvelle-Calédonie.

De plus, 3 sites présentent une production historique de 235 t Ni sans ressources estimés (Tableau 15).

Nom du site	Production passée (t)	Ressources supposées (t)	Potentiel total (Prod.+Ress.)	Classe
Zalana	200,00	-	200,00	E
Rutali Novo Piano	30,00	-	30,00	E
Kruth 1 / Mine Fanny	5,00	-	5,00	E
TOTAL (t Ni métal)	235	0	235	



Tableau 15 : Principaux gîtes de nickel recensés en 2021. À noter que la catégorie E ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).

4.21 LE GERMANIUM

En France métropolitaine, le germanium (Ge) se rencontre sur 40 indices. 4 gîtes, cependant, se détachent en terme de ressources : Saint Salvy, La Croix de Pallières, Peyrebrune et Plélauff (Figure 28).

Géologiquement, le germanium est un métalloïde, qui présente une très forte affinité avec le zinc et la matière organique. Il est, par conséquent, fréquemment présent dans certains gisements de Zn (VMS, SEDEX, MVT, épithermaux et filons tardifs à Pb-Zn) et certains gisements de charbons. Bien qu'il existe des sulfures de germanium (germanite ($\text{Cu}_{13}\text{Fe}_2\text{Ge}_2\text{S}_{16}$), argyrodite (Ag_8GeS_6), rénierite ($(\text{Cu,Zn})_{11}\text{Fe}_4(\text{Ge,As})_2\text{S}_{16}$)), il est presque exclusivement extrait, dans le monde, comme sous-produit de la sphalérite (principal minéral de zinc).

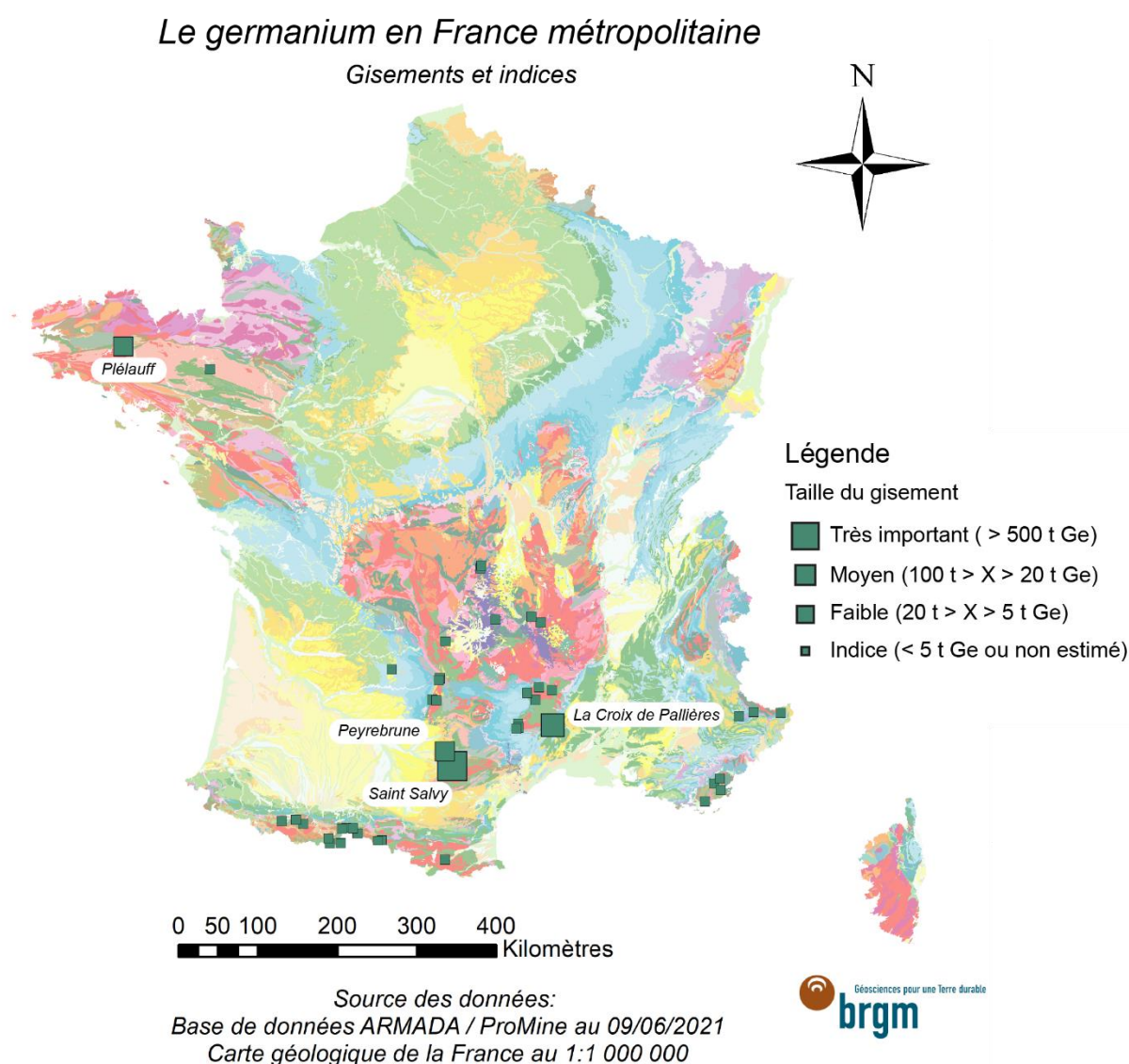


Figure 28 : Carte de distribution des gîtes de germanium en France métropolitaine.

La production historique est estimée à 528 t de Ge, avec des ressources faible de l'ordre de 329 t Ge (Tableau 16).

Nom du site	Production passée (t)	Ressources supposées (t)	Potentiel total (Prod.+Ress.)	Classe
Saint-Salvy (Noailhac-Saint-Salvy)	500,00	300,00	800,00	A
La Croix de Pallières	28,00	-	28,00	C
Plélauff	-	16,00	16,00	D
Peyrebrune	-	13,00	13,00	D
TOTAL (t Ge métal)	528	329	857	



Tableau 16 : Principaux gîtes de germanium recensés en 2021. À noter que la catégorie E ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).

4.22 LE GALLIUM

En France métropolitaine, le gallium (Ga) est identifié sur 14 gîtes (Figure 29). Par ailleurs, aucune exploitation historique ni estimation de ressources n'est reportée en France métropolitaine.

Géologiquement, le gallium est un métal de post-transition, qui présente également une fréquente association avec le zinc et la matière organique (comme le germanium) ; mais également une très forte affinité avec l'aluminium. Il est, par conséquent, fréquemment présent dans certains gisements d'oxyhydroxyde d'aluminium (certaines bauxites présentent une teneur moyenne de 30 à 80 ppm Ga) et certains gisements de Zn (MVT, SEDEX).

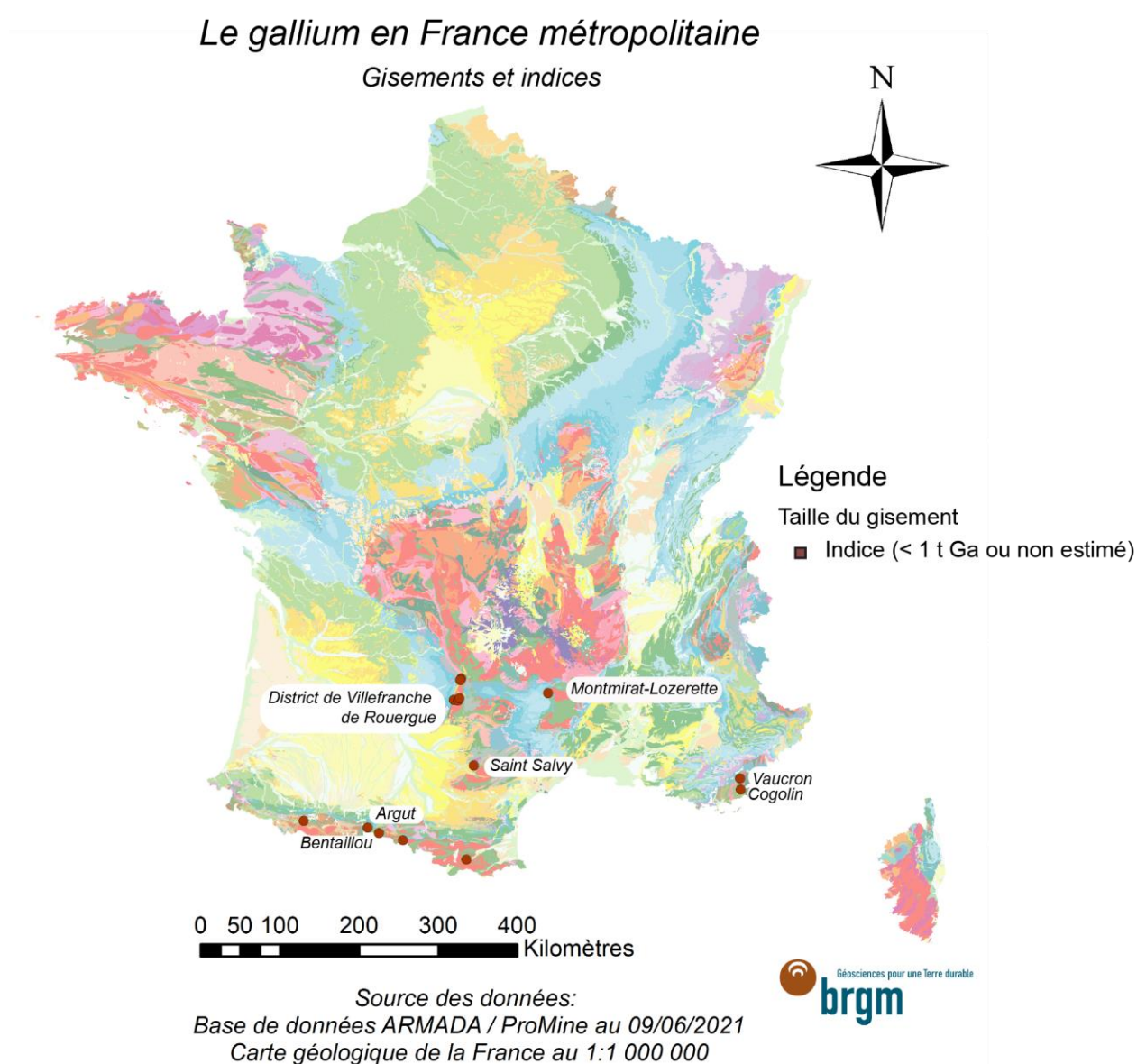


Figure 29 : Carte de distribution des gîtes de gallium en France métropolitaine.

Le gallium est donc essentiellement un co-produit de la métallurgie de l'aluminium et du zinc (sphalérite), bien qu'il existe de rares sulfures de gallium (richardsite ($\text{Zn}_2\text{CuGaS}_4$), zincobriartite ($\text{Cu}_2(\text{Zn},\text{Fe})(\text{Ge},\text{Ga})\text{S}_4$) et gallite (CuGaS_2)).

4.23 L'ARGENT

En France métropolitaine, il existe de très nombreux indices et gîtes d'argent dont 64 ont fait l'objet d'une exploitation ou d'une estimation de ressources (Figure 30).

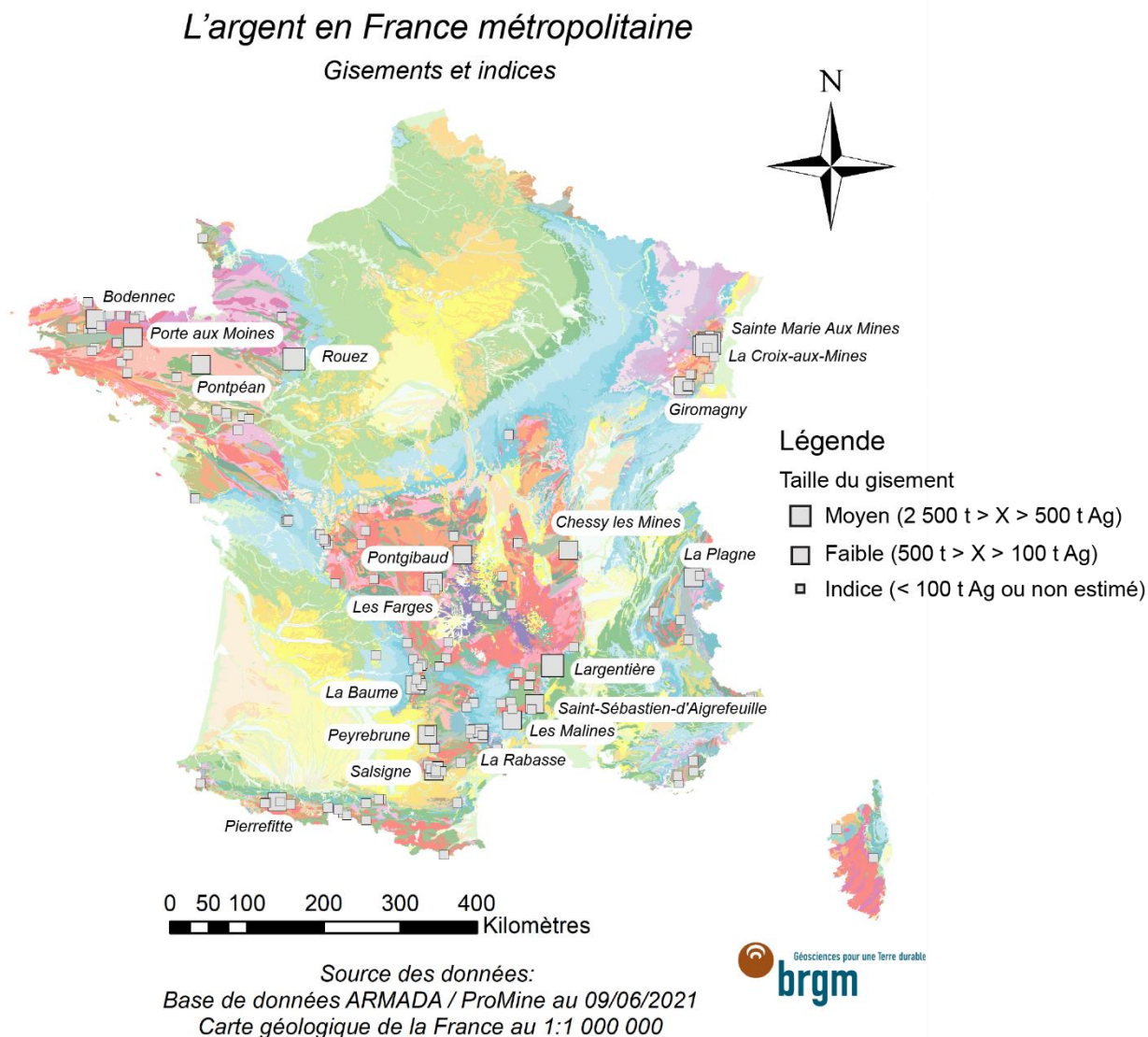


Figure 30 : Carte de distribution des gîtes d'argent en France métropolitaine.

Géologiquement, l'argent est un métal que l'on retrouve sous différentes formes :

- natif associé ou non à l'or (gîtes primaires) ;
- sulfures d'argents et sulfosels rares (acanthite, pyrargyrite, ...) ;
- halogénures d'argent rares (chlorargyrite, iodargyrite, bromargyrite, ...) ;
- tellurure d'argent (rares) ;
- en associations avec les sulfures de Pb-Zn (galène argentifère), Cu, Mo, Sb et Bi.

Les gisements dont l'argent est la substance principale représentent le quart de la production mondiale. Excepté ce cas l'argent est généralement un sous-produit de la métallurgie du Pb-Zn, Cu, Au et Mo.

La production historique cumulée en France métropolitaine est de 4 840 t d'argent avec 2 377 t de ressources estimées (Tableau 17).

Nom du site	Production passée (t)	Ressources supposées (t)	Potentiel total (Prod.+Ress.)	Classe
Rouez	9,13	1 680,01	1 689,14	C
Sainte Marie-aux-Mines	1 000,00	-	1 000,00	C
Largentière	710,00	-	710,00	C
La Plagne	360,00	-	360,00	D
Les Malines	300,00	-	300,00	D
Salsigne	256,00	22,00	278,00	D
Sainte Marie Aux Mines 1	240,00	-	240,00	C
Pontpéan	232,00	-	232,00	D
Les Farges	80,00	110,00	190,00	D
La Baume (12, Pb)	180,00	-	180,00	D
La Porte-aux-Moines	-	179,00	179,00	D
La Croix Aux Mines 1	150,00	-	150,00	D
Peyrebrune	150,00	-	150,00	D
Pierrefitte (Vieille Mine & Banciole)	150,00	-	150,00	D
Saint Sébastien d'Aigrefeuille (Carnoulès)	50,00	70,00	120,00	D
La Rabasse	120,00	-	120,00	D
Chessy les Mines	-	119,00	119,00	D
Bodennec	-	117,00	117,00	D
Giromagny (Saint Pierre)	100,00	-	100,00	D
Pontgibaud (Pranal)	100,00	-	100,00	D
Vialas	93,00	-	93,00	E
La Caunette / La Cau Nette (11, Pb)	84,00	-	84,00	E
La Loubatière	65,00	-	65,00	E
Le Mazel / Orcières (Le Bleymard)	45,00	15,00	60,00	E
Peisey	53,00	-	53,00	E
Banca Trois Rois / Berg Op Zom	15,00	25,00	40,00	E
Les Barrens / Lastours	40,00	-	40,00	E
La Croix de Pallières	30,00	-	30,00	E



Huelgoat	25,00	-	25,00	E
La Finosa (Ghisoni) / Fontana Rossa	1,00	21,60	22,60	E
Minière de Valaure / Vallauria	20,00	-	20,00	E
Chitry les Mines 1	20,00	-	20,00	E
Alzen-Lina / Vieux Minier	20,00	-	20,00	E
Trémuson / Les Cruhauts / Les Boëxières	20,00	-	20,00	E
La Vernède (Ramponenche)	19,00	-	19,00	E
L' Argentière la Bessée	16,00	-	16,00	E
Sentein (Bentaillou)	12,00	-	12,00	E
La Rodde / Filon Jourcy	12,00	-	12,00	E
Coat-An-Noz (B)	-	11,00	11,00	E
Les Challanches (Allemont)	10,00	-	10,00	E
Pale Bidau / Melles	9,00	-	9,00	E
Le Minier du Viala (Le Minier du Tarn)	-	8,00	8,00	E
Le Charrier	6,00	-	6,00	E
Les Bormettes	6,00	-	6,00	E
Auzelles / La Molette	6,00	-	6,00	E
Poullaouen	6,00	0,20	5,80	E
Argentella Capo	5,00	-	5,00	E
Vaucron les Fonderies	3,00	-	3,00	E
Malabau / La Messette	2,10	-	2,10	E
Villeneuve (11)	2,00	-	2,00	E
Maratines	1,50	-	1,50	E
Villardonnell	1,00	-	1,00	E
Mail de Bulard	1,00	-	1,00	E
Giromagny 1 / Teutschgrund	1,00	-	1,00	E
La Valette	0,90	-	0,90	E
La Bellière	0,80	0,03	0,84	E
Carboire	0,50	-	0,50	E
Steinbach / Silberthal	0,10	-	0,10	E
Brusque	0,30	-	0,30	E
Le Puy (Nontron)	0,20	-	0,20	E
Contrère	0,16	-	0,16	E
Montagne de Marcus / Le Mouthoumet (Auriac)	0,13	0,00	0,13	E
Les Gareillas	0,10	-	0,10	E
Les Abères (et La Bédole)	0,01	-	0,01	E
TOTAL (t Ag métal)	4 839,93	2 377,44	7 217,37	

Tableau 17 : Principaux gîtes d'argent recensés en 2021. À noter que la catégorie E ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).

4.24 L'OR

En France métropolitaine, il existe de très nombreux indices et gîte d'or dont 40 ont fait l'objet d'une exploitation ou d'une estimation de ressources (Figure 31).

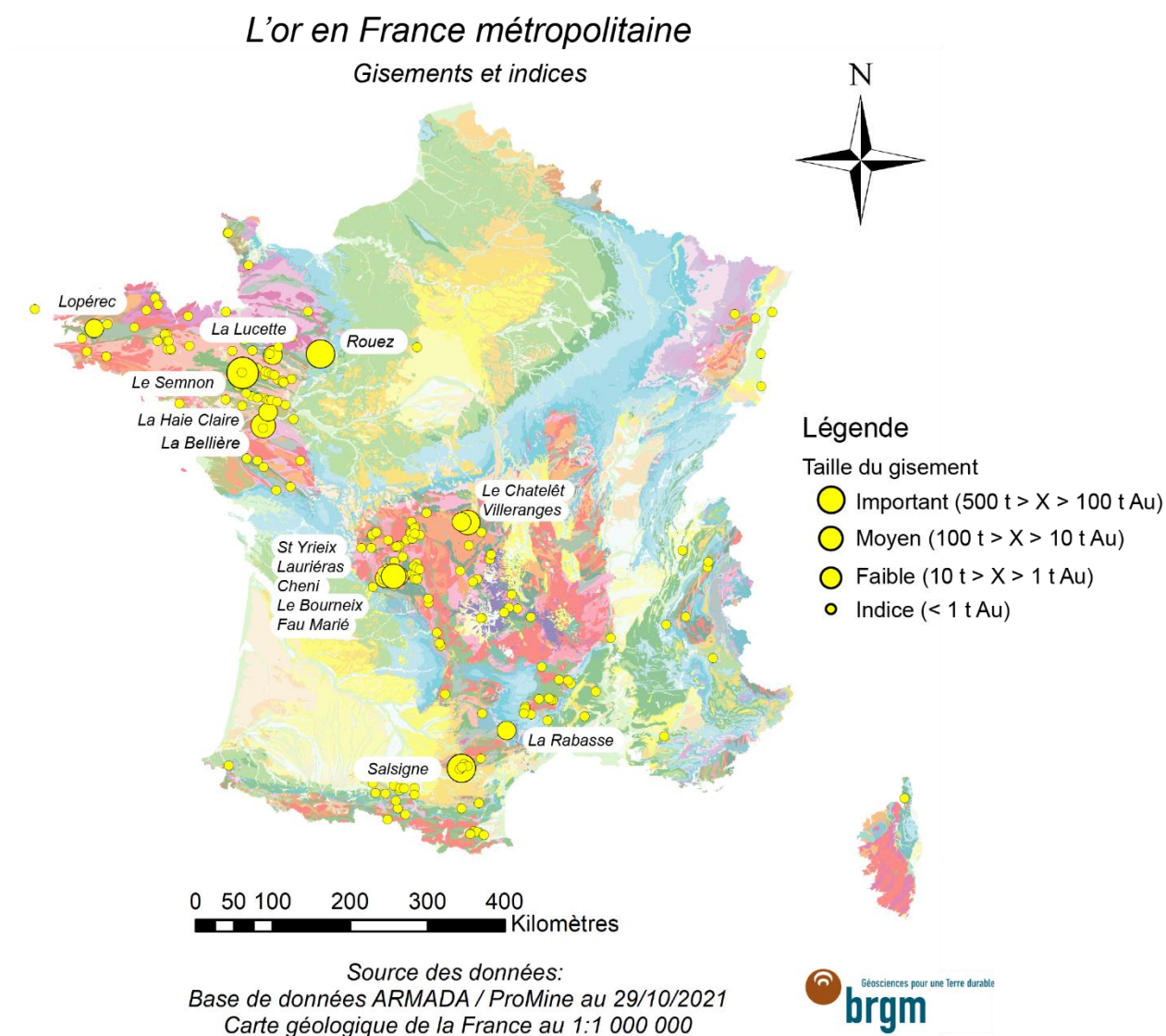


Figure 31 : Carte de distribution des gîtes d'or en France métropolitaine.

Géologiquement, l'or est un métal rare et précieux que l'on rencontre dans de nombreux contextes. En France, les types de gisements principaux sont :

- les gisements d'or associés à des filons de quartz-carbonates en contexte orogénique ;
- les gisements d'or associés aux systèmes porphyriques et épithermaux en contexte de subduction ;
- les skarns aurifères ;
- les VMS aurifères ;
- gisements supergènes de type placers (alluvions, éluvions) et paléoplacers (conglomérats et grès) et résiduels (latérites)

Dans le monde, il existe de très nombreux sites d'extraction d'or exploité seul ou comme co-produit de la métallurgie du Cu, Ag, Pb-Zn, Sb, Mo, Ni, mais aussi obtenu par recyclage.

La production historique cumulée recensée en France métropolitaine est de 215 t d'or avec 164 t de ressources estimées (Tableau 18).

Nom du site	Production passée (t)	Ressources supposées (t)	Potentiel total (Prod.+Ress.)	Classe
Salsigne	97,50	26,50	124,00	B
Rouez	2,70	120,04	122,74	B
Saint-Yrieix (District)	37,00	-	37,00	C
Le Châtelet (23)	10,84	7,50	18,34	C
Laurières	9,40	5,00	14,40	C
La Bellière	10,40	-	10,40	C
La Coëfferie	-	1,00	1,00	D
Les Renardières (près l'abbaye de Bourneix)	8,65	-	8,65	D
Cros Gallet / Le Bourneix	8,65	-	8,65	D
La Lucette	8,30	-	8,30	D
Chéni / Douillac	7,50	-	7,50	D
Villerange / Fontanière	4,20	-	4,20	D
Lopérec	3,89	-	3,89	D
Le Semnon	-	2,03	2,03	D
La Haie Claire	-	1,20	1,20	D
Fau Marié	1,12	-	1,12	D
La Rabasse	1,00	-	1,00	D
Les Touches	-	0,84	0,84	E
Les Fouilloux	0,66	-	0,66	E
Les Gareillas	0,51	-	0,51	E
Mas-Vieux	0,44	-	0,44	E
La Petite Faye	0,38	-	0,38	E
Glorianes	0,35	-	0,35	E
Renardières / Rochefroide	0,32	-	0,32	E
Lécuras	0,00	0,31	0,32	E
Malabau / La Messette	0,29	-	0,29	E
Beaune 1 / Puits Dupont	0,29	-	0,29	E
Beaune-Les-Mines	0,29	-	0,29	E
Nouzillères / Cité Robert	0,25	-	0,25	E
Villardonnell	0,10	-	0,10	E
Champvert (La Porcherie)	0,08	-	0,08	E
Cabrespine	0,03	-	0,03	E
La Tournerie	0,03	-	0,03	E
Drouly	0,03	-	0,03	E
La Gardette	0,02	-	0,02	E
Saint Paul sur Isère	0,01	-	0,01	E
Grand Baugiraud	0,01	-	0,01	E
Le Coulet (Au)	0,00	-	0,00	E
Istein	0,00	-	0,00	E
Brisach	0,00	-	0,00	E
TOTAL (t Au métal)	215,23	164,42	379,64	



Tableau 18 : Principaux gîtes d'or recensés en 2021. À noter que la catégorie E ne représente que des occurrences (cf. Tableau 1).

5. Perspectives

La transition écologique et le développement de nouvelles technologies engendrent un besoin croissant en métaux. La sécurisation des approvisionnements en ressources minérales critiques et stratégiques, en France et en Europe, représente donc un enjeu majeur pour les décennies à venir. Dans ce contexte, le BRGM fait figure d'acteur majeur dans la valorisation du patrimoine métallique et minérale français en valorisant divers travaux historiques (e.g., inventaire minier, levés géophysiques) à disposition et par l'acquisition de nouvelles données sur le territoire.

Afin de pérenniser les diverses actions réalisées entre 2018 et 2021, il est recommandé d'assurer une veille documentaire et économique des substances relatives aux occurrences minéralisées présentes sur le territoire français, ainsi qu'une mise à jour régulière de la base de données « Gisements, gîtes et indices France ». Ce travail doit être mené de concert avec les stratégies ministérielles notamment par des campagnes de ré-échantillonnage à diverses échelles (nationales à régionales) et l'acquisition de nouveaux sets de données géochimiques.

À titre d'exemple, certains métaux de la transition écologique et numérique (e.g., Ga, Ge, In, Se, Sc) n'étaient pas considérés et identifiés lors de l'inventaire minier levé entre 1975 et 1991 en France métropolitaine puisque ne présentant pas d'intérêt économique. Cependant, actuellement ces métaux sont définis comme des métaux critiques à l'échelle française et européenne, et leurs évaluations en ressources (autre que prédictive ; Cassard *et al.*, 2015) doit faire partie des objectifs d'acquisition.

6. Bibliographie

Audion A.S., Labbé J.F., avec la collaboration extérieure de la Compagnie Européenne d'Intelligence Stratégique (CEIS) (2012) – Panorama mondial 2011 du marché du tungstène. Rapport Public. BRGM/RP-61341-FR, 108 p., 29 fig., 16 tabl.

Bertrand G., Cassard D., Billa M., Angel J.-M., Tertre F., Tourlière B. (2017) – Predictive assessment of rare earth occurrences in Europe using the Database Querying method. The 2nd conference on European Rare Earth Resources, 28-31 May 2017, Santorini, Greece, Oral presentation.

Béziat P., Bornuat M., avec la collaboration de Gentilhomme Ph. Et Huijbregts Ch. (1995) – Carte minière de la France métropolitaine à 1/1 000 000. Situation en 1994. Notice explicative. BRGM Ed., 102 p.

Billa M., Bertrand G., Cassard D. (2016) – Méthode de sélection par requête et notation d'indices à métaux critiques (Ge, Ga, In, Ta, Co) non identifiés, à partir d'une base de données gîtologique (ProMine). Rapport final. BRGM/RP-655590-FR, 41 p., 30 ill., 1 CD.

Cassard D., Bertrand G., Billa M., Serrano J.J., Tourlière B., Angel J.M., Gaál C. (2015) – ProMine Mineral Database: New tools to assess primary and secondary mineral resources in Europe, in: P. Weihed (ed.), 3D, 4D and predictive modelling of major mineral belts in Europe. Mineral Resource Reviews, pp. 9-58.

Černý P., Ercit T.S. (2005) – The classification of granitic pegmatites revisited, The Canadian Mineralogist, Vol. 43, pp. 2005-2026.

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

Gloaguen E., Melleton J., LEFEBVRE G., Tourlière B., Yart S., Gourcerol B. (2018) - Ressources métropolitaines en lithium et analyse du potentiel par méthodes de prédictivité. Rapport final. BRGM/RP-68321-FR, 126 p.

Gourcerol B., Fournier E., Gloaguen E. (2020) – Évolution Base de données « Gisements France » : vers des données validées (action 2020). Rapport final. BRGM/RP-69922-FR, 40 p., 14 fig., 5 tabl.

Gourcerol B., Fournier E., Cassard D., Angel J.M., Bertrand G., Gloaguen E., Boubault A. (2019) – Evolution Base de données « Gisements France » : vers des données validées. Rapport final. BRGM/RP-69422-FR, 27 p., 12 fig., 2 tabl.

Gourcerol B., Gloaguen E., Melleton J., Tuduri J., Galiegue X. (2018) - A re-assessment of European lithium resource potential – A review of lithium resources and metallogeny. Ore Geology Reviews, v. 109, pp. 494-519.

Jones J.V., III , Piatak N.M., and Bedinger G.M. (2017) - Zirconium and hafnium, chap. V of Schulz, K.J., DeYoung, J.H., Jr., Seal, R.R., II , and Bradley, D.C., eds., Critical mineral resources of the United States—Economic and environmental geology and prospects for future supply: U.S. Geological Survey Professional Paper 1802, p. V1–V26. (Accessed August 16, 2018, at <https://doi.org/10.3133/pp1802V>.)

Lulzac Y. (1986) - Inventaire du territoire métropolitain, les minéralisations à étain, tantale et lithium de Tréguennec (Finistère) - état des connaissances au 31/mars/1986. BRGM/86-DAM-011-OP4, 20 p., 12 pht., 1 carte

Méloux J., Chévremont P., Langevin C. et Tixeront M. (1978) - Carte des gîtes minéraux de la France à 1/500 000 - Feuille Lyon

Méloux J., Rouveyrol P., et Guigues J. (1979) - Carte des gîtes minéraux de la France à 1/500 000 - Feuille Rouen

Méloux J. (1979) - Carte des gîtes minéraux de la France à 1/500 000 – Feuille Nantes

Méloux J., Rouveyrol P., et Cartier A. (1980) - Carte des gîtes minéraux de la France à 1/500 000 - Feuille Marseille

Méloux J. (1982) - Carte des gîtes minéraux de la France à 1/500 000 - Feuille Strasbourg

Méloux J. et Guillou Y. (1984) - Carte des gîtes minéraux de la France à 1/500 000 - Feuille Bordeaux

Méloux J. et Gauthier B. (1984) - Carte des gîtes minéraux de la France à 1/500 000 - Feuille Toulouse

Méloux J. et Dejonghe L. (1987) - Carte des gîtes minéraux de la France à 1/500 000 - Feuille Bruxelles

Tincelin E. (1975) – Les mines de fer de Lorraine. Les résultats de l'expérience et les perspectives d'avenir. Annales des Mines, Mai 1975, pp. 27-48.

Vaute L., Khiat M-O, Douche A., Fourniguet G., Frappier G., Goubot M-J., Josefiak M. (2005) – Construction et mise en œuvre d'un simulateur hydrologique et chimique du bassin ferrifère lorrain – Phase 1 : Synthèse hydrogéologique. Rapport BRGM/RP-53277-FR, 93 p., 36 fig, 4 tabl., 5 ann (sur cd-rom), 22 planches (vol. séparé).



Centre scientifique et technique
Direction des g eoressources
3, avenue Claude-Guillem in
BP 36009 – 45060 Orl eans Cedex 2 – France – T el. : 02 38 64 34 34
www.brgm.fr