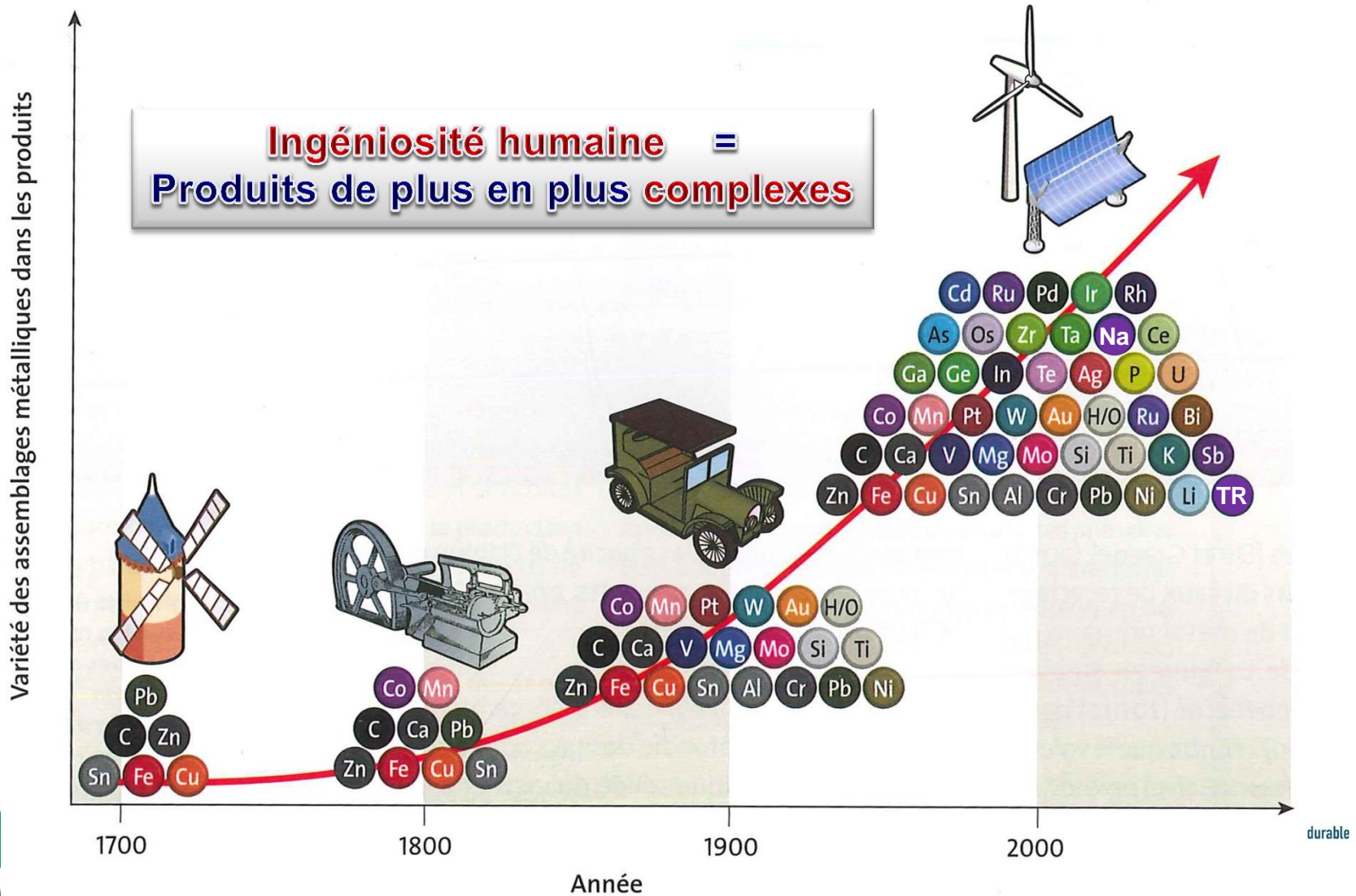




# Evolution historique de l'usage des métaux

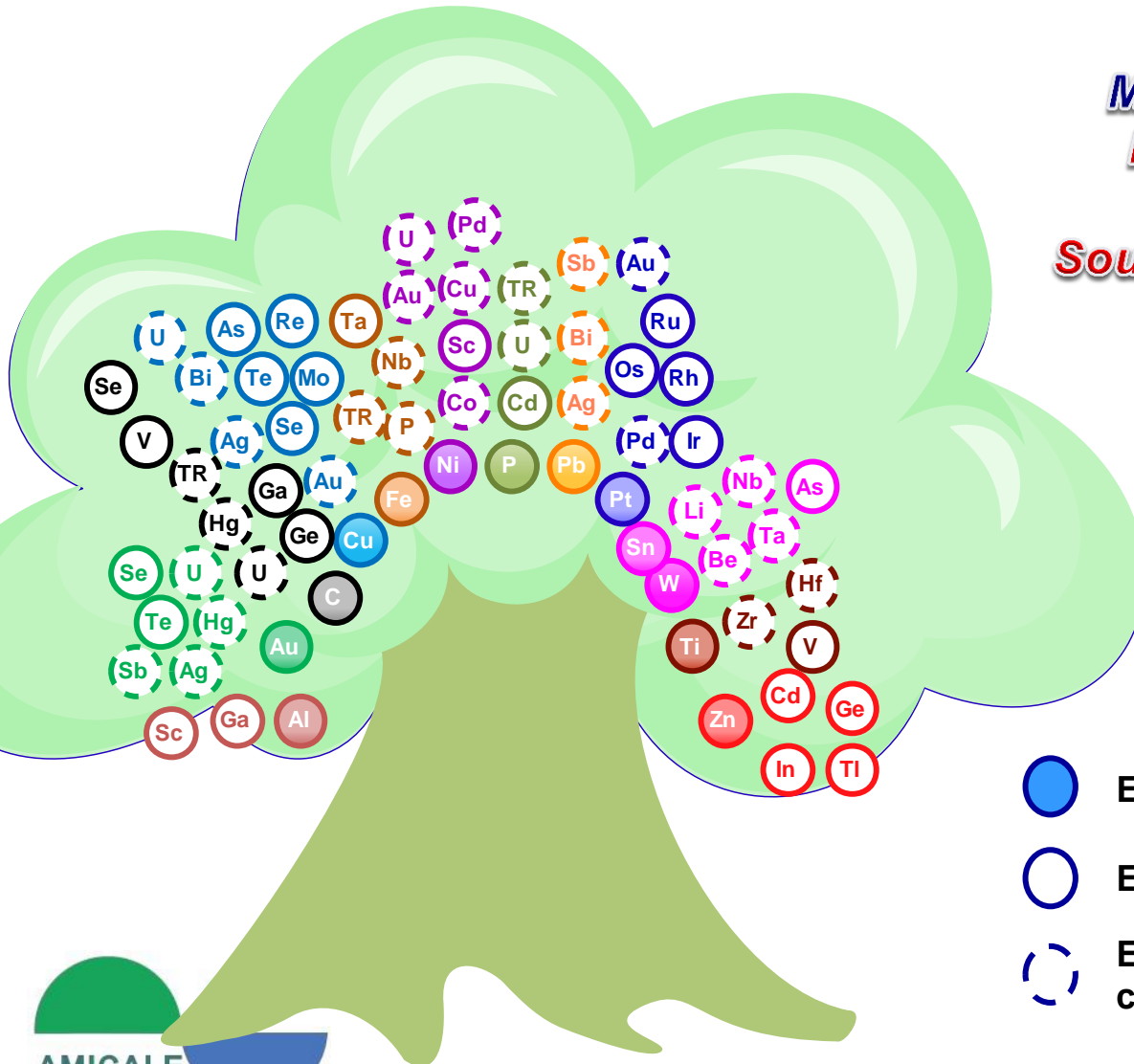





AMORAL  
Van Schaik et Reuter (2012); Géosciences n°15 (2012)



# Filiation entre métaux de base et accessoires

**Métaux accessoires :**  
**Rarement exploités**  
**pour eux-mêmes.**  
**Souvent en sous-produits**



-  Elément porteur
-  Elément rare en sous-produit
-  Elément rare qui peut constituer un gisement

# Vous avez dit « petits métaux » ?

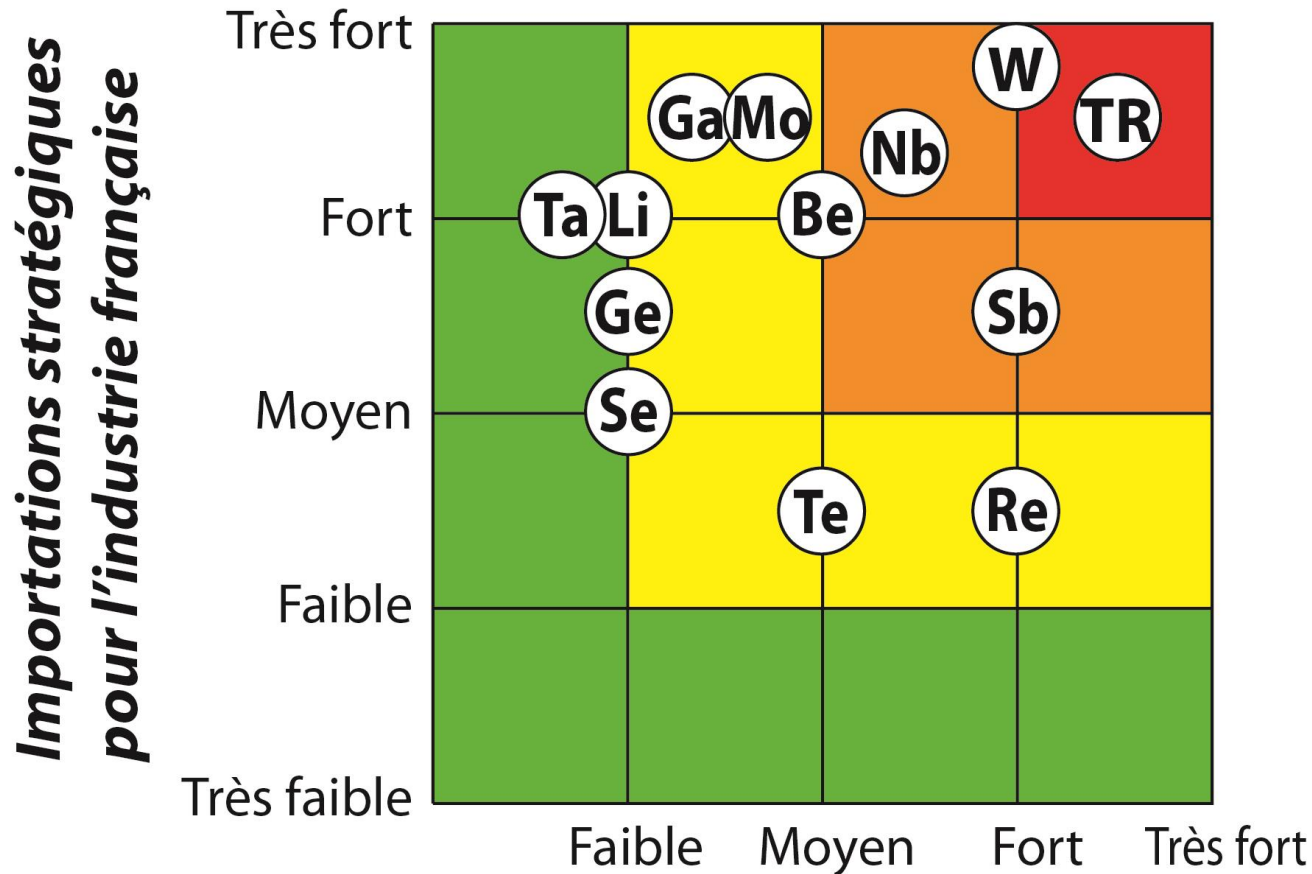
# 49

- Traditionnellement ceux qui n'étaient pas échangés au LME<sup>1</sup>
- Dont les fameuses Terres rares\*

<sup>1</sup>LME : London Metal Exchange

Lithium Li	Béryllium Be	Magnésium Mg	Silicium Si	Calcium Ca	Scandium Sc	Titane Ti
Vanadium V	Chrome Cr	Manganèse Mn	Cobalt Co	Gallium Ga	Germanium Ge	Arsenic As
Sélénium Se	Strontium Sr	Yttrium* Y	Zirconium Zr	Niobium Nb	Molybdène Mo	Ruthénium Ru
Rhodium Rh	Cadmium Cd	Indium In	Antimoine Sb	Tellure Te	Lanthane* La	Hafnium Hf
Tantale Ta	Tungstène W	Rhénium Re	Osmium Os	Iridium Ir	Mercure Hg	Bismuth Bi
Cérium* Ce	Praséodyme* Pr	Néodyme* Nd	Samarium* Sm	Europium* Eu	Gadolinium* Gd	Thallium Tl
Dysprosium* Dy	Holmium* Ho	Erbium* Er	Thulium* Tm	Ytterbium* Yb	Lutécium* Lu	Terbium* Tb

# Des « petits métaux » aux « métaux stratégiques »



# Tungstène W (71 + 23 kt/an)

Propriétés : dur, réfractaire, peu corrodable, dense  
 Applications : aciers, carbures cimentés, alliages divers  
 (forage, coupe, éclairage...)

1884-1986 : Exploitation épisodique de 13 mines en France

Production totale = 24 771 t WO<sub>3</sub>

Ressources résiduelles connues = 83 122 t WO<sub>3</sub>

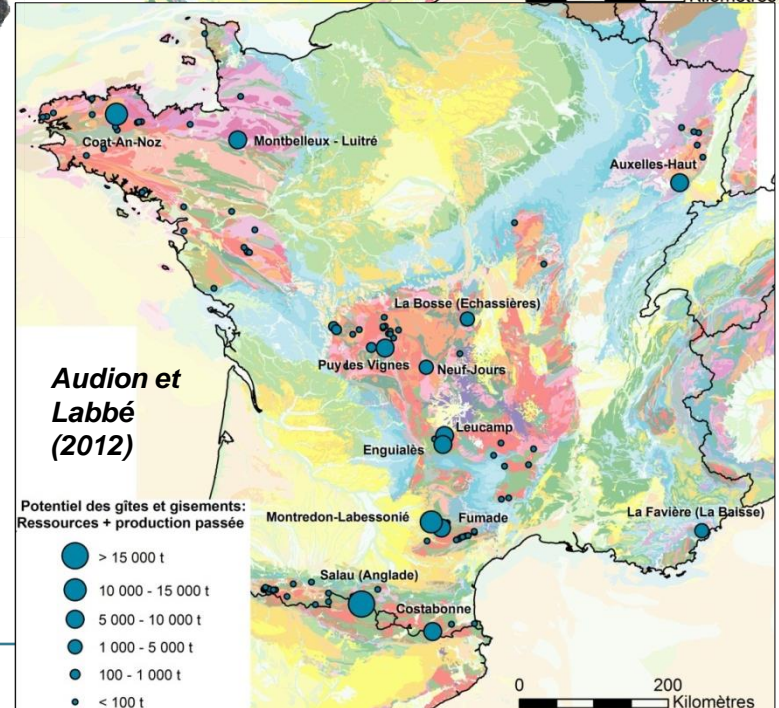
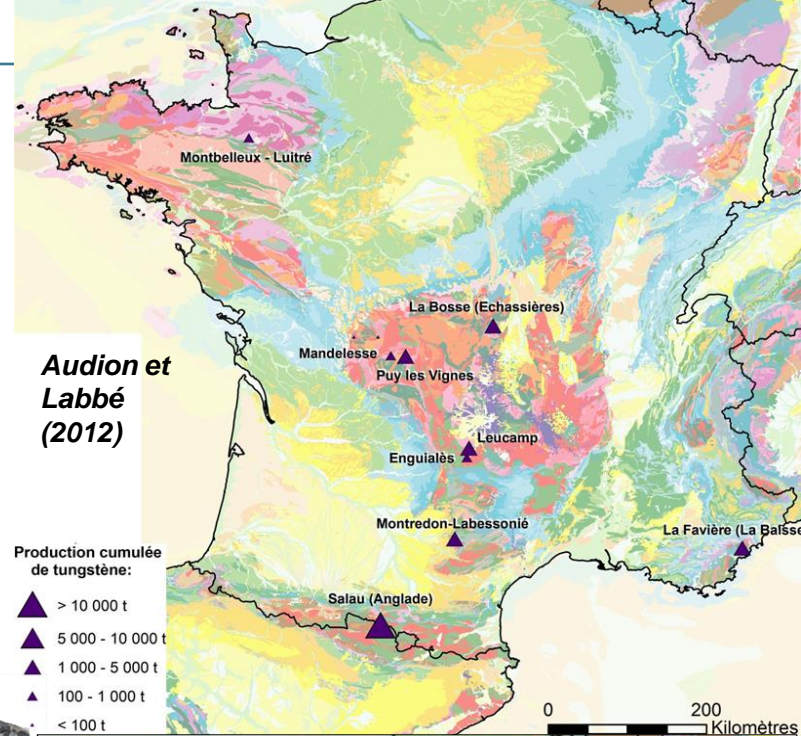
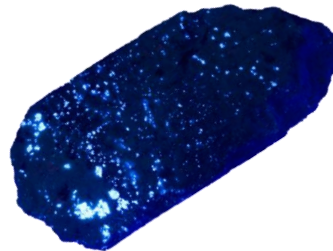
Quelques gisements français de tungstène

Exploités par le passé (skarn à scheelite + veines à wolframite)

- Salau\* : 12 415 t prod., 3 400 t ress.
- Montredon : 864 t prod., 10 500 t ress.
- Echassières : 3 900 t prod., 5 000 t ress.
- Puy-les-Vignes : 3970 t prod., 1158 t ress.
- Montbelleux\* : 189 prod., 6400 t ress.

Non exploités par le passé (skarns à scheelite)

- Fumade : 14 300 t ress.
- Coat-an-Noz\* : 11 000 t ress.
- Auxelles-Haut : 8 500 t ress.



AMI **Un potentiel français réel...**

\* Intérêt pour un permis d'exploration

# Antimoine Sb (~160 kt/an)

Propriétés : ignifuge, peu corrodable

Applications : matières ignifugées, batteries Pb-Sb, gainage isolant

1890-1908 : France 1<sup>er</sup> producteur mondial

*Districts de Brioude-Massiac et de La Lucette*

*Métallurgie au début du XX<sup>e</sup> siècle*

Quelques gisements français d'antimoine

*Exploités par le passé (filons à stibine-berthiérite)*

- Brioude-Massiac : 26,5 kt prod.
- La Lucette : 42 kt prod. (épuisé?)
- Rochetréjoux : 16,5 kt prod.
- Cap Corse : 11 kt prod.

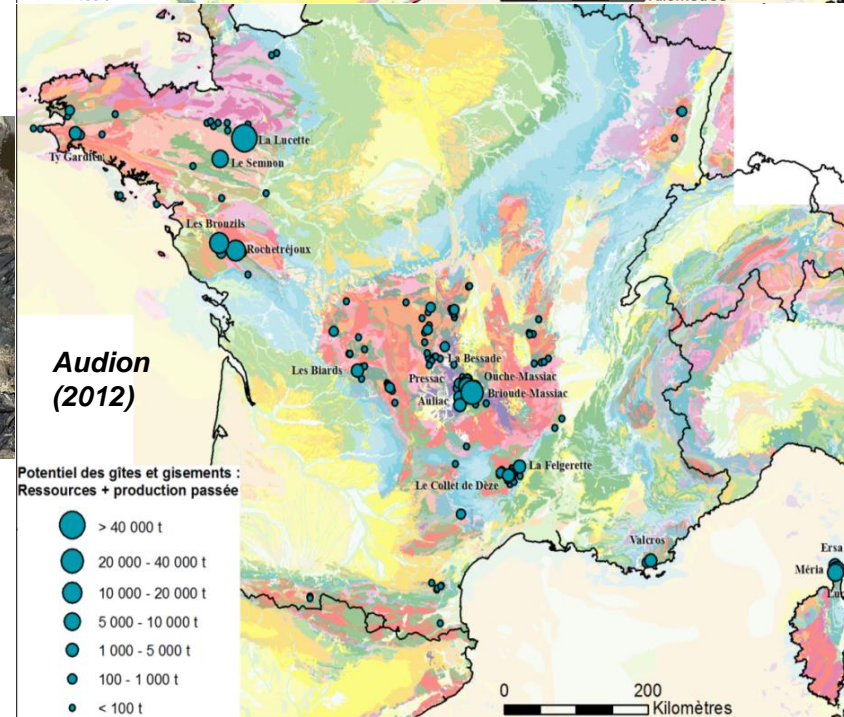
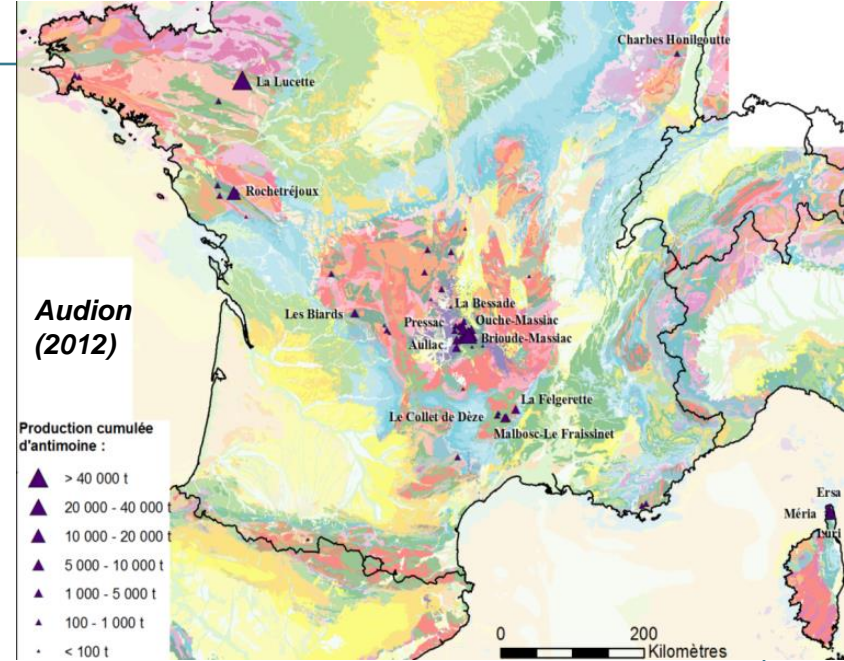


« Ressources » France : >20 kt

Principales réserves: Chine (950 kt, soit 53% total)



**Un potentiel français réel...**



# Tantale Ta (~600-800 t/an)

# Niobium Nb (51 000 t/an)

Propriétés Ta : conducteur, malléable, ductile, réfractaire

Nb: ductile, réfractaire

Applications Ta: condensateurs, superalliages

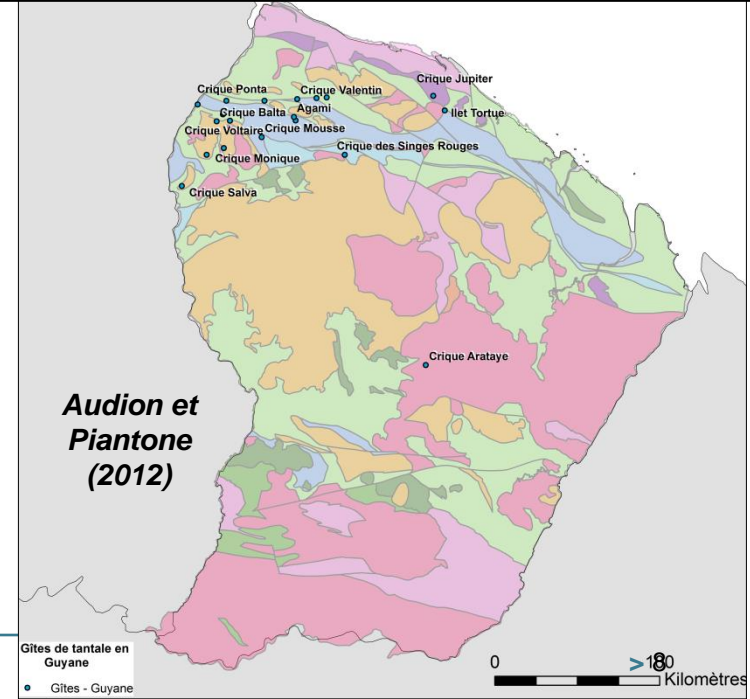
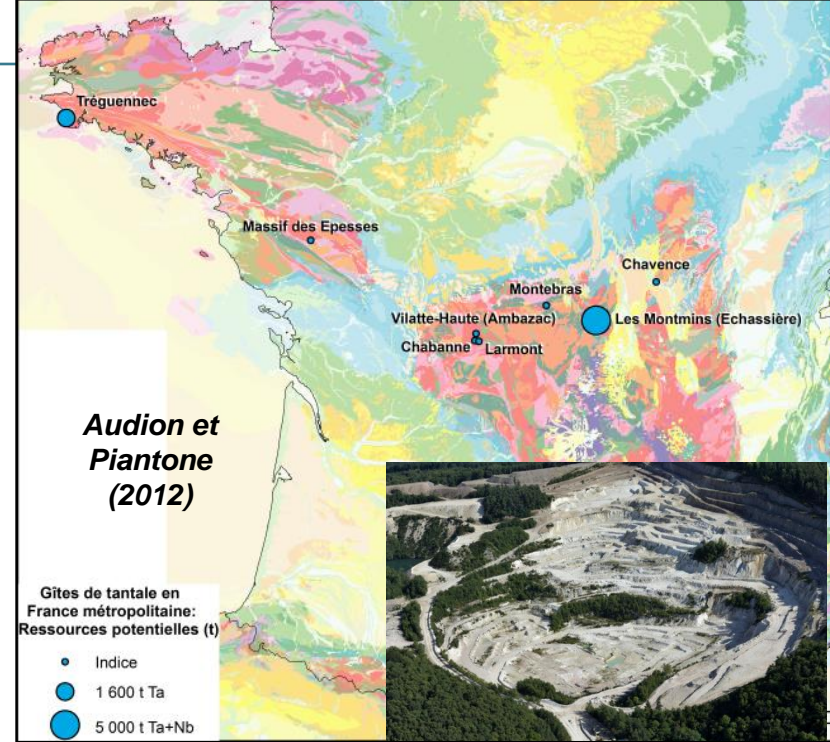
Nb: acier Fe-Nb, acier inoxydable, superalliages

Quelques gisements français de niobium-tantale

- Echassières : 55 t/an (concentré 10%) (*disséminations microlite + colombo-tantalite associé à magmatisme alcalin*)
- Guyane française : 90 t prod. 1969-1990 (*placers à colombo-tantalite*)

*Ressources potentielles*

- Echassières : 5 000 t Ta-Nb ress.
- Tréguennec : 1600 t Ta + 1300 t Nb (+ 5400 t Sn)
- Monts d'Ambazac
- Placers de Guyane





# Germanium Ge (155 t/an)

Propriétés : semi-conducteur

Applications : fibre optique, détecteurs IR,  
condensateurs, superalliages

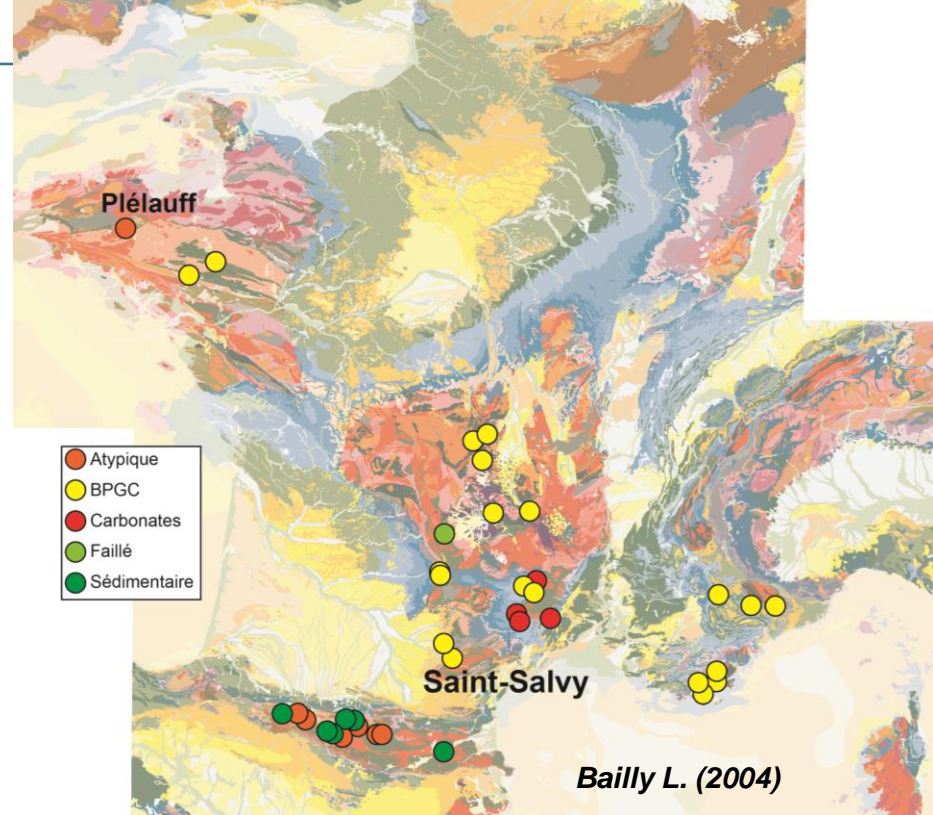
## Le germanium en France

*Gisement Pb-Zn de Noailhac-Saint-Salvy*

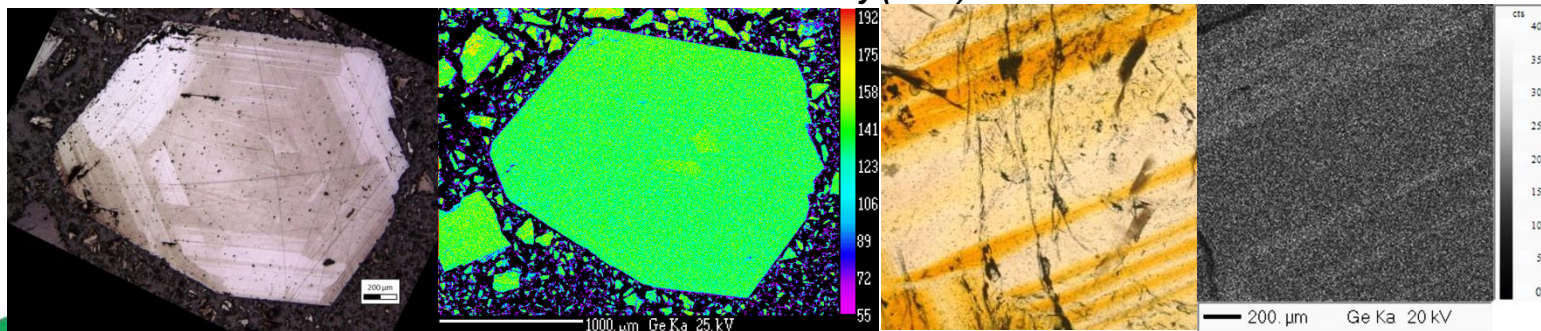
- 410 t Ge prod. 1973-1992 (épuisé)

## Ressources potentielles

- Filonien Pb-Zn (Plélauff)
- Carbonates Pb-Zn (Cévennes)



Bonnet et Bailly (2014)



BRGM

**Potentiel Ge des ressources Pb-Zn rarement évalué**

Géosciences pour une Terre durable



# Terres rares (~150 kt/an)

Propriétés : semi-conducteur

Applications : luminophores, aimants, alliages, verrerie, polissage, catalyse...

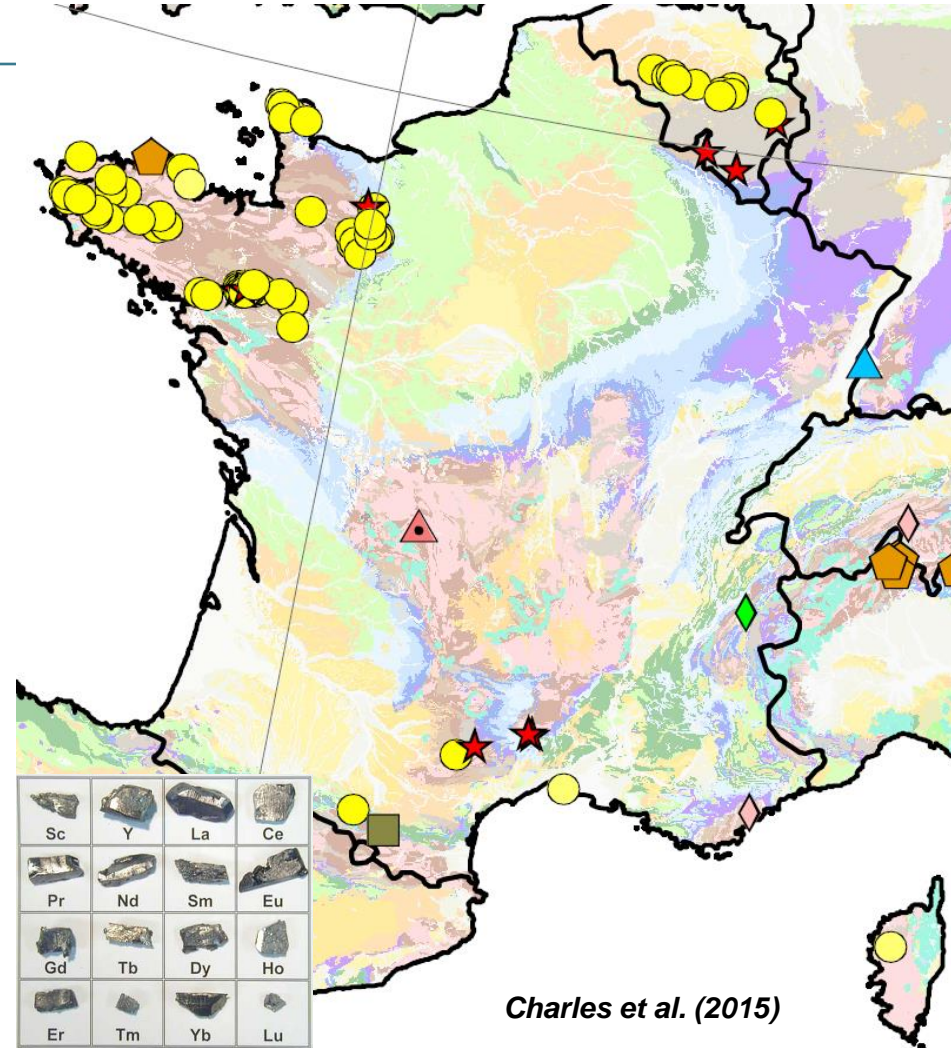
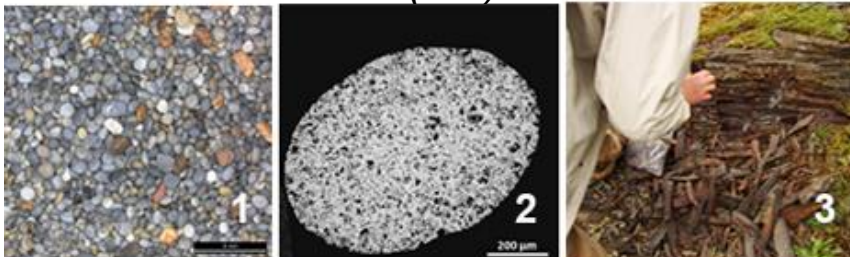
## Les terres rares en France

*Plusieurs typologies*

- Schistes noirs à monazite
- Placers à monazites grises (Bretagne Pyrénées, Ardenne)
- Métasomatisme : Trimouns-Luzenac (talc)

Mais à terres rares légères, tonnages faibles...

Colin S. (2012)



Charles et al. (2015)

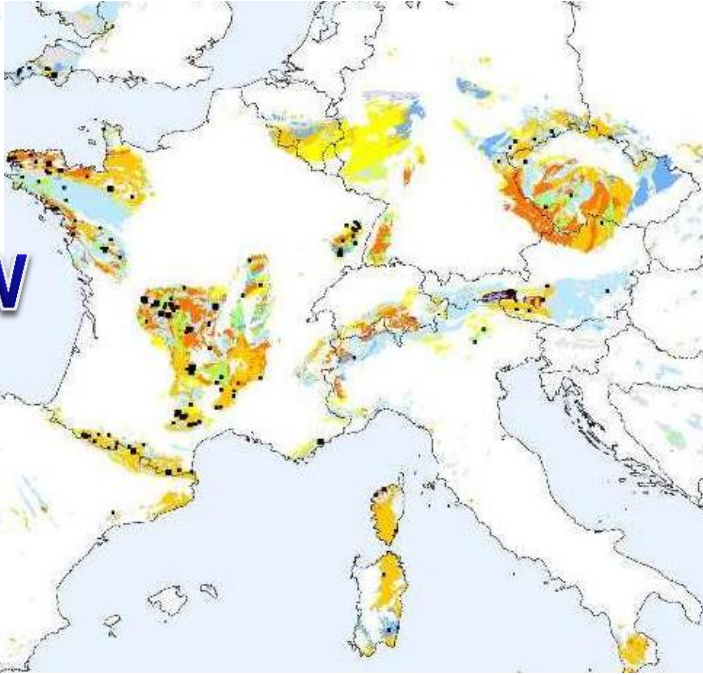


**Un potentiel français limité...par la géologie**

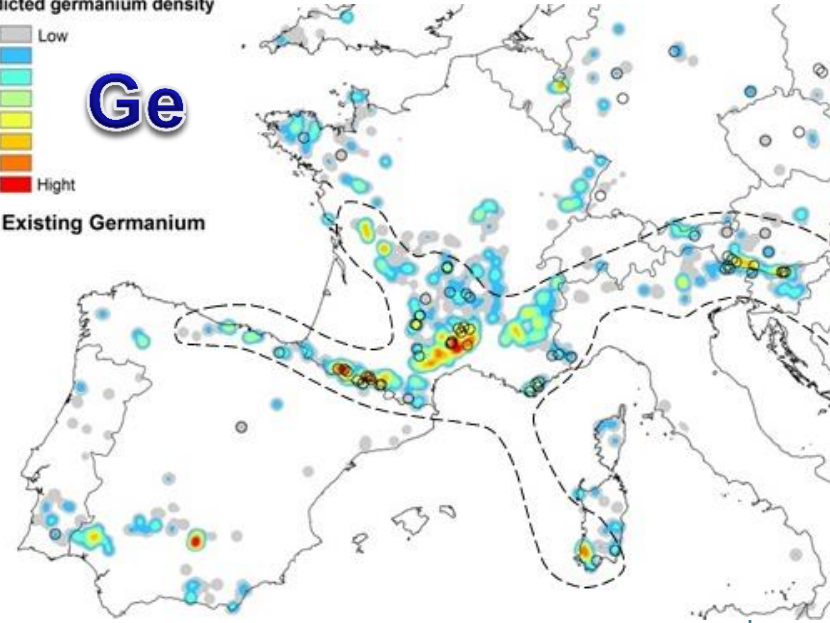


# Prédictivité

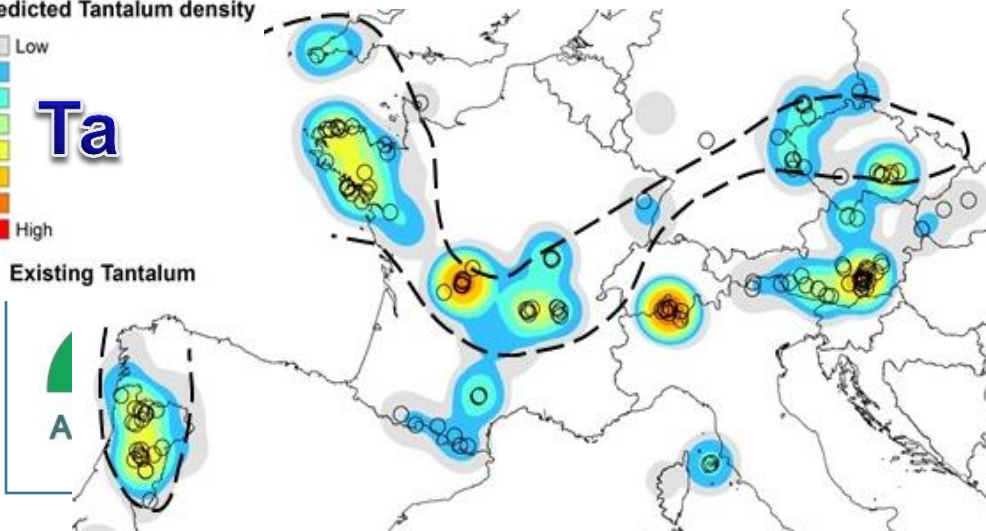
Geological favorability scores



Predicted germanium density



Predicted Tantalum density



*Cassard et al.*  
(2015)

# Les estimations des ressources sont-elles fiables ?

# En leur temps : OUI

# Aujourd'hui : PAS SI SIMPLE



« Comparer ce qui est comparable »

# Prix et teneur de coupure ont évolué

# Techniques analytiques améliorées, seuil de détection abaissé

# Métallurgie en progrès

# Evolution des concepts et des connaissances géologique et métallogénique



# En résumé...

# **Complexification** des assemblages métalliques

# Souvent exploités en **sous-produits**

# Réel potentiel français : **Tungstène W** et **Antimoine Sb**

# **Estimations** valables en leur temps et **non comparables** aux gisements actuellement exploités

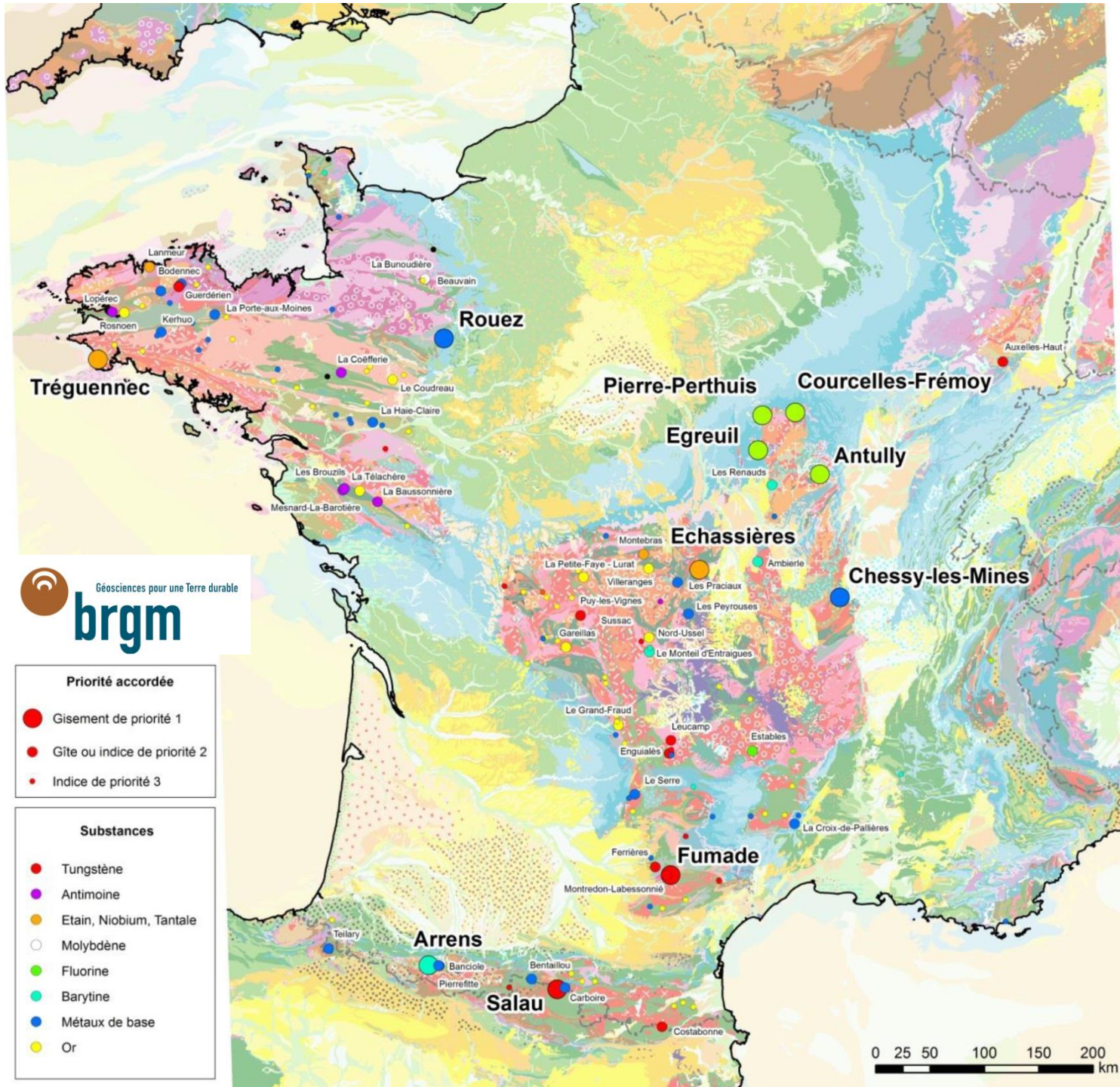
# Normes NI 43-101 ou JORC : **réévaluation du potentiel**



*Quid de l'or, la fluorine, l'étain...?*



# Les principaux sujets miniers français



Cassard et al.  
(2012)

0 25 50 100 150 200 km

# Gallium Ga (<200 t/an)

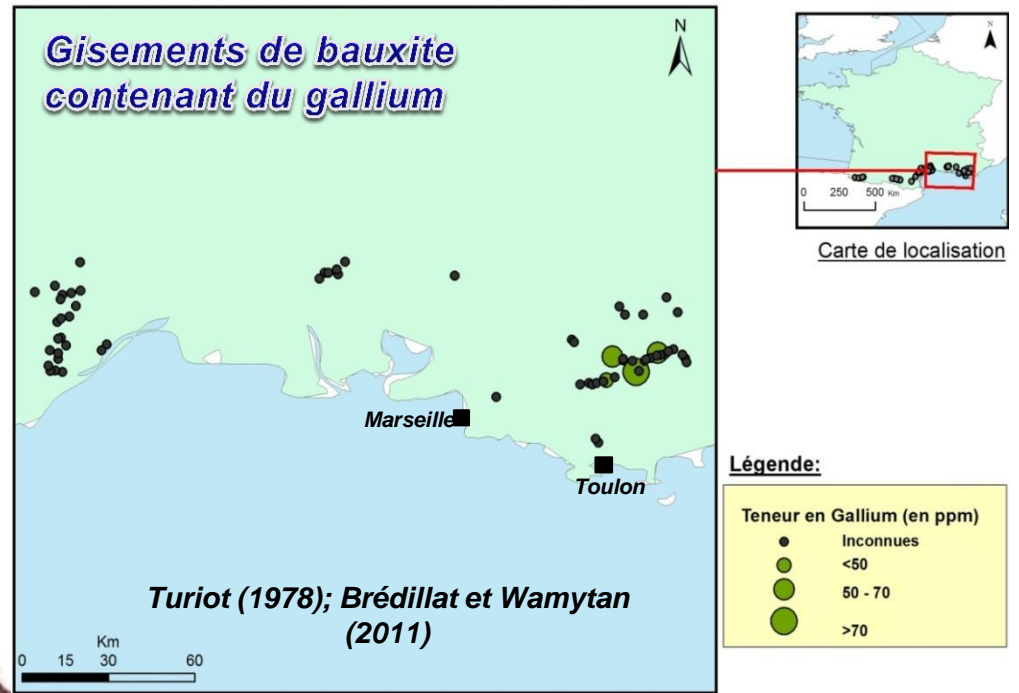
Propriétés : semi-conducteur

Applications : photovoltaïque, LED, verrerie, alliages, piles à H...

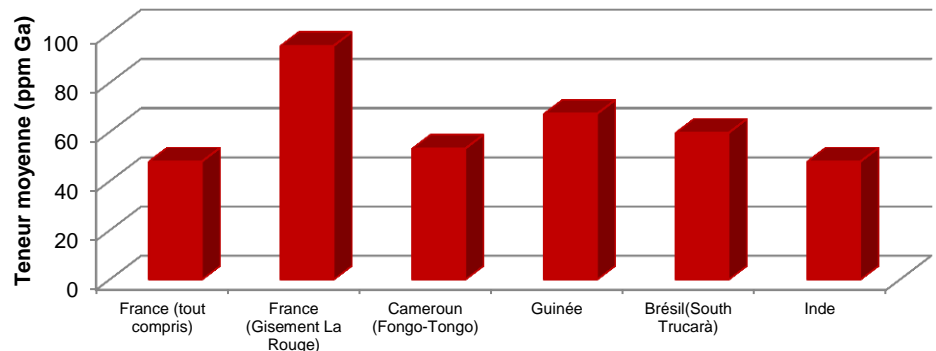
Le gallium en France

Associé aux gisements de bauxite

- 30 à 100 ppm Ga / **45 ppm Ga en moyenne**



Teneurs moyennes de différentes localités mondiales



**Potentiel Ga**  
rarement évalué



# Pédagogie et mentalités...



## Le Télégramme

BRETAGNE

### Prospection minière. Contestation dans les Côtes-d'Armor

16 janvier 2015 à 06h42 / Éric Rannou /

**Pas de forage dans le paysage ! Ce tag anti prospection minière donne le ton à Plougonver. Pour contrer le projet « Loc-Envel » qui rayonne sur 25 communes alentour, les opposants ont décidé de se rassembler.**

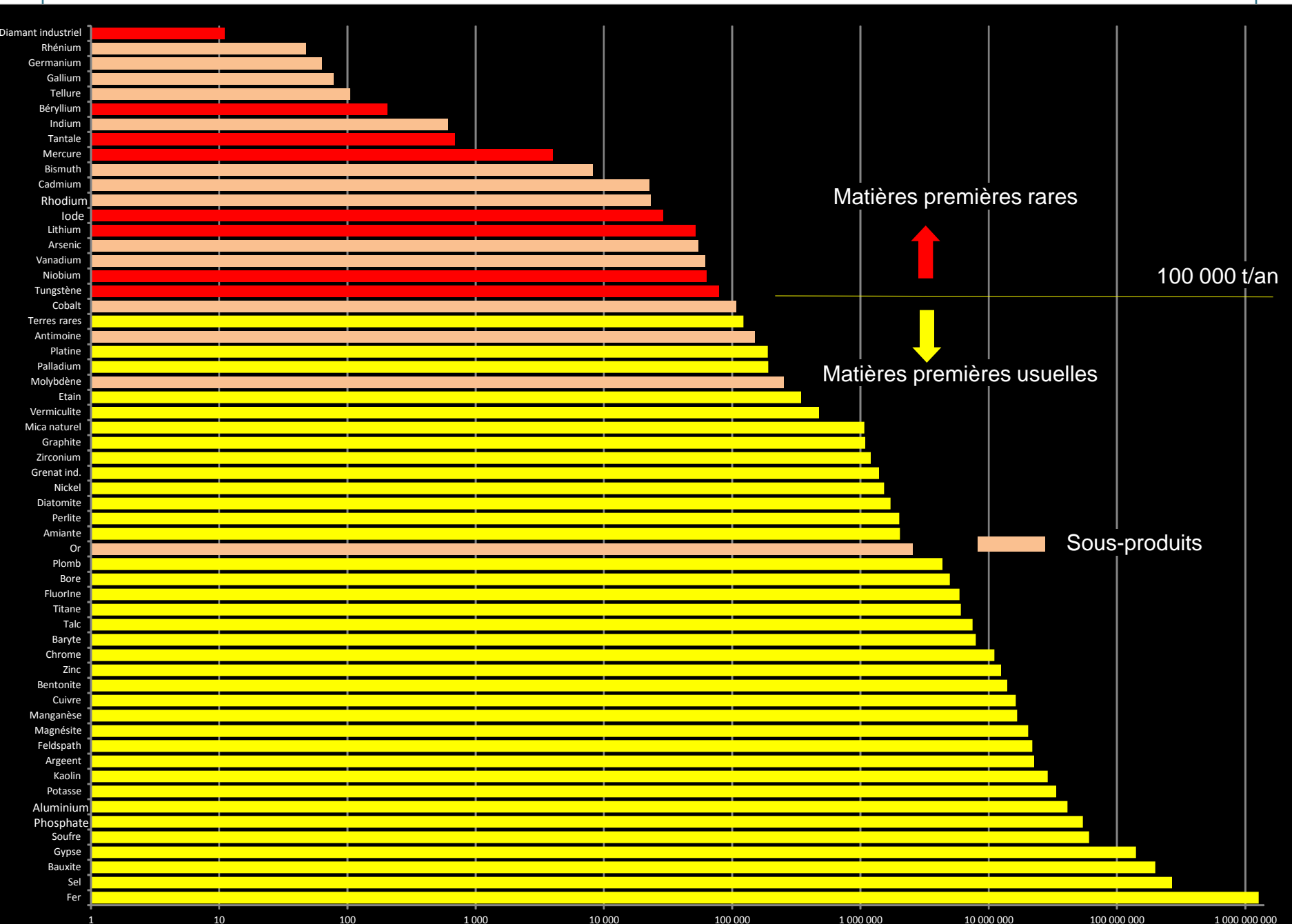
Basée à Orléans, la jeune société Variscan Mines France, qui a été créée en 2010, ne regarde pas du côté de Loc-Envel par hasard. Au XVIIIe siècle, le fer extrait de la forêt de Coat an Noz valait de l'or. En adressant une demande d'octroi d'un permis exclusif de recherche de mines au ministère du Redressement productif, cette société espère bien faire revivre ici une industrie disparue en France depuis 30 ans. Trouveront-ils leur bonheur dans cet ancien district ferrugineux ? En visant un territoire de 25 communes autour de Loc-Envel (336 km<sup>2</sup>), Variscan Mines France veut sonder les sols pour dégouter tungstène, molybdène, cuivre, zinc, plomb, étain, or, argent et des « substances connexes ».

Les 25  
communes  
concernées  
dans les  
Côtes-d'Armor



La zone de protection minière de Loc-Envel.

# Production annuelle (2010) mondiale de minéraux et métaux (en tonnes)



**Evolution de la production de métaux rares** (*Ag, As, Au, Be, Bi, Cd, Co, Ga, Ge, Hg, In, EGP, Terres rares, Re, Se, Ta, V, W*) **de 1900 à 2010, en tonnes métriques.** *Source des données : USGS*

