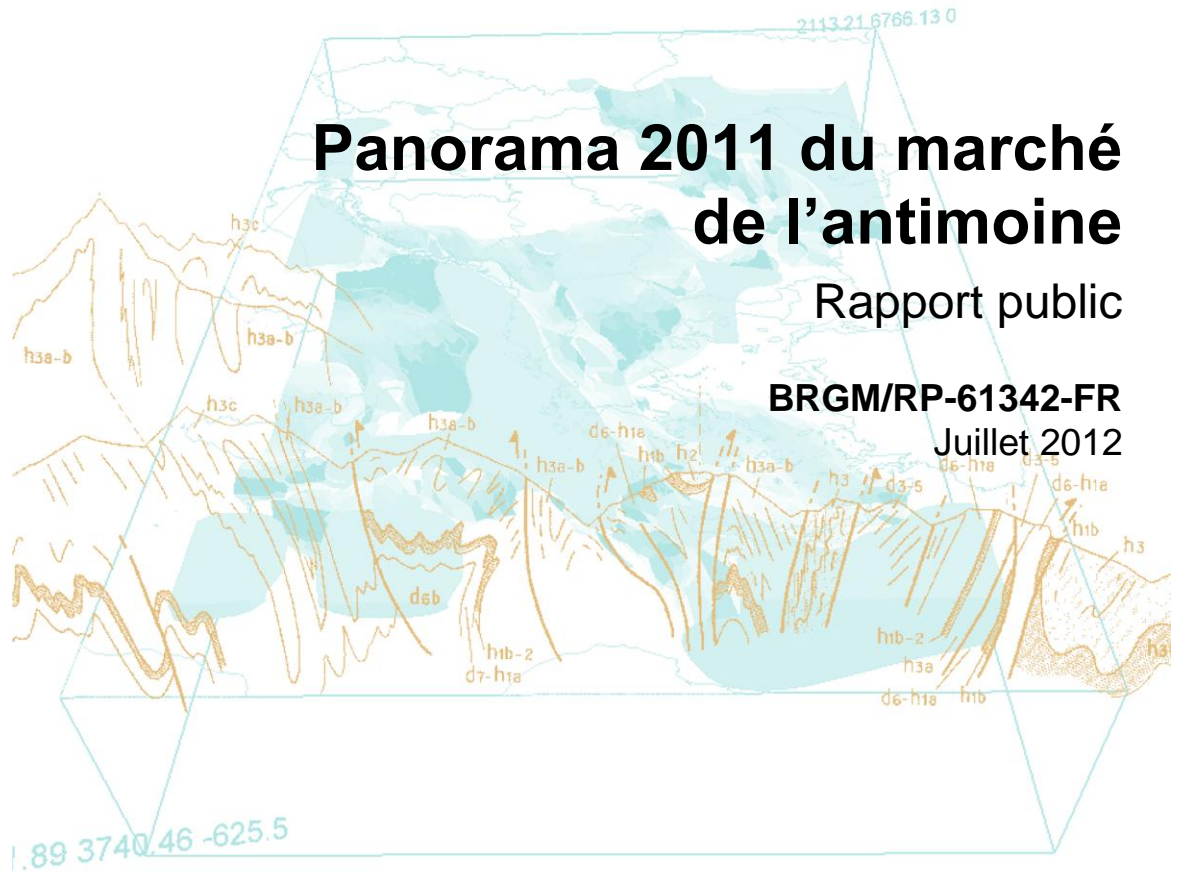


Document public





# Panorama 2011 du marché de l'antimoine

Rapport final

**BRGM/RP-61342-FR**

Juillet 2012

**A.S. Audion**

Avec la collaboration extérieure de  
**la Compagnie Européenne d'Intelligence Stratégique (CEIS)**

**Vérificateur :**

Nom : Jean-François LABBE

Date : 27/07/2012

Signature :

**Approbateur :**

Nom : Anne BOURGUIGNON

Date : 27/07/2012

Signature :

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

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



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**Mots-clés** : Antimoine, Stratégie économique, Stratégie des matières premières, Économie, Matières premières minérales, Production, Ressources, Marché, Industrie, Politiques publiques.

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

**AUDION A.S.**, avec la collaboration extérieure de la Compagnie Européenne d'Intelligence Stratégique (CEIS) (2012) - Panorama mondial 2011 du marché de l'antimoine. Rapport public. BRGM/RP-61342-FR, 82 p., 22 fig., 17 tabl.

## Résumé

L'antimoine (Sb), 51<sup>ème</sup> élément du tableau de Mendeleïev, est un semi-métal de couleur gris argenté. Il est connu depuis l'Antiquité où il était notamment utilisé comme produit cosmétique (khôl) chez les Égyptiens. Son abondance moyenne dans la croûte terrestre est de 0,2 ppm. Sb et la plupart de ses composés sont toxiques et provoquent des troubles semblables à ceux causés par l'arsenic.

### **Propriétés et usages**

Le secteur de l'ignifugation reste le principal consommateur d'antimoine primaire sur le plan mondial (60 à 65 % de la consommation). Il est ajouté sous forme de  $Sb_2O_3$  ou  $Sb_2O_5$  dans les plastiques, et plus accessoirement, dans le caoutchouc, les textiles, les peintures et les adhésifs où il agit comme retardateur de flamme en combinaison avec des halogènes<sup>1</sup>. Il est en particulier largement utilisé dans les gainages isolants des fils et câbles électriques d'usage courant (réseaux électriques domestiques, appareils électriques et électroniques grand public, automobile, etc.).

L'antimoine est également utilisé dans les batteries au plomb (automobile) sous forme d'un alliage Pb-Sb dans les électrodes. L'ajout de 10-12 % Sb (ainsi que de traces d'arsenic et de sélénium) permet de durcir le plomb, d'améliorer l'adhésion de la masse active et de protéger la batterie contre la corrosion. En alliage Pb-Sb, il permet d'augmenter la dureté ainsi que la résistance à la fatigue et à la corrosion de ce métal utilisé en soudure, tôles, tuyaux, paliers à roulements, gainage de câbles et munitions (« plombs » de chasse).

Il est utilisé dans l'industrie des matières plastiques comme catalyseur dans l'estérification des fibres et des résines de PET et comme stabilisateur à la chaleur des PVC. Il est également utilisé comme pigment, dont certains sont électro-conducteurs et utilisés dans la protection d'équipements électroniques.

L'antimoine entre dans la fabrication des verres de tubes à rayons cathodiques et agit comme opacifiant dans les céramiques (émaux).

De façon plus marginale, il est utilisé comme supraconducteur (InSb), comme lubrifiant dans les plaquettes de freins, comme pesticide et dans la pyrotechnie.

La consommation mondiale d'antimoine est estimée à environ 150 kt/an.

### **Substituabilité**

Les préoccupations environnementales croissantes des pays occidentaux poussent au développement de substituts à l'antimoine. Les stabilisateurs à la chaleur alternatifs sont donc de plus en plus utilisés (Ca-Zn en Europe ou Sn aux États-Unis et au

---

<sup>1</sup> Les éléments halogènes sont le fluor, le chlore, le brome et l'iode.

Japon). Les efforts pour bannir l'utilisation des retardateurs de flamme halogénés (auxquels l'antimoine est associé) en Europe de l'Ouest se poursuivent également, et encouragent ainsi le développement de substituts.

## **Ressources**

Les minéralisations à antimoine représentent généralement de faibles volumes (structure filonienne). Il est également récupéré en co- ou sous-produit de l'extraction d'autres substances, comme l'or (shear zones), le plomb ou le zinc (filons Pb-Zn, MVT). La stibine ( $Sb_2S_3$ ) est le principal minerai, mais il peut se présenter sous forme native, en sulfosel ou en oxyde.

Les gisements économiquement exploitables sont généralement petits et discontinus, l'antimoine se trouvant en remplissage de fractures, dans des veines ou des corps de remplacement.

L'antimoine est connu et a été largement exploité en France dans le district de Brioude-Massiac (Auvergne), en Vendée (Les Brouzils, Rochetréjoux) et à La Lucette (53) où 8 700 kg Au et 42 000 t Sb ont été produits entre 1905 et 1934.

Avec des réserves estimées à 950 kt en 2011, la Chine abrite près de 53 % des réserves mondiales d'antimoine (1 800 kt Sb), suivie par la Thaïlande, la Russie et la Bolivie.

Les réserves globales répertoriées à ce jour correspondent à 12 ans de consommation mondiale au rythme de 150 kt/an.

## **Production**

Très peu de pays publient des statistiques propres de production d'antimoine. La grande majorité des données disponibles résultent d'estimations (USGS, BGS, BMWFJ...). L'antimoine est généralement récupéré en co-produit du plomb, du zinc, de l'or ou plus rarement, du cuivre.

La Chine a assuré 90 % de la production minière mondiale en 2010 (150 kt), loin devant la Bolivie, deuxième producteur avec seulement 3 % de la production mondiale.

La production métallurgique, qui consiste à obtenir de l'antimoine métal, du trioxyde d'antimoine ( $Sb_2O_3$ ) et de l'antimoniate de sodium ( $NaSbO_3$ ) est également réalisée à plus de 50 % par la Chine. Cependant, contrairement à la production minière où l'Europe est absente de manière notable sur la scène mondiale, la France et la Belgique possèdent des capacités de production métallurgiques importantes, notamment pour  $Sb_2O_3$  (18 % de la production mondiale en 2006) et l'antimoniate de sodium, grâce, en France à SICA et SPDL (filiales du belge Sudamin).

La production secondaire mondiale repose essentiellement sur le recyclage des batteries au plomb. En 2010, les États-Unis ont produit 3 520 t Sb secondaire, soit trois fois moins qu'en 1995 grâce à la seule fonderie encore en activité à Thomson Falls dans le Montana (US Antimony Corp).

## **Recyclage**

L'antimoine contenu dans les alliages au plomb est très bien recyclé, et particulièrement celui présent dans les batteries. 97 % de l'antimoine recyclé aux États-Unis provient des batteries usagées. Les changements en cours dans cette industrie, et notamment la tendance à diminuer progressivement la quantité d'antimoine présente dans les batteries aux États-Unis, a conduit à une réduction de leur production secondaire de Sb.

Ses autres usages (retardateurs de flamme, verres et céramiques, ...) sont dispersifs et il ne semble pas exister, à l'heure actuelle, de filière de recyclage dédiée.

## **Prix**

Entre 2000 et 2008, le prix de l'antimoine a connu une tendance légèrement haussière. La surproduction en Chine a induit une offre excédentaire que le marché n'a pas pu absorber, maintenant des prix faibles autour de 4 000 \$/t. En effet, à la fin des années 1990, le prix moyen de l'antimoine était attractif (6 000 \$/t) et la facilité d'exploitation de l'antimoine en Chine (gisements superficiels) a entraîné une multiplication d'exploitations illégales et bon marché, qui ont permis d'inonder le marché mondial en antimoine. Les sanctions prises par les autorités chinoises, notamment suite au terrible accident qui s'est produit sur la mine de Nandan, en fermant des mines et des raffineries dans le Guangxi, ont permis un retour à la lente croissance des prix.

Les prix de l'antimoine ont été fortement chahutés par la crise économique et financière de 2008-2009 puisqu'en l'espace de 4 mois, ils sont passés de 6 700 \$/t (09/2008) à 4 100 \$/t (01/2009), soit une baisse de 39 %.

Depuis le début 2009, le prix de l'antimoine a fortement augmenté et ce, particulièrement en 2010 où des réductions de la production en Chine se sont produites suite à la fermeture d'exploitations illégales. Les producteurs chinois ont, de plus, voulu exacerber la situation de pénurie en réduisant leurs exportations afin de faire monter virtuellement les prix. Sur cette dynamique, l'antimoine a atteint un plus haut historique à 17 100 \$/t le 31 mars 2011.

Dans les prochaines années, le prix de l'antimoine devrait donc poursuivre sa croissance, tiré par l'explosion de la demande en Chine notamment. En l'absence de la mise en exploitation dans les prochaines années de gros gisements qui pourraient casser le monopole asiatique, la Chine restera au centre de la fixation des prix mondiaux.

## **Les utilisateurs français**

Quelques sociétés françaises produisent ou utilisent des composés d'antimoine, sans toutefois que ne soient publiées les quantités utilisées ou vendues. Leurs informations et connaissance de la filière sont très souvent partielles.

**SICA** (Société Industrielle et Chimique de l'Aisne) et **SPCL** (Société des Produits Chimiques de la Lucette), filiales du belge Sudamin, produisent du  $Sb_2O_3$ ,  $NaSbO_3$  et

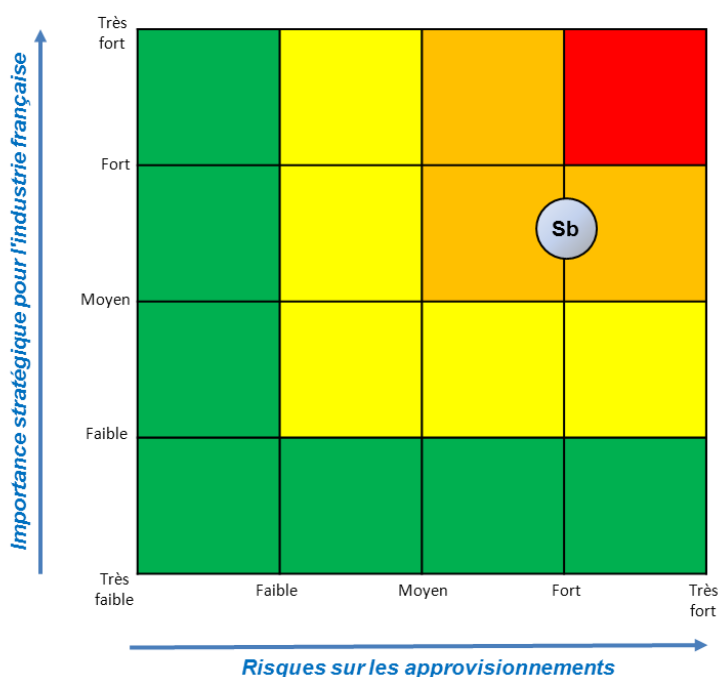
Sb métal (SPCL seulement). Elles figurent parmi les principaux producteurs métallurgiques mondiaux de composés antimonieux.

**Azélis** est le leader européen de la distribution de composés chimiques de spécialité. Il fournit une large gamme de produits, dont certains sont à base d'antimoine (Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, antimoine MBE...).

Les composés d'antimoine sont utilisés par une grande diversité d'industriels français, dans l'électronique et la défense (semi-conducteurs InSb, vision infrarouge par exemple), dans l'automobile (certains alliages de carrosserie, batteries au plomb, lubrifiants), en verrerie (affinage des verres blancs).

### Criticité

**EVALUATION DE LA CRITICITE DE L'ANTIMOINE  
(Synthèse)**



- Zone à forte criticité. Actions conservatoires à prendre par l'Etat. Suivi de l'évolution des indicateurs de criticité
- Zone à forte criticité. Veille active recommandée (observation continue des marchés, alertes, proposition de scénarios de parade)
- Zone à criticité moyenne. Veille spécialisée recommandée (rédaction d'un rapport mis à jour annuellement)



## Sommaire

<b>Résumé .....</b>	<b>3</b>
<b>Sommaire .....</b>	<b>7</b>
<b>1. Introduction .....</b>	<b>13</b>
1.1 Définitions .....	13
1.2 CONDITIONS ET LIMITES DE RÉALISATION DE CETTE ÉTUDE .....	14
1.3 SOURCES DES DONNÉES.....	14
<b>2. L'antimoine.....</b>	<b>17</b>
2.1 DONNÉES DE BASE .....	17
2.2 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.....	18
2.3 PROPRIÉTÉS CHIMIQUES .....	18
2.4 PROPRIÉTÉS BIOLOGIQUES ET TOXICITÉ.....	19
<b>3. Usages, consommation, prix.....</b>	<b>21</b>
3.1 USAGES DE L'ANTIMOINE PAR DOMAINES .....	21
3.1.1 Les retardateurs de flamme.....	22
3.1.2 Les applications métallurgiques : batteries et alliages au plomb.....	23
3.1.3 Les produits chimiques et les pigments .....	24
3.1.4 Les verres et céramiques .....	25
3.1.5 Les autres domaines d'application .....	26
3.2 USAGES DE L'ANTIMOINE PAR COMPOSÉS .....	27
3.3 PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION À MOYEN TERME .....	28
3.4 PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES USAGES DANS LES PROCHAINES ANNÉES .....	32
3.4.1 Les retardateurs de flamme.....	32
3.4.2 Les applications métallurgiques : batteries et alliages au plomb.....	33
3.4.3 Les produits chimiques et les pigments .....	34
3.4.4 Les verres et céramiques .....	35
3.4.5 Les autres usages et les nouvelles applications .....	36
3.5 SUBSTITUTIONS.....	38

3.6	RECYCLAGE .....	38
3.7	LES PRIX ET LES MARCHÉS DE L'ANTIMOINE : ÉVOLUTION ET SPÉCIFICITÉS .....	39
3.7.1	Évolution récente et historique des prix .....	39
3.7.2	Évolution future des prix .....	40
<b>4.</b>	<b>Ressources et production mondiale .....</b>	<b>43</b>
4.1	LES SOURCES D'ANTIMOINE .....	43
4.1.1	Abondance de l'antimoine dans l'écorce terrestre.....	43
4.1.2	Minéraux et minerais .....	44
4.1.3	Principaux types de gisements .....	45
4.2	RESSOURCES ET RÉSERVES.....	47
4.2.1	Gisements et potentiel en France.....	47
4.2.2	Ressources mondiales en antimoine .....	52
4.2.3	Commentaires sur les ressources et réserves.....	55
4.3	PRODUCTION .....	55
4.3.1	Données récentes et actuelles .....	55
4.3.2	Facteurs sous-tendant l'évolution de la production au cours des prochaines années .....	59
<b>5.</b>	<b>La filière industrielle.....</b>	<b>61</b>
5.1	DU MINERAI AU MÉTAL : ÉTAPES DE LA TRANSFORMATION.....	61
5.1.1	Métallurgie de l'antimoine .....	61
5.1.2	Pollution et environnement .....	63
5.2	LES PRODUCTEURS D'ANTIMOINE .....	64
5.2.1	Europe.....	64
5.2.2	Ex-CEI.....	65
5.2.3	Amériques .....	65
5.2.4	Asie .....	66
5.2.5	Afrique.....	67
5.2.6	Océanie.....	68
5.3	DU MÉTAL AU PRODUIT FINI : ÉTAPES AVAL DE LA FILIÈRE.....	68
5.3.1	Les acteurs français .....	68
5.3.2	Autres acteurs européens.....	69
5.3.3	Les principaux acteurs dans le reste du monde.....	70
<b>6.</b>	<b>Commerce extérieur de la France .....</b>	<b>73</b>

<b>7. Criticité</b> .....	<b>75</b>
<b>8. Bibliographie</b> .....	<b>77</b>

## Liste des figures

Figure 1 : Localisation de l'antimoine (Sb) dans le tableau de Mendeleïev.....	17
Figure 2 : Principaux minéraux à antimoine: stibine (18 cm) de Baia Sprie, Roumanie à gauche et valentinite (12 cm) de Jebel Nador, Algérie, à droite (© <a href="http://webmineral.brgm.fr">http://webmineral.brgm.fr</a> ).....	19
Figure 3 : Répartition de la consommation d'antimoine par usage aux États-Unis en 2010 (USGS, 2011). .....	21
Figure 4 : Trois teintes de Jaune de Naples commercialisées par l'allemand Kremer Pigmente ( <a href="http://www.kremer-pigmente.com">www.kremer-pigmente.com</a> ).....	25
Figure 5 : Répartition de la consommation mondiale d'antimoine primaire pour l'industrie par pays en 2005 (Roskill, 2007).....	28
Figure 6 : Consommation apparente en antimoine primaire aux États-Unis entre 1991 et 2010 (compilation de données USGS, Mineral Commodity Summaries). .....	29
Figure 7 : Evolution de la part de chaque usage dans la consommation apparente totale en antimoine des États-Unis entre 1975 et 2010 (compilation de données de l'USGS).....	31
Figure 8 : Comparaison de l'efficacité de différentes batteries (site web Lifetch Inc).....	34
Figure 9 : Evolution de la consommation industrielle reportée en antimoine primaire aux États-Unis dans les verres et céramiques entre 1994 et 2008 (compilation de données USGS, Minerals Yearbook). .....	35
Figure 10 : Variation du prix de l'antimoine métal (99,65 % Sb) commercialisé en Europe entre janvier 2001 et décembre 2011 ( <a href="http://metal-pages.com">metal-pages.com</a> ).....	40
Figure 11 : Cristaux d'antimoine natif de la Mine des Chalanches, Isère, 5 cm. Collection du Muséum de Paris (© <a href="http://webmineral.brgm.fr">http://webmineral.brgm.fr</a> ).....	44
Figure 12 : A gauche : veine à quartz-stibine de la mine US Antimony dans le district de Cœur d'Alène (USGS Denver Inclusion Analysis Laboratory, 2011) ; A droite : Champagne Pool (Wai-O-Tapu, Nouvelle Zélande) et dépôts d'orpiment et de stibine (© <a href="http://www.waiotapu.co.nz">www.waiotapu.co.nz</a> ).....	46
Figure 13 : Minerais de La Lucette : or natif et stibine sur quartz à gauche, 4 x 6 cm (collection des Mines de la Lucette, in Guiollard, 1995), stibine et quartz aurifère, 30 x 25 x 15 cm (collection privée P.C Guiollard, in Guiollard, 2009).....	48
Figure 14 : Potentiel des gîtes et gisements français d'antimoine (BRGM, 2011). .....	50
Figure 15 : Localisation des anciennes mines productrices d'antimoine en France (BRGM, 2011).....	51
Figure 16 : Réserves et "reserve base" mondiales en antimoine en 2006 (BRGM, 2011, USGS, 2001) .....	53

Figure 17 : Localisation des principaux gisements mondiaux et des installations métallurgiques de traitement d'antimoine (BRGM, 2011, USGS-MRDS).....	54
Figure 18 : Répartition de la production minière mondiale en 2010 (USGS, 2011).....	57
Figure 19 : Evolution de la production secondaire d'antimoine aux États-Unis entre 1995 et 2010 (compilation des « Minerals Yearbooks », USGS). .....	59
Figure 20 : Activité hydrothermale et minéralisations à Sb-As-Au du cratère Wakamiko, Baie de Kagoshima, Japon (©www.asahi.com).....	60
Figure 21 : Principales voies métallurgiques de récupération d'antimoine à partir des différents types de minerais (USAC, 2011).....	62
Figure 22 : Synthèse de la criticité de l'antimoine. ....	75

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Charge en produits ignifugeants de polymères couramment utilisés (Roskill, 2007). ....	22
Tableau 2 : Principaux composés de l'antimoine et leurs différents usages.....	27
Tableau 3 : Consommation industrielle reportée en antimoine primaire aux États-Unis entre 1994 et 2010 par secteurs, en tonnes d'antimoine contenues (compilation de données USGS, Minerals Yearbook). ....	30
Tableau 4 : Évolution de la part de la consommation mondiale en antimoine primaire de ses principales utilisations (Roskill, 2007). ....	31
Tableau 5 : Perspectives d'évolution de la demande mondiale en retardateurs de flamme et implications pour la consommation en Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Freedonia Group, in Roskill, 2007). ....	32
Tableau 6 : Évolution de la production mondiale de voitures et de véhicules à usage commercial entre 2005 et 2010, en millions de véhicules (OICA, 2011). ....	33
Tableau 7 : Pénétration du LCD sur le marché mondial des téléviseurs entre 2008 et 2010 (CREIC, 2009 et Corning presentations, 2010, in Roskill « Rare Earths and Yttrium », 2011).....	36
Tableau 8 : Prévisions de la consommation mondiale de différentes substances pour les condensateurs miniaturisés à l'horizon 2030, en t (Fraunhofer, 2009).....	37
Tableau 9 : Substituts et technologies concurrentes pour les principaux usages de l'antimoine (USGS, 2004 et 2011, CEAEQ, 2010).....	38
Tableau 10 : Abondance moyenne des éléments de la croûte terrestre.....	43
Tableau 11 : Principaux minéraux stables de l'antimoine. ....	44
Tableau 12 : Gîtes et gisements français ayant un potentiel en antimoine supérieur à 1 000 t (SigMines France, BRGM). ....	49
Tableau 13 : Estimations des réserves et des « reserve base » mondiale en antimoine (compilation des « Mineral Commodity Summaries » de l'USGS, Roskill, 2007). ....	52

Tableau 14 : Évolution de la production minière d'antimoine entre 2000 et 2010, en t Sb contenu dans les minerais (Sources : AS3M (BRGM-SIM), USGS, BGS, BMWFJ).....	56
Tableau 15 : Evolution des productions métallurgiques d'antimoine métal, de trioxyde d'antimoine et d'antimoniate de sodium entre 2000 et 2006 (Roskill, 2007).....	58
Tableau 16 : Quelques projets d'exploration présentant un potentiel prometteur en antimoine (Roskill, 2007, sites web des compagnies).....	60
Tableau 17 : Statistiques françaises d'import-export d'antimoine, de minerai, d'ouvrages et de déchets d'antimoine. Données CAF-FAB hors matériel militaire. ....	74



# 1. Introduction

Cette étude a été réalisée dans le cadre de la Convention 2011 n° 2100485270 relative aux eaux souterraines, aux ressources minérales, au littoral et à l'organisation des connaissances sur la nature et les paysages, signée le 31 août 2011 entre la Direction de l'Eau et de la Biodiversité du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (MEDDTL) et le BRGM.

## 1.1 Définitions

Le glossaire ci-dessous donne la définition de certains termes utilisés de manière récurrente dans ce rapport. Il importe, notamment pour permettre des comparaisons entre différentes sources nationales et internationales relatives aux matières premières minérales, que ces termes soient utilisés de manière standardisée et rigoureuse. C'est malheureusement loin d'être le cas, des termes aussi importants que ressources et réserves étant utilisés de manière disparate.

- **Criticité** : cette étude vise notamment à déterminer les facteurs de criticité pouvant impacter la sécurité des approvisionnements nécessaires aux industries françaises utilisant la/les matière(s) première(s) minérale(s) étudiée(s). Les facteurs sont déterminés et notés selon la grille suivante :

Évaluation de la criticité	Note
Très forte	5
Forte	4
Moyenne	3
Faible	2
Très faible	1

- **Gisement** : concentration naturelle de minéraux, économiquement exploitable.
- **Indice ou prospect** : il s'agit d'une minéralisation dont l'existence est connue grâce à des observations de terrain, éventuellement étayées par quelques sondages et petits travaux miniers (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.
- **Minerai** : désigne une roche contenant une concentration d'un ou plusieurs minéraux en quantité suffisante pour être économiquement exploitable.
- **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 de la minéralisation.

- **Primaire** : ce qualificatif, appliqué à un métal, ou à une production de métal, indique du métal produit à partir d'un minerai, en dehors de tout recyclage.
- **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** : il s'agit de la partie de la ressource dont l'exploitabilité technologique et économique a été démontrée lors d'une étude de faisabilité.
- **Ressource** : 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.
- **Secondaire** : ce qualificatif, appliqué à un métal, ou à une production de métal, indique du métal produit à partir du recyclage de déchets, qui peuvent être des produits manufacturés usagés en fin de vie, mais aussi des chutes de fabrication (copeaux, poussières, coulures, bavures, etc.).

## 1.2 CONDITIONS ET LIMITES DE RÉALISATION DE CETTE ÉTUDE

Cette étude a été réalisée au cours du second semestre 2011 par le Service Ressources Minérales du BRGM, appuyé par la Compagnie Européenne d'Intelligence Stratégique (CEIS), dans le cadre d'un contrat de sous-traitance. La complexité, l'opacité de la filière, la rareté de la documentation ainsi que le temps limité disponible pour réaliser cette étude en conditionnent le contenu.

Malgré l'utilisation des meilleures sources ouvertes disponibles et le soin apporté à la rédaction de cette étude, le BRGM n'est pas en mesure de garantir l'exactitude des informations et des données citées. L'industrie de l'antimoine n'est pas toujours transparente et les données ouvertes peuvent être incomplètes et/ou sujettes à erreurs, intentionnelles ou non.

À noter que l'antimoine fait partie des 14 substances minérales considérées comme particulièrement critiques dans le cadre de l'étude sur les matières premières critiques pour l'Union Européenne ("Critical Materials for the E.U.") publiée le 30 juillet 2010 par la Commission Européenne dans le cadre de l'Initiative Matières Premières.

## 1.3 SOURCES DES DONNÉES

Ce rapport a été produit à partir de l'importante documentation technique du BRGM, incluant notamment (voir liste bibliographique en fin de rapport) :

- les bases de données et rapports publics de l'United States Geological Survey (USGS) (Butterman W.C. et Carlin J.F. Jr) ;
- le document "The Economics of Antimony, tenth edition", une étude spécialisée sur l'antimoine produite par Roskill Information Services Ltd en 2007 ;
- les documents du British Geological Survey (BGS) ainsi que du BMWJF (Autriche) concernant les productions minières européennes et mondiales ;



- le document "Antimony, a metal ?" (février 2009) publié par Hard Assets Investors, le site d'information de la société américaine de gestion de placements Van Eck and Associates ;
- la documentation disponible sur le site d'US Antimony Corp (USAC, 2011), notamment sur la métallurgie de l'antimoine ;
- le rapport sur les matières premières stratégiques de la Commission Européenne (2010) ;

ainsi que nombre d'informations ouvertes rassemblées ou consultées dans le cadre de cette étude.

À noter que les bases de données commerciales produites par le « Metals Economic Group » n'incluent pas l'antimoine dans les substances étudiées, mais il est inclus dans celles produites par le « Raw Materials Data ».

La filière française de l'antimoine a été étudiée par la Compagnie Européenne d'Intelligence Stratégique (CEIS), dans le cadre d'un contrat de sous-traitance.



## 2. L'antimoine

### 2.1 DONNÉES DE BASE

L'antimoine, de symbole chimique Sb, est un semi-métal (comme le silicium, le germanium ou encore le tellure) de couleur gris argenté, il possède donc des propriétés intermédiaires entre celles des métaux et celles des métalloïdes. Il occupe la 51<sup>ème</sup> position dans le tableau de Mendeleïev, ce qui le place dans la quinzième colonne avec l'azote, le phosphore, l'arsenic et le bismuth (groupe des pnictogènes<sup>2</sup>).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57-71 Lanthanides	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89-103 Actinides															
Lanthanides :	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		
Actinides :	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr		

Figure 1 : Localisation de l'antimoine (Sb) dans le tableau de Mendeleïev.

L'antimoine est connu depuis l'Antiquité où son trisulfure, la stibine, était notamment utilisé en poudre comme produit cosmétique pour souligner les yeux des femmes égyptiennes (khôl) ou encore dans la fabrication de miroirs à partir de ses plans de clivages. Plusieurs étymologies lui sont attribuées, comme l'origine grecque « *anti + monos* » qui signifie non seul car il a toujours été trouvé accompagné d'autres éléments, tels que le plomb, l'or ou l'arsenic, ou encore du grec « *stimmi* » (fard d'antimoine) ou de l'arabe « *ithmid* ».

<sup>2</sup> Les éléments du groupe des **pnictogènes** possèdent des propriétés supra-conductrices qui justifient leur utilisation en électronique. Ils ont, de plus, une ou plusieurs formes oxydées qui constituent des poisons, le plus connu d'entre eux étant celui d'arsenic.

## 2.2 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

L'antimoine est stable à température ambiante où il se présente sous la forme d'un solide gris argenté brillant

Son abondance moyenne dans la croûte terrestre est de 0,2 ppm, ce qui est comparable avec celle de l'indium et du cadmium mais presque dix fois inférieur à celle de l'arsenic avec qui il est souvent associé.

– Symbole :	Sb
– Numéro atomique :	51
– Masse atomique :	121,7
– Densité:	6,70
– Dureté (échelle de Mohs) :	3,0 (≈ calcite)
– Dureté Brinell :	294 Mpa
– Point de fusion :	630,6 °C
– Point d'ébullition :	1587 °C
– Abondance dans la croûte terrestre :	0,2 ppm

Sous forme métallique, il est cassant, résistant aux attaques acides et s'oxyde en  $Sb_2O_3$  lors qu'il est chauffé sous atmosphère oxydante. Il ne se ternit pas à température ambiante. Il est mauvais conducteur de chaleur et d'électricité. Finement dispersée dans l'air, la poudre d'antimoine peut être explosive (ICSC, 2006).

Il possède deux isotopes stables,  $^{121}Sb$  et  $^{123}Sb$ , présents respectivement à 57,4 et 42,6 %, ainsi que 35 autres radio-isotopes artificiels dont la durée de vie est très courte (demi-vie maximale de 2,75 ans).

## 2.3 PROPRIÉTÉS CHIMIQUES

L'antimoine est rarement sous sa forme native ( $Sb^0$ ), mais plus souvent sous son degré d'oxydation +III ou +V. Plus d'une centaine de minéraux antimonifères sont recensés :

- **Sulfures** : La stibine ( $Sb_2S_3$ ) est la forme la plus répandue. Le pentasulfure d'antimoine ( $Sb_2S_5$ ) est un composé inorganique obtenu seulement en laboratoire.
- **Sulfosels** : L'antimoine forme de nombreux sulfosels avec d'autres éléments métalliques, notamment avec le plomb et le cuivre : tétraédrite ( $(Cu,Fe,Ag,Zn)_{12}Sb_4S_{13}$ ), jamesonite ( $Pb_4FeSb_6S_{14}$ ), boulangérite ( $Pb_5Sb_4S_{11}$ ), bournonite ( $CuPbSbS_3$ ), semseyite ( $Pb_9Sb_8S_{14}$ ), berthiériste ( $FeSb_2S_4$ ), etc. ;
- **Oxydes et oxy-hydroxydes**: Les trioxydes d'antimoine,  $Sb_2O_3$ , sont les plus communs. Ils se présentent sous la forme de minéraux blancs-gris et cristallisent dans le réseau orthorhombique (valentinite) ou cubique (sénarmontite). La kermésite ( $Sb_2S_2O$ ) et la livingstonite ( $HgSb_4O_8$ ) sont de couleur rouge, tandis que l'oxy-hydroxyde d'antimoine, la stibiconite ( $Sb_3O_6(OH)$ ) a des teintes jaunes ;

- **Antimoniures** : Ces minéraux sont plus rares : breithauptite (NiSb), dyscrasite (Ag<sub>3</sub>Sb), sudburyite ((Pd,NiSb).



Figure 2 : Principaux minéraux à antimoine : stibine (18 cm) de Baia Sprie, Roumanie à gauche et valentinite (12 cm) de Jebel Nador, Algérie, à droite (© <http://webmineral.brgm.fr>).

L'antimoine est trouvé, par ordre d'importance décroissant, sous forme de stibine (Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>), puis de valentinite (Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> orthorhombique), de sénarmontite (Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> cubique) puis de stibiconite (Sb<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O).

La combustion d'antimoine dégage des fumées toxiques (oxydes d'antimoine : Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). De plus, il réagit violemment avec des oxydants, entraînant des risques d'inflammation et d'explosion.

## 2.4 PROPRIÉTÉS BIOLOGIQUES ET TOXICITÉ

L'antimoine et la plupart de ses composés sont toxiques et provoquent des troubles semblables à ceux causés par l'arsenic. En 2007, l'INERIS a publié une fiche de données toxicologiques et environnementales sur les dérivés de l'antimoine, prenant en compte : Sb, SbH<sub>3</sub>, SbCl<sub>3</sub>, Sb<sub>2</sub>S<sub>5</sub>, Sb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, C<sub>8</sub>H<sub>4</sub>K<sub>2</sub>O<sub>12</sub>Sb<sub>2</sub>.3H<sub>2</sub>O (tartrate de potassium et d'antimoine), Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>.

Les rejets d'antimoine et de ses composés dans l'atmosphère proviennent à la fois de sources naturelles (feux de forêts, volcans...) que de voies anthropiques (à hauteur de 41 % des émissions). Celles-ci prennent en particulier en compte les industries des métaux non ferreux (extraction minière, métallurgie) que la combustion du charbon et des ordures. L'INERIS (2007) estime ainsi qu'aux États-Unis, les eaux résiduaires de ces industries présentent des concentrations en produits antimonieux supérieures à 1 ppm (soit 5 fois plus que l'abondance dans la croûte terrestre).

Une inhalation chronique (exposition professionnelle) de ces composés affecte les poumons, entraînant pneumoconioses, bronchites chroniques allant jusqu'à l'emphysème ou à l'obstruction pulmonaire. Un contact cutané répété peut résulter en l'apparition de dermatites. Dans les cas les plus poussés, ces composés peuvent

endommager les reins et le foie ainsi que provoquer des vomissements fréquents qui entraînent un décès en quelques jours.

La valeur acceptable en antimoine pour l'eau potable varie d'un État à l'autre :

- UE et Ministère Fédéral allemand de l'Environnement : **5 µg/L** ;
- Santé Canada, Agence de Protection de l'Environnement des États Unis et Ministère de l'Environnement de l'Ontario : **6 µg/L** ;
- Organisation Mondiale de la Santé : **20 µg/L**.

En France, la norme de potabilisation a été fixée à 5 µg/L, comme pour les autres pays de l'Union Européenne, par décret du 20/12/2001.

Le trioxyde d'antimoine est classé parmi les produits cancérigènes de classe 2B par le CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer, IARC en anglais), qui regroupe les substances, mélanges et circonstances qui sont possiblement cancérigènes. Le trisulfure d'antimoine est, quant à lui, classé dans la catégorie 3, ce qui signifie qu'il y a des présomptions quant à sa toxicité mais qu'elle n'est avérée par aucune étude tant sur l'homme que sur des animaux (IARC, 1999).

### 3. Usages, consommation, prix

#### 3.1 USAGES DE L'ANTIMOINE PAR DOMAINES

Les données les plus récentes concernant la consommation mondiale d'antimoine datent de 2005 où celle-ci était estimée à **145 kt** en se basant sur l'évolution de la production minière, des volumes exportés et importés ainsi que des variations de stocks observées<sup>3</sup> (Roskill, 2007).

En 2006, l'usage prédominant de l'antimoine à l'échelle mondiale était celui des retardateurs de flamme (65 %), suivi de celui des batteries au plomb (23 %). Il est également utilisé dans l'industrie chimique (pigments, industrie des plastiques), comme clarificateur dans les verres et céramiques ainsi que d'autres applications, comme en alliage avec le plomb par exemple (Roskill, 2007).

L'USGS, qui publiait les statistiques de consommation d'antimoine par usage aux États-Unis, ne fournit, depuis 2006, que des pourcentages relatifs des usages les uns par rapport aux autres sans les chiffrer en termes de tonnage en antimoine primaire. En 2010, ces différents domaines d'application se répartissent de la manière suivante (USGS, Mineral Commodity Summaries Sb, 2011) :

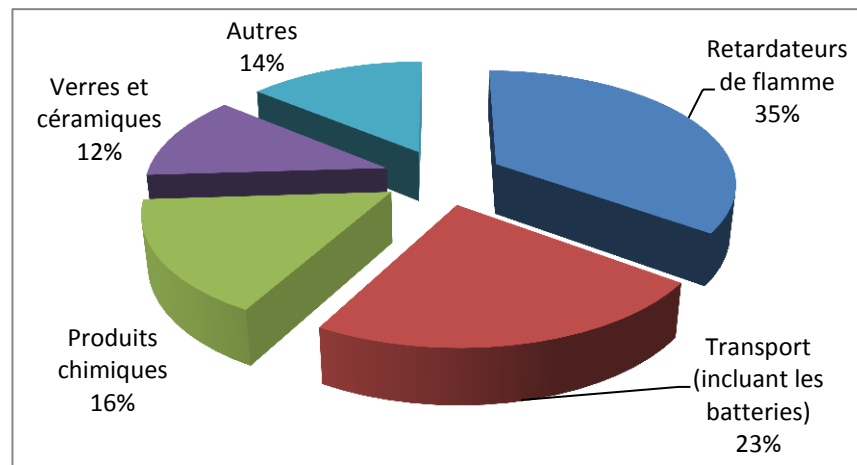


Figure 3 : Répartition de la consommation d'antimoine par usage aux États-Unis en 2010 (USGS, 2011).

En 2010, les produits ignifugeants (retardateurs de flamme) sont restés le principal secteur de consommation d'antimoine aux États-Unis (35 %), suivi de celui des batteries au plomb.

<sup>3</sup> Consommation apparente = Production minière + Imports – Exports ± Variations de stocks. Le recyclage, difficile à évaluer, n'a pas été pris en compte dans le calcul de la consommation apparente.

### 3.1.1 Les retardateurs de flamme

Le secteur de l'ignifugation reste le principal consommateur d'antimoine primaire sur le plan mondial (65 % de la consommation en 2006). Utilisé sous forme de trioxyde d'antimoine ( $Sb_2O_3$ ) ou, rarement, de pentoxyde d'antimoine ( $Sb_2O_5$ ), il est ajouté principalement dans les plastiques, et plus accessoirement, dans le caoutchouc, les textiles, les peintures et les adhésifs. Il est en particulier largement utilisé dans les gainages isolants des fils et câbles électriques d'usage courant (réseaux électriques domestiques, appareils électriques et électroniques grand public, automobile, etc.).

Il agit comme capteur de radicaux libres et permet la formation d'une couche protectrice sur le substrat qui, en diminuant ainsi la quantité d'oxygène disponible localement, empêche sa combustion. Son mécanisme d'action nécessite, cependant, la présence de composés halogénés (Cl, Br,...) qui, s'ils sont absents de la composition initiale du produit, doivent être ajoutés parallèlement.

Polymères	Exemples d'applications	Charge en produits ignifugeants (%)	
		BFR *	$Sb_2O_3$
<b>PP (polypropylène)</b>	Pare-chocs automobiles, géotextiles, géomembranes...	23-27 %	8 %
<b>PET (polyéthylène téréphtalate)</b>	Bouteilles recyclables, rembourrage de coussins...	12-18 %	4 %
<b>PS (polystyrène)</b>	Emballages sensibles aux chocs, modélisme...	12-15 %	4 %

\* Brominated Flame Retardant : Oxyde de décabromodiphényl, tétrabromobisphénol A, acrylate de pentabromobenzyl...

Tableau 1 : Charge en produits ignifugeants de polymères couramment utilisés (Roskill, 2007).

Les peintures sont ignifugées grâce à une paraffine chlorurée qui contient entre 10 et 25 %  $Sb_2O_3$  tandis que dans les textiles (tapis, rideaux...), cette teneur en antimoine descend à 7 %.

Ces systèmes d'ignifugation couplant trioxyde d'antimoine et composés halogénés sont parmi les plus utilisés (12 % des additifs ignifugeants consommés pour les polymères en 2005 (Roskill, 2007), car ils présentent les avantages suivants :

- ignifugation importante pour des charges relativement faibles ;
- grande stabilité ;
- bonnes propriétés physiques et électriques ;
- incorporation facile dans des composés organiques ;
- effet minime sur les propriétés chimiques et physiques de la plupart des polymères.

Ils présentent, cependant, des préoccupations environnementales quant à l'émission de produits bromifères et antimonieux lors de la fabrication, du recyclage ou de l'incinération de ces matières plastiques et présentent également l'inconvénient de générer une fumée importante (du fait de la combustion incomplète qu'ils procurent).



En 2005, Roskill a estimé la consommation mondiale de trioxyde d'antimoine dans les retardateurs de flamme à **120 kt**, en hausse de 7 % par rapport à 2001. Si pendant cette période, la part de la consommation des États-Unis, de l'UE et du Japon a diminué (notamment du fait des réglementations environnementales en Europe), elle a été contrebalancée par l'essor de la consommation en Chine.

### **3.1.2 Les applications métallurgiques : batteries et alliages au plomb**

#### ***Les batteries au plomb***

Parmi les applications métallurgiques de l'antimoine, le secteur des batteries au plomb est celle qui consomme le plus d'antimoine, avec environ 80 kt en 2005. Il est toutefois important de noter qu'environ la moitié provient du recyclage de batteries usagées.

Ces batteries sont constituées d'un ensemble d'accumulateurs acide-plomb reliés en série dans un même boîtier. Les électrodes sont des ensembles de plaques en forme de grille constituées d'un alliage plomb-antimoine. L'ajout de 10-12 % d'antimoine permet de durcir le plomb, d'améliorer l'adhésion de la masse active et de protéger la batterie contre la corrosion. Des composants additionnels, tels que le sélénium et l'arsenic, sont ajoutés pour améliorer encore ces propriétés.

L'inconvénient majeur de ce type de batterie est le dégazage de  $SbH_3$  qui augmente le dégazage et la consommation d'eau de la batterie, donc son autodécharge. Pour réduire ces phénomènes, le contenu d'antimoine dans la grille peut être réduit de 12 % à 1-3 %. Ces batteries à faible taux d'antimoine sont appelées batteries sans entretien selon les normes DIN 43539/2 ou EN 50342-1.

L'essor du secteur automobile continue à maintenir une forte demande en antimoine pour les batteries au plomb (SLI). Presque 33 millions de batteries SLI ont été importées au Japon en 2006. Ce type de batterie n'est pas limité à l'automobile. Elles sont, par exemple, également utilisées pour stocker de l'énergie produite par intermittence, le solaire ou l'éolien.

#### ***Les alliages plomb-antimoine***

L'antimoine étant trop fragile pour être utilisé seul dans des applications métallurgiques, il est ajouté en alliage au plomb, permettant ainsi d'en augmenter la dureté et la résistance à la fatigue et à la corrosion. Le plomb antimonié est ainsi utilisé en soudure, tôles, tuyaux, paliers à roulements, gainage de câbles et munitions (« plombs » de chasse). Il était jadis largement utilisé pour les caractères d'imprimerie.

La teneur moyenne en Sb dans ces alliages se situe autour de 1,2 % Sb aux États-Unis, mais il est possible que des alliages plus riches en antimoine soient fabriqués ailleurs dans le monde. Roskill estime qu'en 2006, 11 640 t d'antimoine (primaire et secondaire) ont été consommées dans ce secteur aux côtés des 970 kt de plomb associées. En prenant en compte un taux de recyclage d'environ 50 %, la demande en Sb primaire en 2006 peut être située entre 6 et 7 kt.

En 2005, le seul secteur des soudures représentait 7 % de la consommation en antimoine primaire aux États-Unis pour les applications métallurgiques. Si cette part est restée stable depuis l'an 2000, elle présente une diminution de 27 % en termes de tonnages en raison du déclin global du secteur des alliages.

Du fait de législations environnementales dans la plupart des pays industrialisés, le secteur des alliages à plomb est en constant déclin. En 1995, les États-Unis ont ainsi consommé 1 530 t d'antimoine primaire dans ce type d'alliages contre seulement 1 260 t en 2005. Alors qu'en 2000, le Japon et l'UE consommaient 70 % du Sb utilisé dans les alliages, ils n'en consommaient plus que la moitié en 2006, rattrapés progressivement par la Chine et les pays de l'Asie du Sud-Est.

Tirée par l'émergence des pays de l'Asie du Sud-Est, Roskill prévoyait une hausse de la demande en Sb primaire pour ce secteur de 3 à 4 % / an, amenant la demande en 2010 autour de 9 à 10 kt.

### 3.1.3 Les produits chimiques et les pigments

Outre leur utilisation dans l'ignifugation des matières plastiques, les composés de l'antimoine trouvent deux autres applications dans ce secteur, comme catalyseurs et comme stabilisateurs à la chaleur.

Ils sont, tout d'abord, utilisés comme catalyseurs de l'estérification des fibres et des résines de PET (polyéthylène téréphtalate). Le trioxyde d'antimoine de haute pureté est majoritairement choisi dans ce domaine, même si d'autres composés de Sb disposent de meilleures propriétés (polycondensation plus rapide...), tels que le triacétate d'antimoine (ATA) ou des esters mixtes d'antimoine.

La demande en  $Sb_2O_3$  pour les catalyseurs est d'environ 200 g/t équivalent PET. Sur les 12,5 Mt de PET produits en 2006, la consommation en antimoine serait d'environ 2,5 kt.

Les composés antimonifères sont également utilisés pour stabiliser le PVC (polychlorure de vinyle) qui a tendance à se décomposer lors du chauffage ou d'une exposition prolongée aux radiations UV. TPSI (Townsend's Polymer Services and Information) estime cependant qu'ils ne constituent qu'à peine 1 % du marché mondial des stabilisateurs à la chaleur en 2004, plaçant la consommation mondiale entre 5 et 6 kt équivalent  $Sb_2O_3$ . Les analystes anticipaient une croissance de la demande pour ce secteur entre 3 et 5 % / an à l'horizon 2010 (Roskill, 2007).

L'antimoine est également utilisé sous différentes formes pour constituer des pigments de couleur variée utilisés dans les peintures, les papiers et les plastiques :

- *Blanc* : Des particules très fines ( $< 1 \mu m$ ) contenant au moins 98 %  $Sb_2O_3$  sont utilisées pour recouvrir ou rendre brillants des substrats (papier, films, plastiques, émaux...). Le rutile (dioxyde de titane) possède, cependant, un pouvoir couvrant qui 7 fois supérieur à celui de l'antimoine, et lui est donc souvent préféré ;

- *Noir, orange, vermillon, jaune* :  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  et  $\text{Sb}_2\text{O}_5$  produisent des pigments de ces différentes couleurs utilisés dans les caoutchoucs ;
- *Jaune* :  $\text{PbSb}$  est utilisé comme pigment jaune dans les peintures, la calcination d'un mélange de sel de nickel, d'oxydes d'antimoine et de rutile produit également un pigment jaune ;
- *Vert* :  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  peut être utilisé dans les peintures de camouflages (réfléchissant les IR) pour produire un vert « végétation ».

Le dopage de l'oxyde d'étain avec de l'antimoine permet d'obtenir des pigments électroconducteurs qui sont utilisés dans la protection d'équipements électroniques ainsi que dans la préparation de composés plastiques.

Le secteur des pigments reste un petit marché pour l'antimoine qui fait face à une rude concurrence du titane, du zinc, du chrome, de l'étain et du zirconium. La consommation des États-Unis en antimoine primaire pour ce domaine est chiffrée à 535 t en 2005, soit presque deux fois moins qu'en 1999 (1 020 t) (Roskill, 2007).

### 3.1.4 Les verres et céramiques

Le principal marché pour l'antimoine dans le secteur des verres et des céramiques est celui des verres CRT (cathode ray tube), utilisés dans les anciens écrans de télévision, d'ordinateurs, ainsi que dans les radars et les oscilloscopes. L'antimoniure de sodium ( $\text{NaSbO}_3$ ) y est utilisé à raison de 0,1 à 0,2 % de la composition du verre, mais ces applications font face à la concurrence des nouvelles technologies à écran plat (LCD, plasma, LED).

Les composés de l'antimoine, sous forme de  $\text{NaSbO}_3$  et de  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ , sont également utilisés comme opacifiants dans les porcelaines. Ajoutés à hauteur de 10 à 12 %, ils améliorent également la résistance à l'acide des émaux.

Le jaune de Naples, également appelé jaune antimoine, est un pigment formé à partir d'antimoniure de plomb ( $\text{Pb}_3(\text{SbO}_4)_2$ ). Allant du jaune soufre au jaune rosé, il est principalement utilisé dans les poteries où il est associé au rutile. Cependant, en raison de sa toxicité, d'autres pigments lui sont souvent préférés.

En 2005, la consommation mondiale d'antimoine sous forme d'oxydes dans les verres et les céramiques était estimée entre 20 et 25 kt.



Figure 4 : Trois teintes de Jaune de Naples commercialisées par l'allemand Kremer Pigmente ([www.kremer-pigmente.com](http://www.kremer-pigmente.com)).

### 3.1.5 Les autres domaines d'application

Les composés de l'antimoine trouvent de nombreuses applications de niche pour lesquelles il existe souvent des substituts. Ils s'implantent ainsi sur des secteurs métallurgiques ou non métallurgiques (chimique, pharmaceutique...).

**Semi-conducteurs** : L'antimoine peut être utilisé comme dopant de type n pour les matériaux semi-conducteurs sous forme de métal de haute pureté ou en association avec l'indium ou le gallium (InSb, GaSb). Ces semi-conducteurs trouvent alors des applications dans les détecteurs infra-rouges ou les LED. Ce secteur, en expansion toutefois, reste du domaine de la niche technologique : en 2005, la consommation mondiale d'antimoniure d'indium était chiffrée à **25 t**.

**Lubrifiants** :  $Sb_2S_3$  entre à hauteur de 15 % dans la composition des lubrifiants des disques et plaquettes de frein afin d'augmenter leur stabilité. Ce sulfure peut également être ajouté aux lubrifiants à base de  $MoS_2$  afin de réduire les coefficients de friction.

**Munitions** : Les balles (« plombs » de chasse) sont souvent constituées d'un alliage Pb-Sb. L'antimoine entre également dans la composition des amorces de détonateurs, d'agents d'ignition et de fumée. En 2000, **26 t** de composés antimonieux ont été consommés dans ce secteur, et selon des rumeurs non vérifiables, ce chiffre aurait plus que doublé en 2005 avec le début des guerres en Iraq et en Afghanistan.

**Caoutchouc** :  $Sb_2S_5$  peut remplacer le sélénium ou le tellure comme agent de vulcanisation du caoutchouc.

**Pesticides** :  $K(SbO)C_4H_4O_6 \cdot 5H_2O$  (tartrate de potassium et d'antimoine hydraté) est utilisé pour attirer et tuer les guêpes et les mites ainsi que pour protéger les agrumes en saison humide.

**Produits pharmaceutiques** : Ce même composé antimonieux est utilisé dans le traitement de maux d'estomac et de la leishmaniose (parasitose cutanée ou viscérale transmise par certaines mouches).

**Feux d'artifice** : De fait de son intense éclat et de la densité de la fumée émise lorsqu'il est chauffé,  $Sb_2S_3$  est utilisé dans les feux d'artifice.

**Électroextraction du zinc** : L'ajout d'oxydes d'antimoine et d'arsenic lors de l'électroextraction du zinc permet de capter les impuretés de nickel et de cobalt présentes dans l'électrolyte.

**Alliages du cuivre** : L'ajout de 0,05 à 0,6 % d'antimoine aux alliages cuivreux permet d'augmenter leur résistance à la fatigue.

**ATO<sup>4</sup>** : L'oxyde d'antimoine et d'étain (ATO) présente l'intérêt d'être à la fois conducteur électrique et transparent. Ces propriétés en font une alternative à moindre coût à l'ITO (oxyde d'indium et d'étain) utilisé dans les cellules photovoltaïques, les écrans LCD, les écrans plasma et les OLED (organic light-emitting diode).

### 3.2 USAGES DE L'ANTIMOINE PAR COMPOSÉS

Le tableau 2 ci-après récapitule les usages les plus communs des composés d'antimoine les plus fréquents.

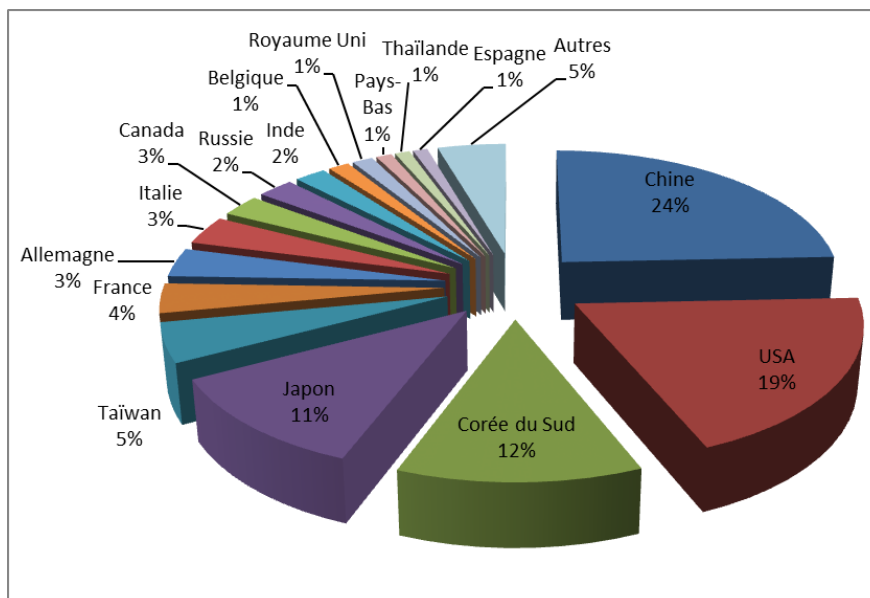
Composés de l'antimoine	Formule	Usages
<b>Sb métal</b>	Sb	Batteries au plomb, alliages Pb-Sb, pigment jaune (PbSb), dopant pour les semi-conducteurs, munitions, alliages Cu
<b>Trioxyde d'antimoine</b>	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Retardateurs de flamme, catalyseurs (PET), stabilisation des PVC, pigments (blanc, noir, orange, vermillon, jaune), opacifiant (porcelaines)
<b>Pentaoxyde d'antimoine</b>	Sb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Retardateurs de flamme
<b>Trisulfure d'antimoine</b>	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Pigment vert (« camouflage »), lubrifiant (freins), feux d'artifice
<b>Pentasulfure d'antimoine</b>	Sb <sub>2</sub> S <sub>5</sub>	Vulcanisation du caoutchouc
<b>Antimoniate de sodium</b>	NaSbO <sub>3</sub>	Verres CRT, opacifiant (porcelaines)
<b>Triacétate d'antimoine</b>	C <sub>6</sub> H <sub>9</sub> O <sub>6</sub> Sb (ATA)	Catalyseurs (PET)
<b>Antimoniate de plomb</b>	Pb <sub>3</sub> (SbO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Pigment jaune de Naples
<b>Tartrate de potassium et d'antimoine hydraté</b>	K(SbO)C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O <sub>6</sub> .5H <sub>2</sub> O	Pesticides, produits pharmaceutiques
<b>Oxyde d'antimoine et d'étain (ATO)</b>	Sb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /SnO <sub>2</sub>	Cellules photovoltaïques, écrans LCD, écrans plasma

Tableau 2 : Principaux composés de l'antimoine et leurs différents usages.

<sup>4</sup> L'acronyme ATO est également utilisé par les anglosaxons pour le trioxyde d'antimoine (Antimony TriOxide), de formule Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Dans ce rapport, ATO se référera toujours à l'oxyde d'antimoine et d'étain.

### 3.3 PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION À MOYEN TERME

Il n'existe pas de données sur la consommation mondiale d'antimoine, mais des estimations peuvent être obtenues à l'aide de la production primaire (minière) et des variations de stocks. En 2005, Roskill la situait à **145 kt**. Avec 35 kt, la Chine était le plus gros consommateur d'antimoine mondial en 2005, devant les États-Unis (28 kt), la Corée du Sud (17,3 kt) et le Japon (16,5 kt).



\* Autres : Mexique, Pologne, Singapour, Brésil, Suisse, Scandinavie, Indonésie, Australie, Algérie, Malaisie, Grèce, Argentine, Autriche, autres (Afrique et Amérique du Sud).

Figure 5 : Répartition de la consommation mondiale d'antimoine primaire pour l'industrie par pays en 2005 (Roskill, 2007).

L'USGS publie des données sur les consommations des États-Unis de deux types :

- **la consommation apparente**, publiée dans les « end-use statistics ». La dernière version, mise à jour en 2005, présente les consommations apparentes par secteur/usage entre 1975 et 2003. Ces consommations apparentes, également publiées dans les « Mineral Commodity Summaries », sont calculées en sommant la production minière (primaire) domestique, la production secondaire à partir des scraps ainsi que les importations nettes<sup>5</sup>. Par la suite, la consommation apparente an antimoine primaire sera utilisée<sup>6</sup> ;
- **la consommation industrielle reportée**, publiée dans les « minerals yearbooks ». Elle est évaluée d'après une étude menée auprès de 100 à 150 sociétés

<sup>5</sup> Importations – exportations + ajustement en fonction des variations de stocks gouvernementaux et industriels.

<sup>6</sup> La consommation apparente en antimoine primaire est obtenue en retirant la part de la production secondaire à la consommation apparente totale.

américaines qui utilisent de l'antimoine raffiné pour la production de biens consommés aux États-Unis. En général, la moitié d'entre-elles reportent leur consommation tandis que pour les autres, cette consommation est estimée. La somme de ces consommations (réellement reportées et estimées) sont incluses dans la « consommation industrielle reportée ».

Les grands écarts de valeurs observés entre la consommation apparente et la consommation industrielle reportée, d'un facteur 3 en général (18 500 t contre 8 910 t pour la deuxième en 2010) viennent principalement du fait que la consommation apparente inclut en plus l'antimoine utilisé dans la fabrication de produits intermédiaires qui sont exportés sous forme de retardateurs de flamme ou encore d'antimoine raffiné.

Malgré une brutale diminution de la consommation apparente en antimoine primaire en 1999 due, notamment, à la croissance de la production secondaire pour cette année (8 220 t contre 7 710 t en 2008), la consommation a été globalement en hausse jusqu'à l'an 2000 avant de diminuer jusqu'en 2010. La production secondaire s'antimoine a été également en baisse régulière depuis le début des années 2000 et ne peut donc pas expliquer la baisse générale de la consommation apparente.

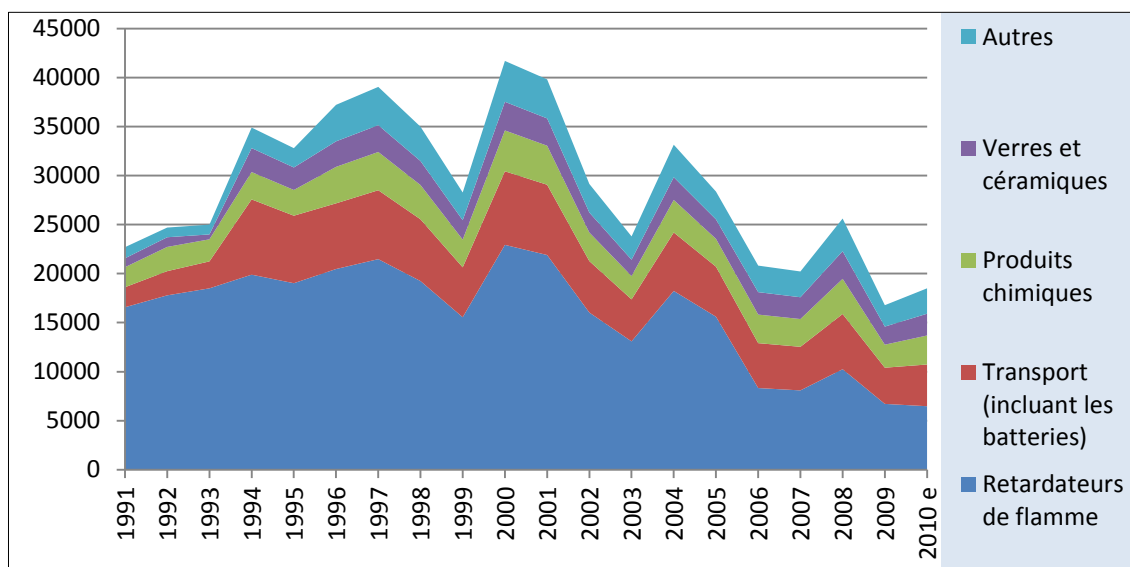


Figure 6 : Consommation apparente en antimoine primaire aux États-Unis entre 1991 et 2010 (compilation de données USGS, Mineral Commodity Summaries).

En 2010, cette consommation a marqué une hausse par rapport à l'année précédente : 18 500 t contre 16 780 t en 2009, suite à une reprise après la crise économique et financière de 2008-2009.

L'étude des variations de consommation industrielle reportée aux États-Unis permet de mettre en évidence l'évolution de chaque sous-secteur. La diminution globale de l'utilisation d'antimoine dans les retardateurs de flamme est ainsi fortement entraînée

par sa consommation moindre dans les secteurs des plastiques, du caoutchouc ainsi que du papier.

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<b>Produits métalliques</b>																	
Pb-Sb	1 990	2 230	1 760	1 170	1 710	1 760	1 040	1 050	887	910	1 200	w	w	w	w	w	w
Autres alliages	36	53	44	45	33	32	42	52	42	43	51	33	20	21	18	14	26
Soudures	183	192	256	226	153	135	135	78	89	85	85	81	61	71	54	44	34
Autres (1)	1 520	1 290	1 050	1 150	687	513	1 760	1 590	1 750	1 370	1 680	2 830	2 920	2 430	1 610	1 950	2 130
<b>TOTAL</b>	<b>3 729</b>	<b>3 765</b>	<b>3 110</b>	<b>2 591</b>	<b>2 583</b>	<b>2 440</b>	<b>2 977</b>	<b>2 770</b>	<b>2 768</b>	<b>2 408</b>	<b>3 016</b>	<b>2 944</b>	<b>3 001</b>	<b>2 522</b>	<b>1 682</b>	<b>2 008</b>	<b>2 190</b>
<b>Produits non métalliques</b>																	
Amorces de munitions	32	19	18	20	17	23	26	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
Verres et céramiques	980	1 080	1 030	1 080	1 110	1 120	1 020	346	505	487	535	421	258	231	259	w	w
Pigments	369	492	450	824	1 130	1 020	620	653	565	597	536	535	215	329	448	403	399
Plastiques	1 030	1 090	1 080	1 220	1 460	1 580	1 330	1 050	837	532	w	w	w	w	w	w	w
Autres (2)	77	85	115	159	192	198	495	544	548	488	1 410	1 410	3 130	2 940	1 970	2 030	3 140
<b>TOTAL</b>	<b>2 488</b>	<b>2 766</b>	<b>2 693</b>	<b>3 303</b>	<b>3 909</b>	<b>3 941</b>	<b>3 491</b>	<b>2 593</b>	<b>2 455</b>	<b>2 104</b>	<b>2 481</b>	<b>2 366</b>	<b>3 603</b>	<b>3 500</b>	<b>2 677</b>	<b>2 433</b>	<b>3 539</b>
<b>Retardateurs de flamme</b>																	
Adhésifs	356	263	260	344	138	140	332	w	w	w	676	w	664	454	610	217	213
Plastiques	6 690	6 050	6 850	6 610	5 460	5 640	8 940	6 210	4 930	3 680	4 680	2 650	2 820	2 710	2 290	1 820	2 610
Caoutchouc	433	443	403	342	334	391	402	242	251	126	119	115	122	154	42	42	36
Textiles	466	379	275	247	239	229	221	255	269	150	189	184	205	252	235	206	318
Autres (3)	622	657	5	7	17	14	10	880	861	767	63	652	10	10	20	40	9
<b>TOTAL</b>	<b>8 567</b>	<b>7 792</b>	<b>7 793</b>	<b>7 550</b>	<b>6 188</b>	<b>6 414</b>	<b>9 905</b>	<b>7 587</b>	<b>6 311</b>	<b>4 723</b>	<b>5 727</b>	<b>3 601</b>	<b>3 821</b>	<b>3 580</b>	<b>3 197</b>	<b>2 325</b>	<b>3 186</b>
<b>GRAND TOTAL</b>	<b>14 784</b>	<b>14 323</b>	<b>13 596</b>	<b>13 444</b>	<b>12 680</b>	<b>12 795</b>	<b>16 373</b>	<b>12 950</b>	<b>11 534</b>	<b>9 235</b>	<b>11 224</b>	<b>8 911</b>	<b>10 425</b>	<b>9 602</b>	<b>7 556</b>	<b>6 766</b>	<b>8 915</b>
<b>TOTAL ARRONDI</b>	<b>14 800</b>	<b>14 300</b>	<b>13 600</b>	<b>13 500</b>	<b>12 700</b>	<b>12 800</b>	<b>16 400</b>	<b>12 900</b>	<b>11 500</b>	<b>9 230</b>	<b>11 400</b>	<b>8 910</b>	<b>10 400</b>	<b>9 590</b>	<b>8 140</b>	<b>6 770</b>	<b>8 910</b>

(1) Inclut: munitions, gainage de cables, fontes et moulages + "w"

(2) Inclut : Feux d'artifice, caoutchouc + "w"

(3) Inclut : Papier et pigments + "w"

w : withheld to avoid disclosing company proprietary data : inclus dans "Autres"

*Tableau 3 : Consommation industrielle reportée en antimoine primaire aux États-Unis entre 1994 et 2010 par secteurs, en tonnes d'antimoine contenues (compilation de données USGS, Minerals Yearbook).*

Depuis 2001, un nombre croissant de données de l'USGS ne sont, cependant, pas publiées pour causes de confidentialité ("Withheld to avoid disclosing company proprietary data"). Cette clause s'applique lorsque moins de trois sociétés sont implantées sur le secteur.

Si la consommation en antimoine aux États-Unis est en constante diminution depuis le début des années 2000, une évolution est également notable dans la répartition de ses applications (Figure 7). Ainsi, les retardateurs de flamme, qui restent les principaux consommateurs de Sb, sont en constante perte de vitesse au profit des applications non-métalliques notamment. Les nouvelles applications, classées dans la catégorie « autres », sont également de plus en plus consommatrices, notamment pour les semi-conducteurs.



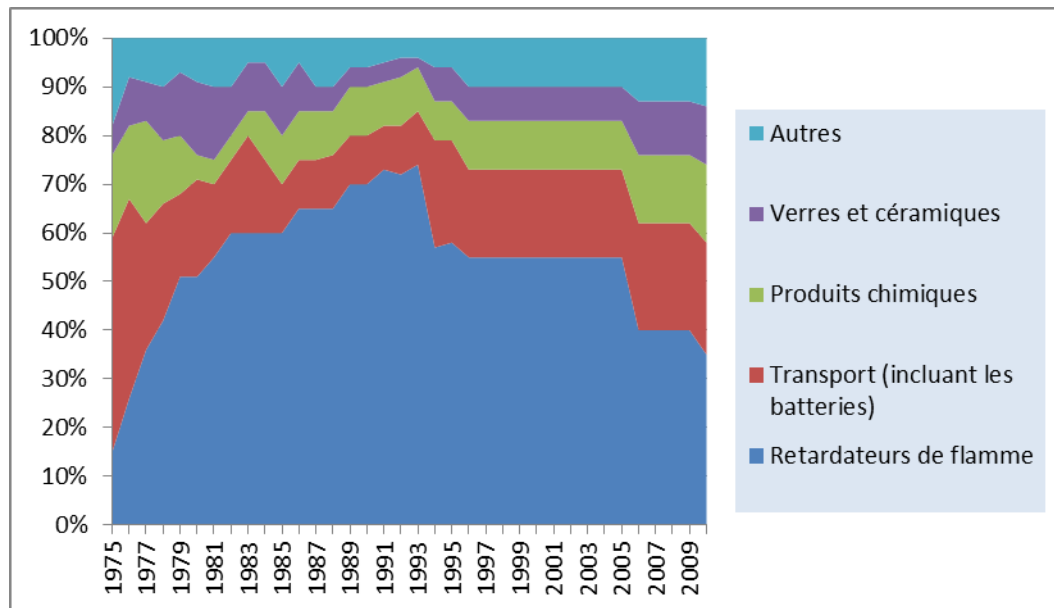


Figure 7 : Evolution de la part de chaque usage dans la consommation apparente totale en antimoine des États-Unis entre 1975 et 2010 (compilation de données de l'USGS).

Contrairement à la tendance observée aux États-Unis, à l'échelle mondiale, la part des retardateurs de flamme dans la consommation mondiale d'antimoine primaire était en hausse en 1999 et 2006. La demande pour les batteries en plomb a également augmenté, tirée par l'essor de l'industrie automobile en Asie et dans les autres régions émergentes.

Applications	Part de la consommation mondiale en antimoine primaire (%)	
	1999	2006
<b>Retardateurs de flamme</b>	60	65
<b>Batteries au plomb</b>	20	23
<b>Autres</b>	20	12

Tableau 4 : Évolution de la part de la consommation mondiale en antimoine primaire de ses principales utilisations (Roskill, 2007).

En l'absence de l'émergence d'une technologie de rupture très consommatrice en antimoine, l'évolution future de sa consommation mondiale restera dépendante de son principal secteur d'utilisation actuel : les retardateurs de flamme. La demande mondiale devrait rester croissante du fait de l'introduction de standards plus rigoureux pour la protection contre les incendies. Le secteur des batteries au plomb devrait également continuer son essor malgré le fait que les pays occidentaux tendent à utiliser de moins en moins d'antimoine.

### 3.4 PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES USAGES DANS LES PROCHAINES ANNÉES

#### 3.4.1 Les retardateurs de flamme

La demande future en trioxyde d'antimoine ( $Sb_2O_3$ ) pour le secteur des retardateurs de flamme dépend de cinq facteurs :

- la demande mondiale en retardateurs de flamme ;
- la concurrence entre les différents types de produits ignifugeants ;
- la performance demandée (quantité d'additif utilisée par kg de polymère) ;
- les prix relatifs ;
- les lois et réglementations, tant industrielles qu'environnementales.

Le groupe de recherche américain Freedonia a publié une étude sur les perspectives du secteur des retardateurs de flamme à l'horizon 2014 en se basant, notamment, sur les prévisions d'augmentation de la demande en polymères qui représentent autour de 85 % de la consommation des additifs ignifugeants.

	2004	2009	2014	% annuel (2009-2014)
<b>Demande mondiale en retardateurs de flamme (en kt)</b>				
Amérique du Nord	604	715	835	+ 3,2
Europe de l'Ouest	435	505	575	+ 2,7
Asie - Pacifique	578	810	1 140	+ 7,1
> dont Chine	202	335	540	+ 10,6
Afrique - Moyen Orient	37	52	70	+ 6,2
Amérique latine	36	50	67	+ 6,2
Europe de l'Est	37	54	73	+ 6,2
<b>MONDE</b>	<b>1 726</b>	<b>2 185</b>	<b>2 760</b>	<b>+ 4</b>
<b>Demande mondiale en composés Sb pour les retardateurs de flamme</b>				
Demande mondiale (kt)	106	152	213	+ 7
Part des composés Sb dans les retardateurs (%)	6,1	7,0	7,7	+ 10
	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>% annuel (2010-2015)</b>
<b>Perspectives de consommation de <math>Sb_2O_3</math> dans les retardateurs de flamme (en kt)</b>				
Etats-Unis	25	29	33,6	+ 3,0
Europe de l'Ouest	20	22	24	+ 2,0
Japon	11,4	12,6	14	+ 2,0
Chine / Asie-Pacifique	50	77	113	+ 8,0
Autres	14	19	25	+ 6,0
<b>MONDE</b>	<b>120</b>	<b>160</b>	<b>210</b>	<b>+ 5,5</b>

Tableau 5 : Perspectives d'évolution de la demande mondiale en retardateurs de flamme et implications pour la consommation en  $Sb_2O_3$  (Freedonia Group, in Roskill, 2007).

À partir de cette étude, la consommation en composés d'antimoine dans les retardateurs de flamme augmenterait de 2 à 3 % par an à l'horizon 2015 dans les économies mûres (États-Unis, Europe de l'Ouest et Japon) mais atteindra des taux de croissance bien supérieurs dans les pays émergents (+ 8 % par an en Asie-Pacifique).

Ces chiffres (+ 5,5 % par an) ont été revus à la baisse par Roskill par rapport aux prévisions optimistes de Freedonia qui tablait sur une croissance mondiale de 7 à 7,5 % par an en prenant en compte l'augmentation rapide du prix du métal ainsi que les pressions environnementales et réglementaires dans les pays industrialisés.

Cette industrie consommerait donc, suivant ces prévisions, 210 kt de trioxyde d'antimoine à l'horizon 2015.

### 3.4.2 Les applications métallurgiques : batteries et alliages au plomb

Les perspectives d'évolution de la demande en antimoine pour les batteries au plomb reposent très fortement sur celles de l'industrie automobile. Entre 2005 et 2010, le nombre de voitures et de véhicules commerciaux produits dans le monde a augmenté de 15,8 %, atteignant 77,8 millions de véhicules en 2010.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Variation 2005/2010 (%)
Asie et Océanie	24,9	27,2	29,6	30,1	30,3	39,2	57,4
Europe	19,7	20	21,1	19,8	16,2	18	-8,6
Amérique du Nord (ALENA)	16,3	15,9	15,5	13	8,8	12,2	-25,2
Amérique latine	2,8	3	3,5	3,8	3,7	4,4	57,1
Ancienne CEI	1,7	1,9	2,2	2,4	0,9	1,6	-5,9
Afrique et Moyen-Orient	1,4	1,6	1,6	1,7	1,9	2,1	50,0
Autres	0,4	0,5	0,7	0,5	0,4	0,3	-25,0
<b>TOTAL</b>	<b>67,2</b>	<b>70,1</b>	<b>74,2</b>	<b>71,3</b>	<b>62,2</b>	<b>77,8</b>	<b>15,8</b>

Tableau 6 : Évolution de la production mondiale de voitures et de véhicules à usage commercial entre 2005 et 2010, en millions de véhicules (OICA, 2011).

Deux tendances sont toutefois à distinguer concernant la demande en batterie associée à cette croissance mondiale du parc automobile :

- **Les pays émergents** utilisent des batteries au plomb contenant en moyenne 10 % d'antimoine. Bien qu'en forte croissance (+ 57,4 % en Asie et Océanie entre 2005 et 2010, + 57,1 % en Amérique latine sur la même période), la production et la demande sont relativement récentes. Le gisement de batteries en fin de vie n'étant pas encore constitué, la demande d'antimoine primaire de ces pays va rester importante pour le secteur des batteries automobiles ;
- **Les pays industrialisés** utilisent des batteries qui contiennent de moins en moins d'antimoine (0,6 % Sb). Les très bons taux de recyclage réduisent la consommation d'antimoine primaire pour ce secteur. En outre, ces dernières années, des programmes de recherche ont permis de développer de nouveaux designs pour les batteries afin d'améliorer leur performance. Ces derniers modèles, qui pourront par exemple être utilisés dans les véhicules hybrides, nécessiteront une moindre quantité de plomb et pourraient ainsi réduire, voire même éliminer, l'utilisation d'antimoine dans ce secteur (USGS, 2011).

Les batteries au plomb font, toutefois, face à une concurrence accrue de la part des nouvelles technologies qui présentent de meilleures puissances massique (W.h/kg) et volumétrique (W.h/L), comme le système NiMH utilisé par les véhicules hybrides.

Cependant, elle est encore très utilisée car elle est la moins coûteuse et peut fournir un courant de grande intensité, utile pour le démarrage des véhicules automobiles.

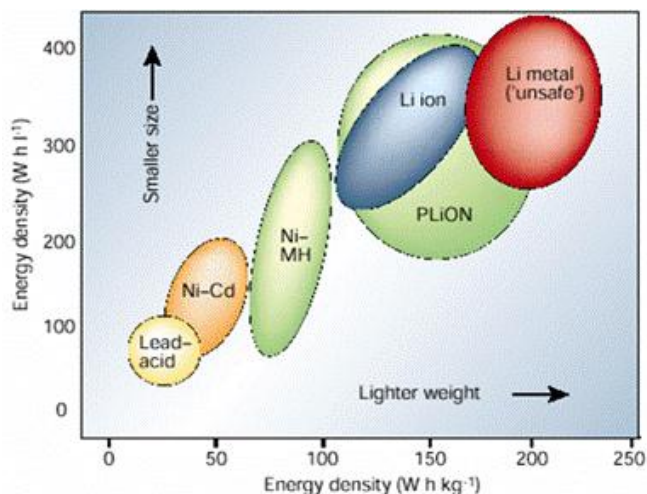


Figure 8 : Comparaison de l'efficacité de différentes batteries (site web Lifetch Inc).

La même dichotomie entre pays industrialisés/émergents s'observe sur les secteurs des alliages. Tandis que les premiers y réduisent progressivement l'utilisation de l'antimoine sur des critères environnementaux, ils sont en plein essor dans les pays en cours d'industrialisation.

### 3.4.3 Les produits chimiques et les pigments

L'antimoine est largement utilisé dans les industries des polymères, notamment dans l'estérification des fibres et des résines de PET ainsi que dans la stabilisation des PVC.

En 2004, AMI (Applied Market Information) a évalué une croissance de 7 % par an entre 2004 et 2009 de la consommation mondiale de PET, largement tirée par la Chine et l'Inde (+ 10,4 % par an) qui utilisent de plus en plus de containers plastiques. Une utilisation accrue des PET est également attendue sur les marchés où il est déjà bien établi, comme les boissons et les eaux minérales, et devrait s'étendre à d'autres secteurs comme le lait, les jus ainsi que la bière.

Traditionnellement,  $Sb_2O_3$  constitue le principal type de catalyseur utilisé dans l'industrie du PET aux États-Unis et en Europe. Malgré l'usage plus fréquent de dioxyde de germanium en Japon et en Asie de l'Est et le développement de nouveaux catalyseurs au titane au Japon, les composés antimonifères devraient continuer à dominer le marché. La demande en antimoine pour ce secteur devrait donc accompagner la croissance de la consommation mondiale en PET au taux de 7 % / an. En 2010, cette demande mondiale s'est située autour de 3,3 kt  $Sb_2O_3$ .

De la même manière, le marché du PVC devrait croître à l'échelle mondiale, et ce, particulièrement en Inde où les analystes s'attendent à un taux de croissance de 9 % par an. L'Inde utilise, pour la moitié de ses applications, des additifs à haute teneur en

antimoine (16 kg/t) mais des teneurs moindres pour le reste des applications. Les producteurs européens ont annoncé, quant à eux, la volonté de réduire les additifs au plomb (et donc à antimoine) de 50 % pour 2010 (par rapport à 2005) et de s'en priver totalement à l'horizon 2015. TPSI (Townsend's Polymer Services and Information) et Roskill (2007) estiment donc que la croissance de la demande mondiale en antimoine pour la stabilisation des PVC sera autour de 3 à 5 % par an, mais restera largement minoritaire face à d'autres composés mixtes tels que Ca-Zn.

L'utilisation des composés d'antimoine dans les pigments, qui présentent d'ores et déjà un petit marché pour l'antimoine, devrait continuer sur sa dynamique baissière entreprise depuis le début des années 2000. En 1999, la consommation américaine en antimoine primaire pour ce secteur était de 1 020 t, contre seulement 535 t en 2005 et 399 t en 2010 (USGS, 2011).

### 3.4.4 Les verres et céramiques

La principale utilisation d'antimoine dans les verres et céramiques est celle d'antimoniure de sodium ( $\text{NaSbO}_3$ ) comme agent de dégazage dans les verres CRT (écrans à tubes cathodiques). De plus petites quantités de composés antimonifères ( $\text{NaSbO}_3$  et  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ) sont également ajoutées en tant qu'opacifiant dans les porcelaines et que décolorant dans les briques (afin de blanchir des argiles trop rouges).

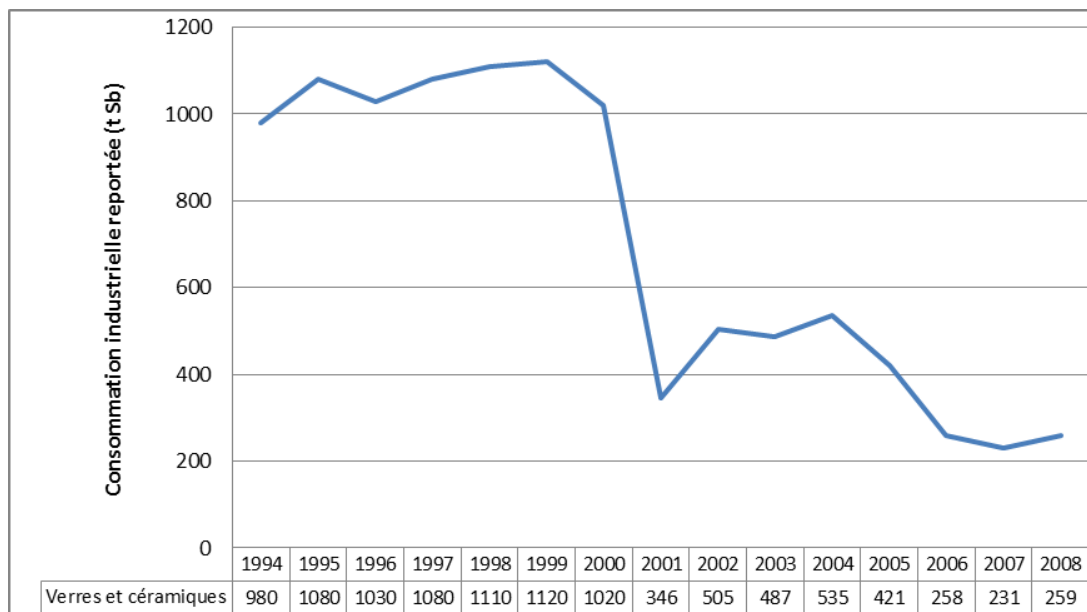


Figure 9 : Évolution de la consommation industrielle reportée en antimoine primaire aux États-Unis dans les verres et céramiques entre 1994 et 2008 (compilation de données USGS, Minerals Yearbook).

Depuis la fin des années 1990, la quantité d'antimoine primaire consommée aux États-Unis pour le secteur des verres et céramiques est en **constante diminution**, passant de 1 120 t en 1999 à 259 t en 2008<sup>7</sup> (USGS, 2011). Ceci peut s'expliquer par :

- **la part croissante des écrans plats**, qui utilisent les technologies LCD, plasma et LED ;
- **la délocalisation** des capacités de production américaines pour les verres et les céramiques en Asie.

À l'échelle mondiale, le marché du verre CRT est en fort déclin au profit du LCD. Si le marché du LCD est déjà bien établi en Europe, en Amérique du Nord et au Japon où entre le tiers et la moitié du parc de téléviseurs installés est constitué d'écrans plats, il connaît une hausse remarquable partout dans le monde et en particulier en Chine où de 32 % des ventes en 2008, les prévisions pour 2010 atteignent 86 % (Roskill, 2011).

	Téléviseurs installés en 2009		% LCD dans les ventes de nouveaux téléviseurs (%)		
	Nombre de TV installées (millions d'unités)	% LCD parmi ces TV	2008	2009 <sup>e</sup>	2010 <sup>p</sup>
Europe	485	29-36 %	79	88	91
Chine	435	13-20 %	32	68	86
Japon	120	36-46 %	87	91	92
Amérique du Nord	325	35-45 %	80	89	90
Autres	735	7-12 %	23	36	57
<b>TOTAL</b>	<b>2 100</b>	<b>19-26 %</b>	<b>51</b>	<b>69</b>	<b>80</b>

<sup>e</sup> estimations, <sup>p</sup> prévisions

Tableau 7 : Pénétration du LCD sur le marché mondial des téléviseurs entre 2008 et 2010 (CREIC, 2009 et Corning presentations, 2010, in Roskill « Rare Earths and Yttrium », 2011).

Il est toutefois à noter que dans les pays occidentaux, la plupart du verre CRT recyclé est réutilisé dans d'autres applications.

### 3.4.5 Les autres usages et les nouvelles applications

La consommation d'antimoine dans les autres secteurs est faible et il est difficile d'évaluer leur évolution récente et ce, même aux États-Unis, qui publient habituellement beaucoup de données, en raison du nombre croissant de secteurs dont les données sont devenues confidentielles.

Dans son étude sur les matières premières pour les technologies du futur (Rohstoffe für Zukunftstechnologien, 2009), l'institut allemand Fraunhofer analyse les besoins en

<sup>7</sup> Depuis 2009, les données de consommation industrielle d'antimoine primaire dans le secteur des verres et céramiques sont confidentielles (« withheld to avoid disclosing company proprietary data ») (compilation de données USGS, Minerals Yearbooks).

un certain nombre de substances utilisées dans des technologies nouvelles. Parmi les applications retenues, seules deux impliquent de l'antimoine :

- **Les condensateurs miniaturisés** : Les technologies évoluant, les industriels se tournent de plus en plus vers la recherche de la miniaturisation des condensateurs pour le stockage de l'énergie. Les condensateurs au tantale sont les plus utilisés, comme par exemple dans les téléphones portables.

Un condensateur électrolytique au tantale est constitué d'éléments actifs (Ta,  $MnO_2$ , Ag), d'éléments pour l'encapsulation (résine époxy,  $Sb_2O_3$ ) ainsi que d'éléments pour la connectique (alliage Fe58/Ni42, Sn pour la soudure). En 2006, les condensateurs au tantale représentaient 1/3 du marché mondial, les 2/3 restants étant comblés à part égale par les condensateurs au niobium et les MLCC (condensateurs céramiques multi-couches). Suivant les projections, le nombre de condensateurs sur le marché mondial devrait passer de 18 milliards de pièces en 2006 à une gamme entre 44 et 85 milliards de pièces en 2030. Sur la base de ces hypothèses, les futurs besoins en matières premières sont les suivants (Fraunhofer, 2009) :

Substance	Production mondiale en 2006	Consommation mondiale en 2006 pour les condensateurs	Prévisions de la consommation mondiale en 2030 pour les condensateurs
Tantale	1 400	551	1 360 - 1 410
Niobium	44 500	288	1 360 - 1 410
Baryum	7 960 000	509	1 250 - 3 260
Titane	201 000	177	437 - 1 140
Argent	20 200	210	369 - 518
Palladium	224	7,2	9,22 - 17,7
Manganèse	11 900 000	109	266 - 267
Nickel	1 580 000	288	710 - 2 030
Étain	302 000	105	259 - 444
Antimoine	134 000	27,6	67,9 - 70,6

Tableau 8 : Prévisions de la consommation mondiale de différentes substances pour les condensateurs miniaturisés à l'horizon 2030, en t (Fraunhofer, 2009).

Les besoins futurs en antimoine à l'horizon 2030 pour les condensateurs miniaturisés à tantale sont jugés très faibles, autour de 70 t / an.

- **Les générateurs thermoélectriques** : Traditionnellement, les matériaux thermoélectriques sont des alliages de  $Bi_2Te_3$ , PbTe,  $Si_{80}Ge_{20}$ . Des alliages contenant de l'antimoine, tels que  $(GeTe)_x(AgSbTe_2)_{100-x}$ ,  $AgSbTe_{2-18}PbTe$ , sont de plus en plus utilisés car ils présentent la meilleure efficacité thermoélectrique. Pour l'Institut Fraunhofer (2009), les besoins futurs en antimoine pour ces applications restent à chiffrer, mais sont très faibles et auront très peu d'influence sur la consommation mondiale de Sb.
- **Les couches conductrices transparentes (ATO)** : L'ATO ( $Sb_2O_5/SnO_2$ ) est constitué d'environ 90 % d'étain et de 10 % d'antimoine. Il possède des propriétés très comparables à celles de l'ITO (Oxyde d'Indium et d'Étain, utilisé dans les affichages à cristaux liquides, les écrans plasma, les cellules photovoltaïques à couche mince...) mais présente l'avantage que l'antimoine est moins coûteux que l'indium. Cette technologie reste émergente et pour les applications de masse,

d'autres substituts de l'ITO sont majoritairement utilisés, comme l'AZO (oxyde de zinc et aluminium). Les besoins futurs en antimoine pour cette technologie sont donc très faibles.

À l'horizon 2030, les besoins en antimoine pour les nouvelles technologies sont jugés « insignifiants » (Fraunhofer, 2009).

### 3.5 SUBSTITUTIONS

Plusieurs substituts de l'antimoine sont connus et de plus en plus utilisés en raison de contraintes réglementaires liées aux risques sanitaires dans les pays Occidentaux.

Usages de l'antimoine	Substituts possibles
<b>Retardateurs de flamme</b>	Polybromodiphényles éthers (PBDE), polybromobiphényles (PBB), paraffines chlorées (PCA), oxyde d'aluminium hydraté...
<b>Batteries au plomb</b>	Batteries au lithium, nouvelles batteries acide-plomb (≈ sans Sb)...
<b>Alliages au plomb</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durcisseurs : Ca, Cu, Sn, Cd, Sr, Se, S...</li> <li>- Gainage de câbles : Al, polymères organiques...</li> <li>- Munitions : W</li> <li>- Antifrictions : Al, Cd, Pb, Sn, polymères organiques...</li> </ul>
<b>Stabilisateurs de plastiques</b>	Ba, Cd, Ca, Pb, Sn, Zn...
<b>Pigments, verres et céramiques</b>	Cd, Cr, Sn, Ti, Zn, Zr
<b>ATO</b>	Couches conductrices transparentes : ITO, AZO...

Tableau 9 : Substituts et technologies concurrentes pour les principaux usages de l'antimoine (USGS, 2004 et 2011, CEAEQ, 2010).

### 3.6 RECYCLAGE

L'antimoine contenu dans les alliages au plomb est très bien recyclé, et particulièrement celui présent dans les batteries (grilles et autres composants de la batterie). La Société Chimique de France estime que 97 % de l'antimoine recyclé aux États-Unis provient des batteries usagées (2011). Les scraps sont fondus dans un haut-fourneau afin d'obtenir du plomb brut qui sera ensuite affiné (voir 5.1.1), afin d'obtenir les spécificités souhaitées (USGS, 2004).

L'USGS (2011) souligne que les changements en cours dans cette industrie, et notamment la tendance à diminuer progressivement la quantité d'antimoine présente dans les batteries aux États-Unis, a conduit à une réduction de leur production secondaire de Sb. Le développement des batteries à faible entretien favorise dorénavant la récupération du calcium, ajouté comme additif, au détriment de l'antimoine.



Les autres usages de l'antimoine (retardateurs de flamme, verres et céramique...) sont dispersifs et il ne semble pas exister, à l'heure actuelle, de filière de recyclage dédiée.

### 3.7 LES PRIX ET LES MARCHÉS DE L'ANTIMOINE : ÉVOLUTION ET SPÉCIFICITÉS

L'antimoine n'est pas coté ni commercialisé sur des places boursières telles que le London Metal Exchange. Les prix sont fixés entre les producteurs (et/ou traders) et les consommateurs en fonction de la qualité (teneur en antimoine) et de la forme du produit, tant physique (lingot, poudres...) que chimique (trioxyde d'antimoine...).

Des prix de référence sont publiés par divers organismes :

- **Sb métal** : Metal Bulletin publie des prix pour un matériau à 99,65 % Sb min. (free market price) également appelé « regulus » en anglais (antimony regulus) Platts publie également de façon hebdomadaire les prix de l'antimoine métal à 99,65 % Sb fob<sup>8</sup> en Chine ainsi que les prix New York dealer (Platt's Metals Week). Les prix américains sont généralement plus élevés qu'en Europe en raison de frais de transport et de taxes supplémentaires;
- **Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** : Industrial Minerals publie les prix de matériaux à 99,5 % Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> min. cif<sup>9</sup> (Rotterdam) et fob (Chine). Metal Pages publie également les prix, aussi bien du métal que du trioxyde.

#### 3.7.1 Évolution récente et historique des prix

Entre 2000 et 2008, le prix de l'antimoine a connu une tendance légèrement haussière. La surproduction en Chine a induit une offre excédentaire que le marché n'a pas pu absorber, maintenant des prix faibles autour de 4 000 \$/t. En effet, à la fin des années 1990, le prix moyen de l'antimoine était attractif (6 000 \$/t) et la facilité d'exploitation de l'antimoine en Chine (gisements superficiels) ont entraîné une multiplication d'exploitations illégales et bon marché, qui ont permis d'inonder le marché mondial en antimoine. Les sanctions prises par les autorités chinoises, notamment suite au terrible accident qui s'est produit sur la mine de Nandan, en fermant des mines et des raffineries dans la province de Guangxi, ont permis un retour à la lente croissance des prix.

Les prix de l'antimoine ont été fortement chahutés par la crise économique et financière de 2008-2009 puisqu'en l'espace de 4 mois, ils sont passés de 6 700 \$/t en septembre 2008 à 4 100 \$/t au début de janvier 2009, soit une baisse de 39 %.

Depuis le début 2009, le prix de l'antimoine a fortement augmenté et ce, particulièrement en 2010 où des réductions de la production en Chine, qui couvre plus de 85 % de la production mondiale d'antimoine primaire, se sont produites. Elles

---

<sup>8</sup> Free On Board

<sup>9</sup> Cost Insurance Freight

résultent de deux décisions prises en mars 2010 : le Gouvernement chinois a annoncé qu'il n'accepterait de développer aucun nouveau projet pour l'antimoine avant la fin juin 2011 et a, en parallèle, ordonné la fermeture de 100 raffineries dans le but de lutter contre les exploitations illégales et de modérer la pollution (USGS, 2011). Les producteurs chinois ont, de plus, voulu exacerber la situation de pénurie en réduisant leurs exportations afin de faire monter virtuellement les prix (Strategic metal report, 2010).

Sur cette dynamique, l'antimoine a atteint un **plus haut historique à 17 100 \$/t le 31 mars 2011**. Cependant, avec l'éclatement de la crise des dettes souveraines en Europe à partir de juin-juillet, les cours de l'antimoine ont suivi à la baisse ceux de la grande majorité des métaux pour retrouver ses niveaux de début 2011 autour de 13 000 \$/t (décembre 2011).

Le graphique suivant retrace les variations de prix de l'antimoine métal vendu en Europe entre janvier 2001 et décembre 2011.

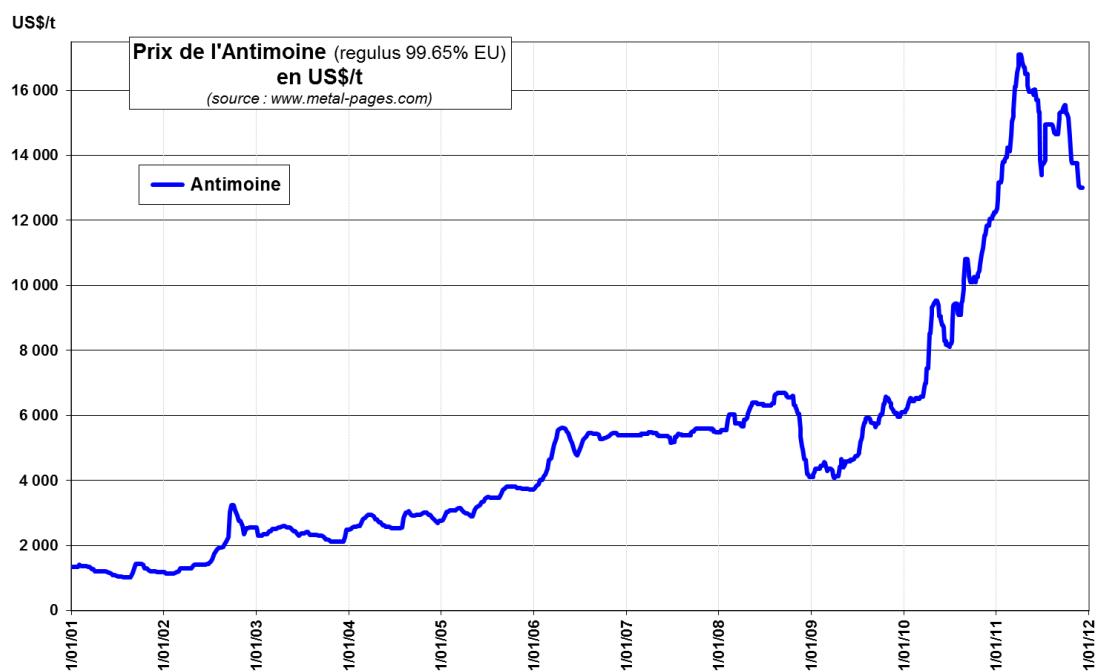


Figure 10 : Variation du prix de l'antimoine métal (99,65 % Sb) commercialisé en Europe entre janvier 2001 et décembre 2011 (metal-pages.com).

### 3.7.2 Évolution future des prix

Plusieurs facteurs conditionnent l'évolution future des prix de l'antimoine. Elle repose, tout d'abord, sur l'évolution de sa demande future, fortement influencée par son principal secteur de consommation : les retardateurs de flamme. Avec un taux de croissance mondiale de 5,5 % par an à l'horizon 2015 évalué par le Groupe Freedonia (*in Roskill, 2007*), la consommation de trioxyde d'antimoine pour ce secteur devrait atteindre les 210 kt en 2015. Les autres secteurs de consommation, comme les

batteries au plomb ou encore les verres et les céramiques devraient également demander de plus en plus d'antimoine. Toutefois la répartition de la demande devrait se contraster de manière plus marquée dans les prochaines années entre les pays industrialisés qui tendent à en limiter l'usage pour certaines applications comme les batteries automobiles en raison de sa toxicité, et les pays émergents qui sont de plus en plus demandeurs.

Le principal facteur d'incertitude concernant l'évolution du marché mondial de l'antimoine est celui de la Chine. Ayant assuré 91 % de la production mondiale en 2009 (Ad Hoc Working Group, 2010), les régulations en cours visant à limiter les exploitations illégales ont provoqué une diminution de la production.

Les producteurs chinois ont, de plus, voulu exacerber la situation de pénurie en réduisant leurs exportations afin de faire monter virtuellement les prix (Strategic metal report, 2010). Les analystes craignent ainsi que ce pays, en position quasi-monopolistique, ne puisse manipuler les approvisionnements et les prix futurs.

Dans les prochaines années, le prix de l'antimoine devrait donc poursuivre sa croissance, tiré par la croissance soutenue de la demande en Chine notamment. En l'absence de la mise en exploitation dans les prochaines années de gros gisements qui pourraient casser le monopole asiatique, la Chine restera au centre de la fixation des prix mondiaux.



## 4. Ressources et production mondiale

### 4.1 LES SOURCES D'ANTIMOINE

#### 4.1.1 Abondance de l'antimoine dans l'écorce terrestre

L'abondance moyenne de l'antimoine dans la croûte terrestre est de 0,2 ppm, ce qui est comparable avec celle de l'indium et du cadmium mais presque dix fois inférieur à celle de l'arsenic avec qui il est souvent associé.

Le tableau suivant présente les abondances des principaux éléments de la croûte terrestre estimées en moyennant les données de plusieurs auteurs (voir légende). Sur ces 83 principaux éléments, l'antimoine arrive en 65<sup>ème</sup> position par ordre d'abondance décroissante.

Rang	Élément	%	ppm	ppb	Rang	Élément	%	ppm	ppb	Rang	Élément	%	ppm	ppb
1	O	44,3			29	Y		29,6		57	W		1,15	
2	Si	27,4			30	Co		27,7		58	Mo		1,14	
3	Al	8,22			31	Sc		24,4		59	Tb		0,99	
4	Fe	5,86			32	N		19,6		60	Tl		0,58	
5	Ca	4,67			33	Ga		18,4		61	Lu		0,53	
6	Mg	2,64			34	Nb		17,6		62	Tm		0,46	
7	Na	2,45			35	Li		17,0		63	I		0,41	
8	K	1,77			36	Pb		11,0		64	In		0,34	
9	Ti	0,63			37	B		8,94		65	Sb		0,20	200
10	H	0,15			38	Pr		8,78		66	Cd		0,14	141
11	P	0,10			39	Th		6,60		67	Ag			77,4
12	Mn	0,10	985		40	Sm		6,14		68	Se			66,7
13	C		699		41	Dy		5,94		69	Hg			63,0
14	F		491		42	Gd		5,87		70	Bi			29,1
15	S		469		43	Hf		3,26		71	Pd			9,9
16	Ba		404		44	Er		3,20		72	He			6,8
17	Sr		353		45	Yb		3,02		73	Ne			4,0
18	Cl		212		46	Br		2,52		74	Au			3,4
19	V		163		47	Ar		2,50		75	Pt			3,2
20	Cr		163		48	Sn		2,12		76	Os			2,1
21	Zr		158		49	Be		2,04		77	Te			1,3
22	Ni		101		50	Cs		1,90		78	Ru			1,0
23	Zn		77,2		51	Ta		1,83		79	Re			1,0
24	Rb		68,2		52	As		1,79		80	Ir			0,8
25	Cu		62,7		53	Eu		1,77		81	Rh			0,6
26	Ce		60,5		54	U		1,75		82	Kr			0,1
27	La		33,8		55	Ge		1,44		83	Xe			0,03
28	Nd		33,3		56	Ho		1,34						

Tableau 10 : Abondance moyenne des éléments de la croûte terrestre.  
(moyenne de diverses sources : CRC Handbook (2005), Kaye & Laby (2005), Grennwoog (1997), Ahrens & Taylor (1995), Clarke & Washington (1924), webelements.com).

#### 4.1.2 Minéraux et minerais

L'antimoine n'est trouvé qu'exceptionnellement à l'état natif. Sa première description et interprétation de mise en place a été faite par Keng Chang de la Société Géologique Chinoise en 1941. En étudiant la mine de Lamo dans la province du Guangxi, il attribue son origine aux magmas acides ainsi qu'une mise en place dans des zones de cisaillement (*shear zones*). D'autres occurrences sont connues à travers le monde, comme à la mine Québec Antimoine (canton de Ham Sud), à St Andreazberg (Harz, Allemagne), à Příbram (Bohème, République Tchèque), à la mine de Lake George au Nouveau Brunswick, Canada et en de moindres quantités, à la mine des Chalanches, Isère.



Figure 11 : Cristaux d'antimoine natif de la Mine des Chalanches, Isère, 5 cm. Collection du Muséum de Paris (© <http://webmineral.brgm.fr>).

Famille	Principaux minéraux
<b>Sulfures</b>	- Stibine (antimonite) $Sb_2S_3$
<b>Sulfosels</b>	- Berthiérite ( $FeSb_2S_4$ ) - Tétratérite ( $(Cu, Fe, Ag, Zn)_{12}Sb_4S_{13}$ ) - Jamesonite ( $Pb_4FeSb_6S_{14}$ ) - Boulangérite ( $Pb_5Sb_4S_{11}$ ) - Bournonite ( $CuPbSb_3$ ) - Semseyite ( $Pb_9Sb_8S_{14}$ )...
<b>Antimoniures</b>	- Breithauptite ( $NiSb$ ) - Dyscrasite ( $Ag_3Sb$ ) - Sudburyite ( $(Pd, Ni)Sb$ )
<b>Oxydes et oxy-hydroxydes</b>	- Valentinite ( $Sb_2O_3$ ) (orthorhombique) - Sénarmonite ( $Sb_2O_3$ ) (cubique) - Kermésite ( $Sb_2S_2O$ ) - Livingstonite ( $HgSb_4O_8$ ) - Stibiconite ( $Sb_3O_6(OH)$ )

Tableau 11 : Principaux minéraux stables de l'antimoine.

Plus de 100 minéraux antimonifères ont été décrits. Dans la majorité des cas cependant, l'antimoine se rencontre sous forme de sulfures, et en particulier, de stibine ( $Sb_2S_3$ ) qui constitue le minéral d'antimoine le plus répandu. Il forme également fréquemment des sulfoantimoniures (sulfosels) avec d'autres éléments métalliques comme le plomb et le cuivre ainsi que, plus rarement, des antimoniures. Des oxydes ou des oxy-hydroxydes se forment en conditions oxydantes.

#### 4.1.3 Principaux types de gisements

Les minéralisations où l'antimoine est le seul élément économiquement valorisable représentent généralement de faibles volumes (structure filonienne). Il est fréquemment récupéré en co- ou sous-produit de l'extraction d'autres substances, comme l'or (shear zones), le plomb ou le zinc (filons Pb-Zn, MVT). La stibine ( $Sb_2S_3$ ) est le principal minerai, mais il peut se présenter sous forme native, en sulfosel ou en oxyde.

Les minéralisations à antimoine peuvent se mettre en place dans différents contextes géologiques (Jébrak & Marcoux, 2008) :

- Les **gîtes profonds en contexte ductile-cassant** : liés à l'hydrothermalisme continental :
  - . **Les filons à Pb-Zn et à fluorine** : Ces gîtes filoniens, essentiellement exploités pour le plomb, le zinc et l'argent, présentent parfois des minéraux accessoires et/ou des zonalités à Au, Cu, In, Ge, Sb comme à Cœur d'Alène (Idaho). Des indices d'antimoine en périphérie de filons en cisaillement à fluorine ont également été observés, comme à El Hammam (Maroc) ;
  - . **Les zones de cisaillement à or** : 30 % de la production mondiale d'or ont été extraits de shear zones en 2005. Les minéralisations à or-quartz-carbonates sont parfois accompagnées de tellures, de tourmaline, de stibine, de scheelite, de galène ou de molybdénite. Murchison Range (Afrique du Sud, ressources de 630 kt Sb et 40 kt Au) et Olimpiada (Sibérie) sont des géants à Au-Sb (Laznicka, 2010) ;
  - . **Les filons à antimoine** : Ces types de minéralisations filoniennes sont souvent encaissés dans des séries sédimentaires à proximité de shales noirs et associées à des systèmes plissés. Ils forment souvent de petites structures anastomosées discontinues contenant 5-10 % Sb à stibine-sulfoantimoniures (La Lucette, Brioude-Massiac en France, Murchison en Afrique du Sud) ou plus rarement à Sb natif (Lac Nicolet au Québec ou en Finlande). L'or peut y être associé, comme au Zimbabwe. Les gisements chinois, de ce type (Xikuangshan, Hunan), constituent les plus grandes réserves mondiales d'antimoine.
- Les **gîtes de plutonisme intermédiaire à felsique** :
  - . **Les porphyres à Cu-Mo ou Au** : En périphérie des porphyres cuprifères se met parfois en place un réseau filonien à Pb, Mn, Ag et parfois Sb, comme à Mount Pleasant (Nouveau Brunswick, Canada), Jbel Aouam (Tighza, Maroc) ou Muruntau (Ouzbékistan), ancien plus gros gisement d'or de l'ex-URSS où des intercroissances or/stibnite ont été observées ;

- **Les porphyres et coupoles à Sn-W** : Les gîtes à étain de Bolivie, hybrides entre porphyres et épithermaux, présentent des filons très riches à Sn-W-Ag-Bi-Sb, comme à Cerro Rico de Potosi et Llallagua ;
- **Les gîtes de type Carlin** : Ces gîtes de remplacement à or dans les carbonates présentent des anomalies à As, Ag, Hg, Sb, F et W. Dans les gisements chinois de ce type, Hg, Sb, As et U sont concentrés, comme à Banqi, Getang, Zimudang, Xiongwu, Ceyang et la zone de Dian-Qian-Gui (Peters *et al.*, 2002).
- **Les gîtes stratiformes** : Il s'agit de minéralisations avec des schistes ou des shales au toit dans un encaissant calcaire (Mexique, Algérie) ou gréseux (Hunan, Chine). Le minerai est d'allure massive où la teneur peut atteindre 30-33 % Sb pour une puissance de 50 cm à 1,50 m comme à San Luis Potosi au Mexique (Moyroud *et al.*, 1979).
- **Les carbonates à Pb-Zn** : Les gisements du type MVT (Mississippi Valley Type) abritent, avec les SEDEX (exhalatifs sédimentaires) les plus grandes réserves mondiales de Pb et Zn. Si de la barytine, fluorine, Ag et Cd sont récupérés en co-produits, de l'antimoine peut également être associé. Les MVT de l'Est américain pourraient donc abriter des concentrations de Sb.
- **Les sources chaudes** : Dans les sources chaudes, comme à Yellowstone (États-Unis) ou en Nouvelle Zélande (district de Wai-O-Tapu), la sursaturation des eaux en soufre, antimoine et arsenic entraîne le dépôt de stibine ( $Sb_2S_3$ ) et d'orpiment ( $As_2S_3$ ) à l'origine de la couleur orange.



Figure 12 : À gauche : veine à quartz-stibine de la mine US Antimony dans le district de Cœur d'Alène (USGS Denver Inclusion Analysis Laboratory, 2011). À droite : Champagne Pool (Wai-O-Tapu, Nouvelle Zélande) et dépôts d'orpiment et de stibine (©www.waiotapu.co.nz).

**Les gisements économiquement exploitables sont généralement petits et discontinus**, l'antimoine se trouvant en remplissage de fractures, dans des veines ou des corps de remplacement.

Dans les régions les plus productrices d'antimoine que sont la Chine, la Bolivie et l'Afrique du Sud, la minéralisation est majoritairement filonienne à galène ( $PbS$ ) et



pyrite ( $\text{FeS}_2$ ) avec de petites quantités d'or, d'argent et de sulfures à argent (acanthite  $\text{Ag}_2\text{S}$ ) ou mercure (cinabre  $\text{HgS}$ ) associées.

## 4.2 RESSOURCES ET RÉSERVES

### 4.2.1 Gisements et potentiel en France

De nombreux gîtes et gisements à antimoine ont été découverts en France dans le cadre de l'Inventaire minier métropolitain. D'après les archives, l'antimoine fut certainement exploité dès l'Antiquité dans le district de Brioude (mine d'Ally), avant d'être activement prospecté et exploité aux XV<sup>e</sup> et X<sup>e</sup> siècles à Brioude (Haute-Loire) et Massiac (Cantal). **Entre 1890 et 1908, la France a occupé le premier rang mondial des producteurs miniers d'antimoine** et sa métallurgie a pris son essor au début du XX<sup>e</sup> siècle.

Les gisements à antimoine français présentent une morphologie filonienne. Sa mise en place régionale est due à une activité magmatique (intrusions ou volcanisme) et sa grande mobilité explique qu'il se trouve préférentiellement dans des pièges structuraux, plans de faille et charnières d'anticlinaux. L'antimoine est présent sous forme de sulfures : stibine  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  et/ou berthiérite  $\text{FeSb}_2\text{S}_4$ . À l'intérieur de ces structures, le minerai exploitable forme des lentilles ou des colonnes de 80 m d'allongement en moyenne (Moyroud *et al.*, 1979).

Plusieurs districts à antimoine ont été identifiés dans les zones de socle :

- **District de Brioude-Massiac** : Connue dès l'Antiquité, la stibine y fut activement exploitée à partir du XV<sup>e</sup> et du XVI<sup>e</sup> siècle. À l'intérieur des filons minéralisés ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ,  $\text{FeSb}_2\text{S}_4$ ,  $\text{FeAsS}_2$  accessoirement), les teneurs dans les lentilles atteignent 20-30 % Sb. Ce district comporte plus de 200 indices à antimoine dont 40 furent exploités, parmi lesquels La Bessade, Ouche, Pressac, Le Fraisse et Osfonds furent les plus importants ;
- **Le Massif Armoricaïn**, de la pointe bretonne (Sud Finistère : Ty Gardien) jusqu'à la Mayenne (La Lucette) et à la Vendée (Les Brouzils, Rochetréjou). Des prospectes ont également été identifiés en Maine et Loire (Mozé sur Louet). 42 000 t de minerai ont été exploitées à **La Lucette** entre 1900 et 1934. Grâce à la richesse du filon Georges, cette mine a occupé le premier rang de la production française, mais également mondiale jusqu'en 1912, assurant en 1908 le quart de la production mondiale ;
- **Le Cap Corse**, avec les anciennes mines de Méria, Luri et Ersa exploitées à la fin du XIX<sup>e</sup> – début du XX<sup>e</sup> siècle ;
- **Les Cévennes** comprennent une vingtaine de gîtes. La production totale du district, 4 000 t, provient des mines du Collet de Dèze (filon de la Felgerette) et de Malbosc-Le Fraissinet exploitées entre la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> et la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle ;
- **L'Ouest Limousin** comporte quelques indices filoniens comme Les Biards et Chanac-La Planchette ;
- **Les Vosges**, avec le gisement de Charbes Honilgoutte (1 000 t produites) ;

- **Les Maures**, avec notamment 4 300 t de réserves prouvées à Valcros ;
- **Les Pyrénées Orientales** comportent quelques prospect, comme Las Corbes ou Quintillan.

L'antimoine n'est jamais isolé dans les minéralisations, il est souvent accompagné de mercure, d'arsenic, de plomb ou d'or. La plus grande mine d'antimoine française, celle de La Lucette en Mayenne, a ainsi exploité un minerai à or et stibine. Entre 1905 et 1934, elle a produit **8 700 kg d'or et 42 000 t d'antimoine**.

Le tableau 12 liste les gisements français dont le potentiel (c'est-à-dire la somme de la production passée, des réserves et des ressources) est supérieur à 1 000 t. Mis à part Rosnoen (29), tous ont produit de l'antimoine.

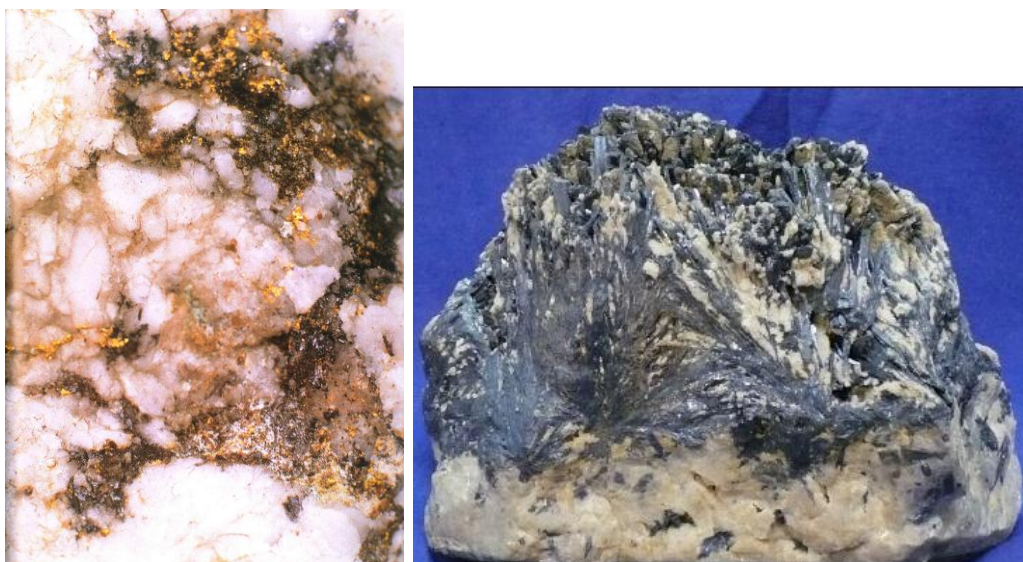


Figure 13 : Minerais de La Lucette : or natif et stibine sur quartz à gauche, 4 x 6 cm (collection des Mines de la Lucette, in Guiollard, 1995), stibine et quartz aurifère, 30 x 25 x 15 cm (collection privée P.C. Guiollard, in Guiollard, 2009).

Les cartes suivantes localisent les gîtes et gisements français principaux en spécifiant leur potentiel ainsi que leur production passée.

En 2011, aucune mine n'exploite l'antimoine en France et le principal gisement, celui de La Lucette, est considéré comme épuisé. **Le potentiel français n'en demeure pas moins réel.**

Gîte	Dép.	District	Gîtologie	Production (t)	Réserves (t)	Ressources (t)	Potentiel (t)	Période d'activité
La Lucette	53	Laval	1	42 000			42 000	1900-1913 ; 1916-1934
Brioude - Massiac	43-15	Brioude-Massiac	2	26 500			26 500	Dès l'Antiquité, jusqu'en 1977
Rochetréjoux	85	Vendée	3	16 500		100	16 600	1907-1934
Les Brouzils	85	Vendée	3	895	4 800	4 450	10 145	1989-1992
La Bessade	43	Brioude-Massiac	3	8 500			8 500	1726-1910 ; 1918-1930
Ouche - Massiac	15	Brioude-Massiac	3	8 300			8 300	1810-1932 ; 1945-1967 ; 1976-1977
Méria (Vallone, San Martino)	2B	Cap Corse	3	5 600		400	6 000	1858-1864 ; 1878-1913
Le Semnon	35	Château-briand	3	500		5 000	5 500	1913-1918
Luri (Castello, Spergane)	2B	Cap Corse	3	3 400		2 000	5 400	1863-1918
Valcros	83	Maures	3	192		4 300	4 492	1907-1924
Ty Gardien (Les Moulins)	29	Quimper - Kerdévet	3	565		3 000	3 565	1913-1916 ; 1927-1928
Pressac	43	Brioude-Massiac	3	3 200			3 200	1892-1912 ; 1927-1929
Le Fraisse	43	Brioude-Massiac	3	3 000		100	3 100	1810-1883 ; 1886-1931
Osfonds	43	Brioude-Massiac	3	3 000			3 000	1890-1912 ; 1927-1929
La Licoulne	43	Brioude-Massiac	3	3 000			3 000	1770 ; 1879 ; 1903-1934
Le Collet de Dèze	48	Cévennes	3	2 570			2 570	1906-1948
La Felgerette	48	Cévennes	2	2 500			2 500	1906-1948
La Chassagne	43	Brioude-Massiac	3	2 000		100	2 100	1901-1916
Ersa (Castagnone)	2B	Cap Corse	4	2 000			2 000	1838-1851 ; 1859-1918
Les Biards	87	Ouest Limousin	2	1 800			1 800	XVIII <sup>ème</sup> s. ; 1905-1931
Auliac Filon Principal	15	Brioude-Massiac	3	1 100	400		1 500	1901-1931
Malbosc - Le Fraissinet	30	Cévennes	3	1 063			1 063	1838-1916
Charbes Honilgoutte	67	Vosges	3	1 000			1 000	XVI <sup>ème</sup> s. ; 1794 ; 1840 ; 1894-1905
Marmeissat	63	Brioude-Massiac	3	1 000			1 000	1888-1891 ; 1912-1914 ; 1946-1968
La Planchette, Chanac	19	Ouest Limousin	5	1 000			1 000	1875-1901 ; 1916-1919 ; 1925-1927
Le Valadou	43	Brioude-Massiac	3	1 000			1 000	1879-1900
Rosnoen	29	Quimper - Kerdévet	3			1 000	1 000	Prospect

- Gîtologie 1 Filons à or-quartz-carbonate, liés à des plis : Au et/ou Sb, (As, W, Ag)  
2 Gisements liés à des failles cassantes (faciès de très faible degré métamorphique) : Au et/ou Sb, (Cu, As, Bi, Te, W, B, F, Sb, Hg, Ag)  
3 Gisements syn-orogéniques à tardi-orogéniques, en relation avec des failles : Au, Zn, As, Sb, Cu, Ni, Co  
4 Filons encaissés dans des roches ultrabasiqes et basiques : As, Sb  
5 Gisements d'or "mésothermaux" liés à des zones de cisaillement ductile-cassant (faciès schiste vert) : Au, (Ag, W, As, Sb, Cu, Ni, Co, Bi, Te)

Potentiel = Production + Réserves + Ressources

Tableau 12 : Gîtes et gisements français ayant un potentiel en antimoine supérieur à 1 000 t (SigMines France, BRGM).

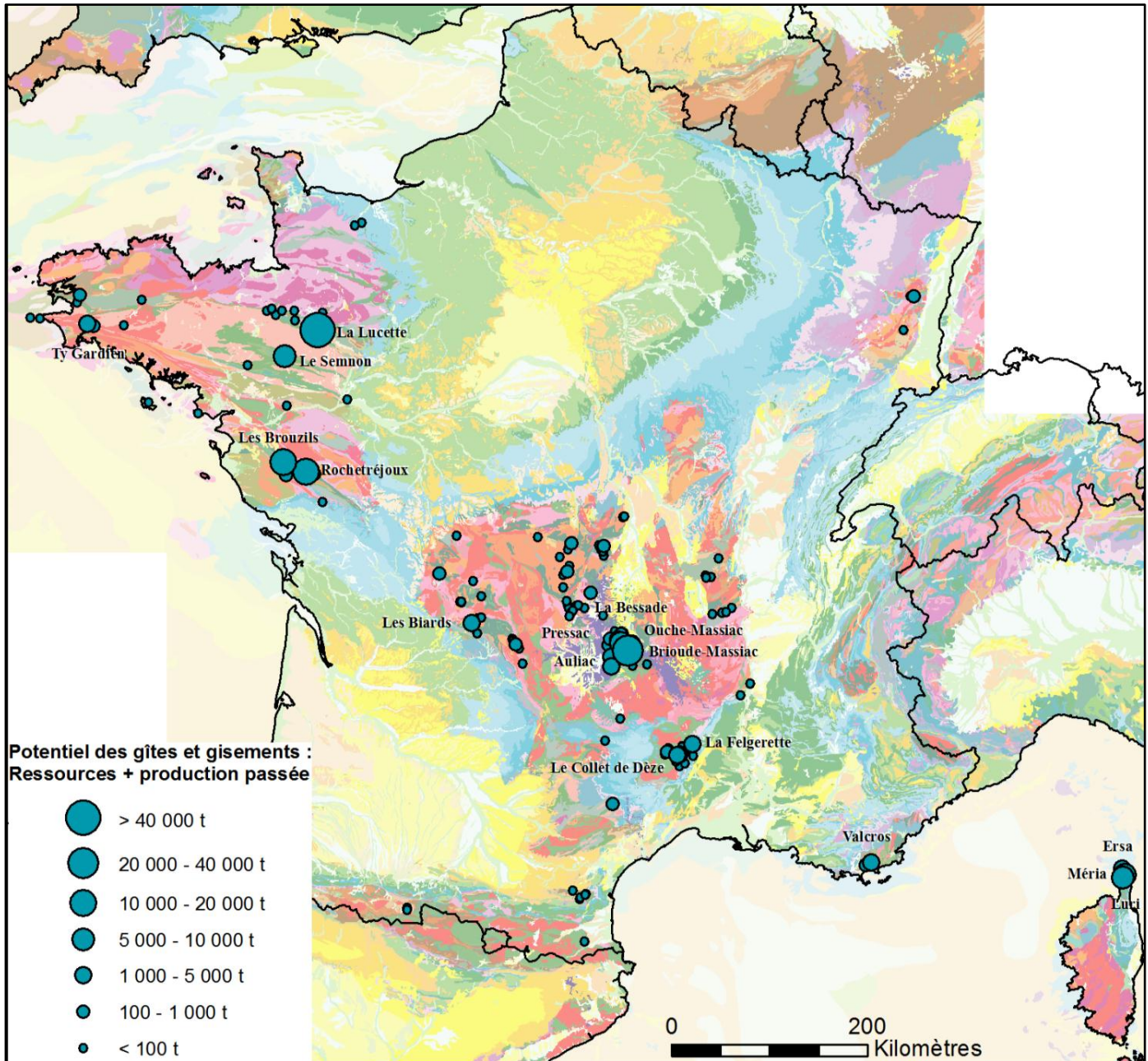


Figure 14 : Potentiel des gîtes et gisements français d'antimoine (BRGM, 2011).

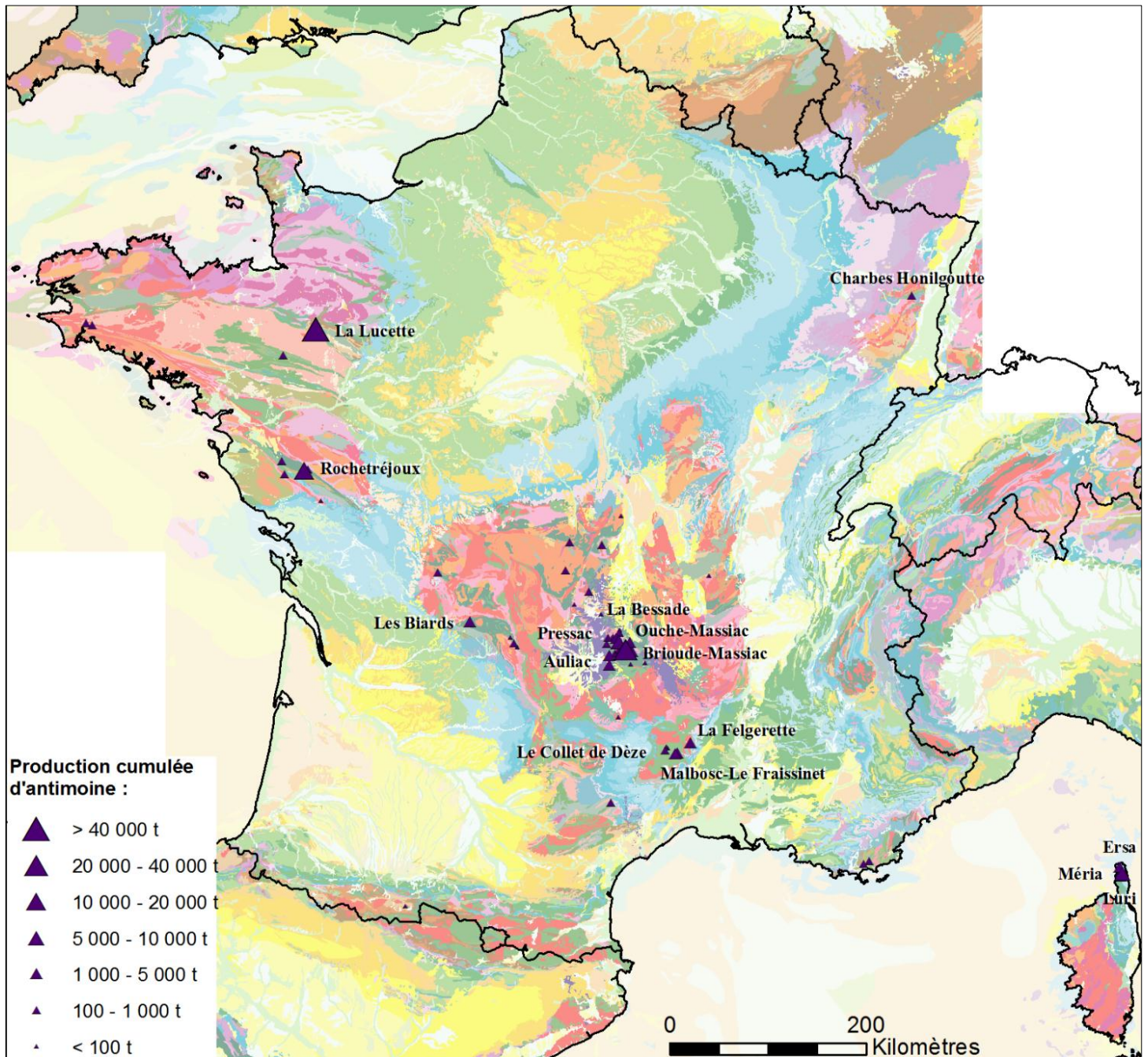


Figure 15 : Localisation des anciennes mines productrices d'antimoine en France (BRGM, 2011).

## 4.2.2 Ressources mondiales en antimoine

Les réserves mondiales en antimoine sont publiées annuellement par l'USGS dans ses « *Mineral Commodity Summaries* ». Il ne s'agit toutefois que d'estimations, obtenues par des sources qui nous sont inconnues.

Au-delà des réserves, définies comme le contenu en antimoine valorisable à partir des minerais exploitables de manière économique en 2011, l'USGS utilisait jusqu'en 2009 le terme de « *reserve base* » pour évaluer le contenu en métal des ressources en minerai démontrées (mesurées + indiquées) qui pourraient, à l'avenir, devenir économiquement exploitables. Les ressources supposées sont exclues de cette définition. Elles ne sont plus présentées depuis 2009.

En 2011, l'USGS estime les **réserves totales mondiales en antimoine à 1 800 kt**, contre 2 100 kt en 2010. Elles sont principalement situées en Chine, en Bolivie, en Thaïlande, au Mexique, en Russie ainsi qu'en Afrique du Sud. Le service géologique américain précise également que des ressources additionnelles pourraient se trouver dans les gisements de plomb de type MVT (Mississippi Valley Type) de l'Est des États-Unis, sans toutefois les chiffrer.

Pays	Réserves (kt, 2011)	"Reserve base" (kt, 2009)	% réserves mondiales (2011)	% "reserve base" mondiales (2009)
Chine	950	2400	52,8%	55,8%
Thaïlande	420 <sup>1</sup>	450	23,3%	10,5%
Russie <sup>2</sup>	350	370	19,4%	8,6%
Bolivie	310	320	17,2%	7,4%
Etats-Unis	80 <sup>3</sup>	90	4,4%	2,1%
Tadjikistan	50	150	2,8%	3,5%
Afrique du Sud	21	200	1,2%	4,7%
Autres pays	150	330	8,3%	7,7%
<b>TOTAL</b>	<b>1800</b>	<b>4300</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
Mexique (1996)	180	230		
Kyrgyzstan (2003)	120	250		
Canada <sup>4</sup> (2006)	103	-		
Turquie <sup>5</sup> (1995)	100	-		
Australie <sup>4</sup> (2006)	90	-		

<sup>1</sup> Réserves évaluées en 2010. En 2011, la Thaïlande est incluse dans les Autres pays

<sup>2</sup> Récupérable

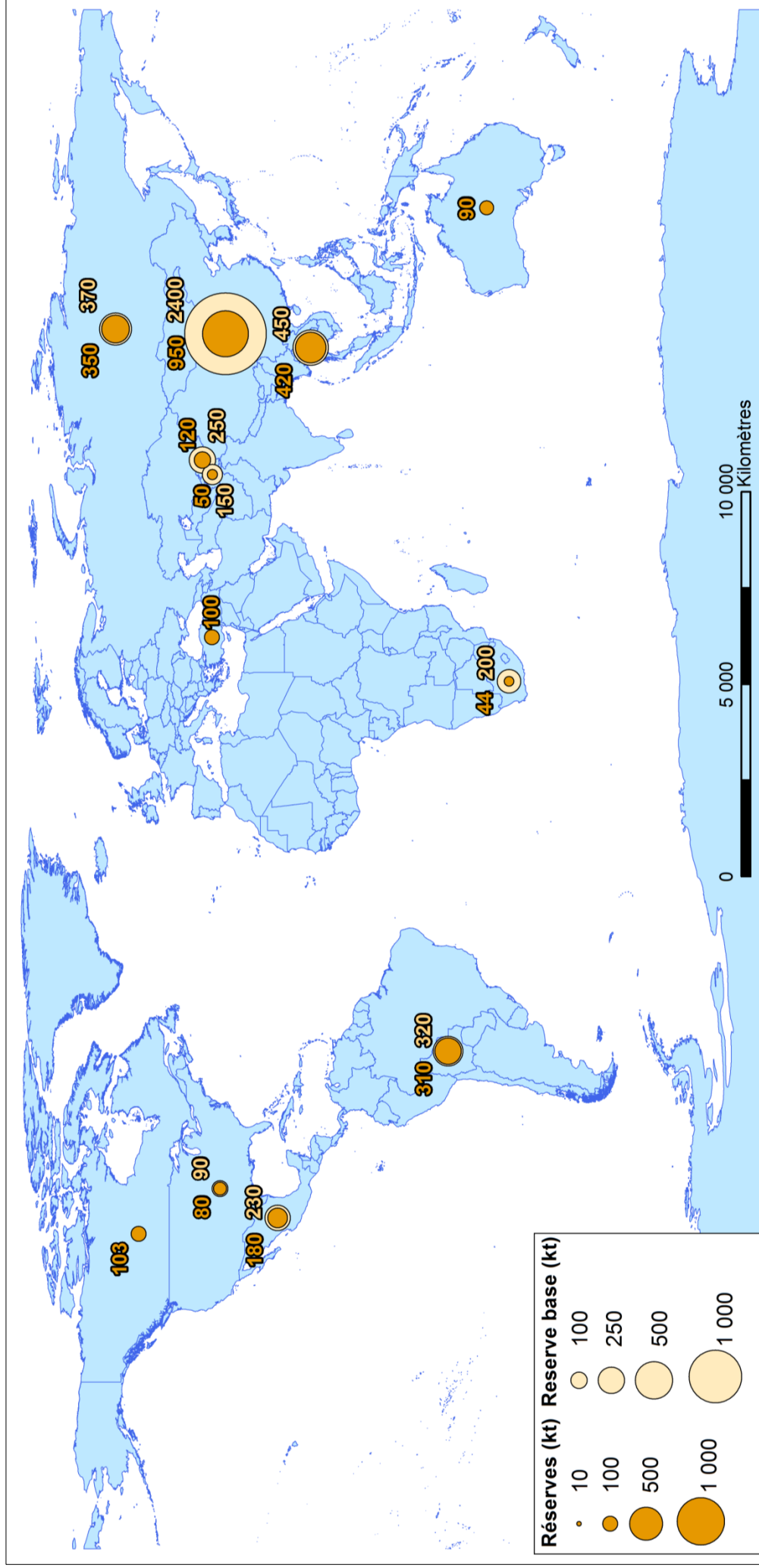
<sup>3</sup> L'USGS ne publie plus les réserves des Etats-Unis depuis 2006

<sup>4</sup> Estimations de Roskill (2007) pour 2006

<sup>5</sup> Estimation faite au milieu des années 1990 (Roskill, 2007)

Tableau 13 : Estimations des réserves et des « *reserve base* » mondiale en antimoine (compilation des « *Mineral Commodity Summaries* » de l'USGS, Roskill, 2007).

Avec des réserves estimées à 950 kt en 2011, la Chine abrite près de 53 % des réserves mondiales d'antimoine. L'essentiel des réserves mondiales est situé sur le continent asiatique, avec un très gros potentiel en Thaïlande, au Kirgizstan et au Tadjikistan. Des gisements sont également présents au Kazakhstan et au Myanmar (Birmanie) sans estimation de leurs ressources ou réserves.



NB : Les données sont toutes postérieures à 2006 mis à part le Mexique dont les dernières estimations datent de 1996.

Figure 16 : Réserves et « reserve base » mondiales en antimoine en 2006 (BRGM, 2011, USGS, 2001)

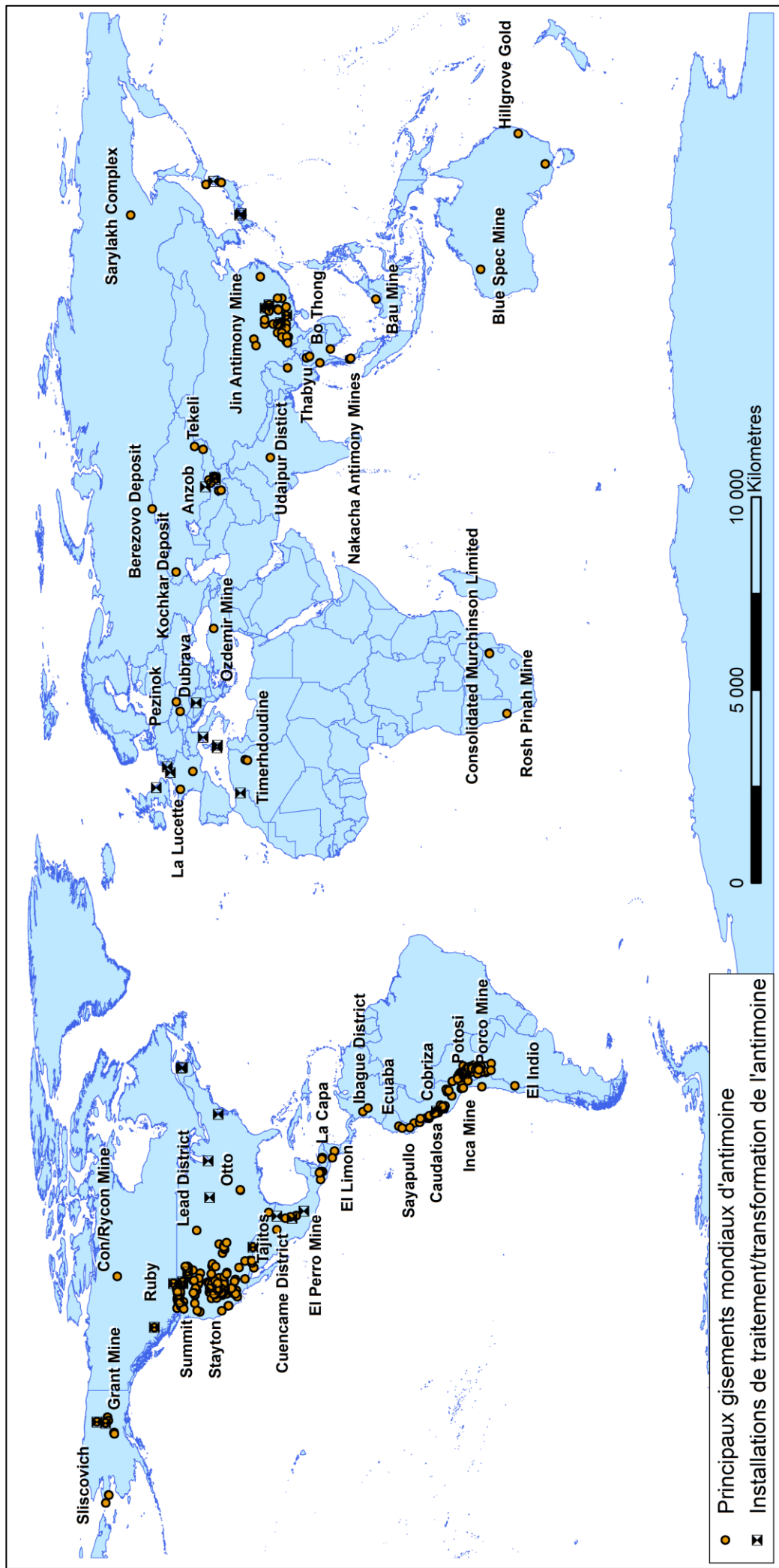


Figure 17 : Localisation des principaux gisements mondiaux et des installations métallurgiques de traitement d'antimoine (BRGM, 2011, USGS-MRDS).



Une bande à l'Est du continent américain qui s'étend de l'Alaska au Chili du nord au sud représente la deuxième province mondiale en termes de réserves. Des gisements ont ainsi été découverts au Guatemala, en Honduras, au Pérou et en Équateur sans chiffrer leurs réserves. Les principales ressources des États-Unis en antimoine sont localisées en Alaska, Idaho, Montana et Nevada (USGS, 2011).

La carte suivante (fig. 16) localise les réserves mondiales en antimoine à partir d'une compilation des données des « Mineral Commodity Summaries » de l'USGS et de Roskill, 2007. Celle (fig. 17) qui suit localise les principaux gisements mondiaux qui abritent de l'antimoine en minéral principal, secondaire ou tertiaire ainsi que les principales usines de traitement listés par l'USGS dans ses MRDS (Mineral Resources Data System). Les États-Unis sont surreprésentés du fait de l'abondance des données du service géologique américain. *A contrario*, peu de gisements sont représentés en Chine notamment du fait de la multiplicité des exploitations non déclarées (bien que des actions gouvernementales de régulation soient en cours depuis quelques années).

### 4.2.3 Commentaires sur les ressources et réserves

L'évaluation des « reserve base » telle que proposée par l'USGS ne prend pas en compte ni les ressources supposées, ni les ressources hypothétiques que les progrès de la connaissance n'ont pas encore révélées.

Derrière la position de force de la Chine qui abrite plus de la moitié des réserves mondiales, les gisements présentant un potentiel antimonifère apparaissent nombreux. Ce métal, souvent accessoire dans les minéralisations, n'est pas systématiquement récupéré, ce qui explique qu'il ne soit pas toujours pris en compte dans le calcul des réserves (mais pourrait apparaître dans les ressources).

Les réserves actuellement identifiées permettraient d'assurer la demande mondiale pendant environ 12 ans au rythme actuel de 150 kt/an (145 kt/an en 2005), 28 ans en prenant en compte les « reserve base » de l'USGS.

## 4.3 PRODUCTION

### 4.3.1 Données récentes et actuelles

#### *Production minière*

Très peu de pays publient des statistiques propres de production d'antimoine. La grande majorité des données disponibles résultent d'estimations. Une des difficultés pour comparer les différentes données réside dans le fait que tous les organismes ne se basent pas sur la même définition de la production minière. Ainsi, tandis que l'USGS affiche le contenu en métal des minerais extraits (ainsi que parfois, le contenu en antimoine des concentrés de Sb, Pb, ou Pb-Zn lorsque c'est spécifié), le BGS inclut également le contenu en antimoine des alliages Pb-Sb ainsi que celui des minerais destinés à l'exportation.

Les résultats peuvent ainsi différer considérablement. En 2006, la production minière chinoise était évaluée à 153 000 t par l'USGS (2011), 156 200 t par le BRGM, le BMWFJ et le BGS (2011) contre seulement 60 945 t par Roskill (2007). Il est possible que les 4 premiers organismes prennent en compte les stocks chinois de minerais et de concentrés utilisés.

Les données de production évaluées par le BRGM et la SIM, publiées dans l'AS3M (Annuaire Statistique Mondial des Minerais et des Métaux) et homogénéisées par l'International Consultative Group on non-ferrous Metal Statistics sont présentées dans le tableau suivant. Les productions primaires totales proposées par l'USGS (Minerals Yearbooks), le BGS (World Mineral Production) et le BMWFJ (World Mining Data) sont également présentées. Si les totaux sont généralement du même ordre de grandeur, il existe fréquemment de grosses variations des estimations pour un même pays. Ainsi, la production minière d'Australie en 2005 est évaluée à 120 t par le BRGM, 192 t par le BGS et le BMWFJ et 1 900 t par l'USGS (quasiment facteur 10 entre les valeurs hautes et basses). De même, la production chinoise de 2008 est donnée à 100 230 t par le BRGM, 166 000 t par l'USGS et 183 000 t par le BGS et le BMWFJ (variation de 82 % entre les extrêmes).

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Afrique du Sud	5 064	5 476	5 746	5 291	4 967	5 979	4 362	3 354	3 674	2 090	2 250
Australie	1 511	1 380	1 200	900	120	120	230	767	1 688	1 794	675
Bolivie	1 907	2 072	2 343	2 432	3 036	5 204	5 460	3 881	3 905	2 990	4 980
Canada	433	278	173	153	105	79	269	193	132	64	1 000e
Chine	99 300	97 000	121 547	100 000	125 433	151 457	156 200	163 000	100 230	112 000	129 831
Etats-Unis	350	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Guatemala	0	8 162	4 000	2 000	2 686	1 007	-	365	-	-	-
Kirghizstan	1 505*	1 500*	1 500*	1 500*	1 500*	1 500*	250	250	250	918	900
Mexique	39	81	155	434	503	565	778	414	380	74	71
Pakistan	-	-	37	0	0	5	91	119	245	75	25
Pérou	461	274	352	616	532	807	824	829	584	263	285
Russie	4 500	4 152	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000
Tadjikistan	2 000	2 500	3 000	3 000	4 069	4 073	3 480	3 480	3 500	2 447	3 341
Thaïlande	97	50	13	46	61	415	1 089	271	422	555	1 000
Turquie	360	330	250	650	900	1 000	1 100	1 200	1 300	1 300	1 300
<b>TOTAL (AS3M)</b>	<b>117 527</b>	<b>123 255</b>	<b>143 316</b>	<b>120 022</b>	<b>146 912</b>	<b>175 211</b>	<b>177 133</b>	<b>181 123</b>	<b>119 310</b>	<b>127 570</b>	<b>148 658</b>
TOTAL USGS	125 549	156 577	118 192	116 213	143 519	141 644	173 441	179 738	182 248	154 096	167 020
TOTAL BGS	117 880	124 065	140 255	119 472	146 682	174 352	176 536	177 506	198 527	179 382	-
TOTAL BMWFJ	117 298	118 773	143 204	120 751	151 173	175 296	176 525	181 123	202 080	181 947	-

e: estimation

\* : métal et composés

Tableau 14 : Évolution de la production minière d'antimoine entre 2000 et 2010, en t Sb contenu dans les minerais (Sources : AS3M (BRGM-SIM), USGS, BGS, BMWFJ).

D'après les données de l'AS3M (2011), **la Chine a assuré plus de 87 % de la production minière mondiale en 2010** (129 830 t), loin devant la Bolivie, deuxième producteur avec seulement 3 % de la production mondiale (4 980 t).

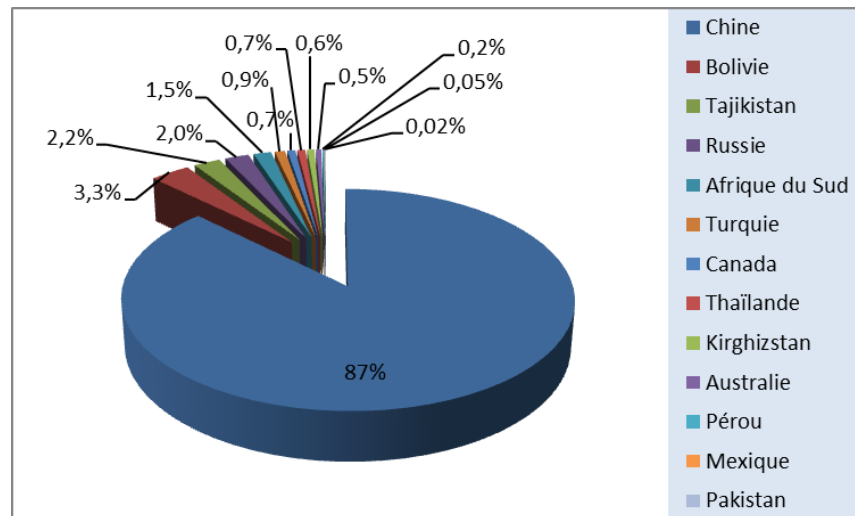


Figure 18 : Répartition de la production minière mondiale en 2010 (BRGM, 2011).

### **Production métallurgique d'antimoine métal, de trioxyde d'antimoine et d'antimoniate de sodium**

De la même manière que la Chine domine la production minière d'antimoine mondiale, elle apparaît au premier rang des producteurs d'antimoine métal, de trioxyde d'antimoine ( $Sb_2O_3$ ) et d'antimoniate de sodium ( $NaSbO_3$ ).

Contrairement à la production minière où l'Europe est absente de manière notable sur la scène mondiale, la France et la Belgique possèdent des capacités de production métallurgiques importantes, notamment pour  $Sb_2O_3$  (18 % de la production mondiale en 2006) et l'antimoniate de sodium. Depuis la fermeture de l'usine de Metaleurop Nord à Noyelles-Godault en 2003, la production française de  $NaSbO_3$  est faible et uniquement assurée par la Société des Produits Chimiques de la Lucette (SPCL).

### **Production secondaire**

L'antimoine secondaire est une source significative de Sb dans la plupart des pays, en particulier des pays industrialisés. À partir de 2001 et la mise en maintenance du complexe minier de Cœur d'Alène (Idaho), la production américaine repose presque exclusivement sur le recyclage. Les batteries au plomb se prêtent facilement à la récupération d'antimoine et assurent donc la grande majorité de la production secondaire mondiale, à la différence des applications métallurgiques du métal où il n'est presque jamais revalorisé (soudures, munitions, alliages complexes...). Les autres usages de l'antimoine, tels que les retardateurs de flammes, sont dispersifs.

Au cours de la dernière décennie, la proportion de plomb secondaire utilisée dans la production totale de plomb raffiné est en légère augmentation, passant de 51 % en 1996 à 53 % en 2005. Le recyclage est plus généralisé dans les pays occidentaux, atteignant 88 % aux États-Unis en 2005 contre seulement 22 % en Chine malgré une hausse progressive de ce taux de réutilisation.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>Antimoine métal (t Sb)</b>							
Chine (prod) <sup>1</sup>	55 800	34 600	32 300	37 200	36 500	44 900	39 000
Chine (exports)	44 960	22 007	20 276	25 243	21 490	29 832	21 165
Kirghizstan <sup>2</sup>	1 505	2 400	2 430	500	320	-	-
Belgique	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
France <sup>3</sup>	500	500	850	230	137	100	100
Bolivie	-	-	150	250	250	400	500
Thaïlande <sup>4</sup>	-	40	123	310	75	171	100
Japon	40	20	21	0	10	50	50
Etats-Unis	100	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>103 905</b>	<b>60 567</b>	<b>57 150</b>	<b>64 733</b>	<b>59 782</b>	<b>76 453</b>	<b>61 915</b>
<b>Trioxyde d'antimoine (masse brute, t)</b>							
Chine <sup>5</sup>	36 086	45 800	57 800	55 400	65 328	64 352	65 000
Etats-Unis <sup>6</sup>	13 300	9 100	14 500	16 400	12 000	3 000	1 500
France	13 000	5 340	5 460	4 260	7 250	6 900	7 500
Belgique	12 500	15 600	11 400	12 700	13 000	11 200	12 000
Japon	11 000	8 789	9 052	8 190	8 716	7 792	8 000
Afrique du Sud	5 540	4 900	6 750	6 600	6 240	6 350	6 500
Mexique <sup>7</sup>	-	-	-	4 500	3 750	3 450	4 000
Bolivie	650	1 375	1 645	1 670	2 308	2 800	3 000
<b>TOTAL</b>	<b>92 076</b>	<b>90 904</b>	<b>106 607</b>	<b>109 720</b>	<b>118 592</b>	<b>105 844</b>	<b>107 500</b>
<b>Antimoniote de sodium (masse brute, t)</b>							
Chine <sup>8</sup>	-	-	-	-	-	15 350	-
Belgique <sup>9</sup>	-	-	-	-	-	6 000	-
France <sup>10</sup>	-	-	-	-	-	1 000	-
Etats-Unis <sup>11</sup>	-	-	-	-	-	700	-
Kazakhstan <sup>12</sup>	-	-	-	-	-	500	-
<b>TOTAL</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>23 550</b>	<b>-</b>

<sup>1</sup> Exportations reportées + consommation domestique, inclut le métal issu de concentrés importés mais pas les lingots produits illégalement

<sup>2</sup> Inclut la production de trioxyde d'antimoine

<sup>3</sup> Production estimée à partir des résidus métallurgiques

<sup>4</sup> Basée sur la production primaire et les exportations de poudres d'antimoine

<sup>5</sup> Basée sur les importations de minerais et de concentrés

<sup>6</sup> Inclut la consommation domestique estimée (sur une base à 40 % Sb)

<sup>7</sup> Calculée à partir de la production locale

<sup>8</sup> Capacités de production d'Oriental Animonial Chemicals et de Hsikuangshan Shanxing Antimony Co.

<sup>9</sup> Capacités de production d'Umicore Precious Metals Refining

<sup>10</sup> Capacités de production de Metaleurop (Noyelles-Godault). L'usine a été fermée en 2003.

<sup>11</sup> Capacités de production d'US Antimony Corp (Montana)

<sup>12</sup> Capacités de production de Kazzink (Vostochno-Kazakhstansky)

Tableau 15 : Evolution des productions métallurgiques d'antimoine métal, de trioxyde d'antimoine et d'antimoniote de sodium entre 2000 et 2006 (Roskill, 2007).

En 2005, 9 pays assuraient 71 % de la production mondiale de plomb raffiné : les États-Unis (29 %), la Chine (15 %), l'Allemagne (5 %), le Japon (4,5 %), l'Italie (4,4 %), l'Espagne (3,4 %), le Canada (3,2 %), le Mexique (3 %) et la France (2,8 %). Ils sont également les plus gros producteurs d'antimoine secondaire (Roskill, 2007).

En 2010, les États-Unis ont produit 3 520 t d'antimoine secondaire, soit trois fois moins qu'en 1995 (USGS, 2011). Une seule fonderie est désormais en activité à Thomson Falls dans le Montana (US Antimony Corp) (USGS, 2011).

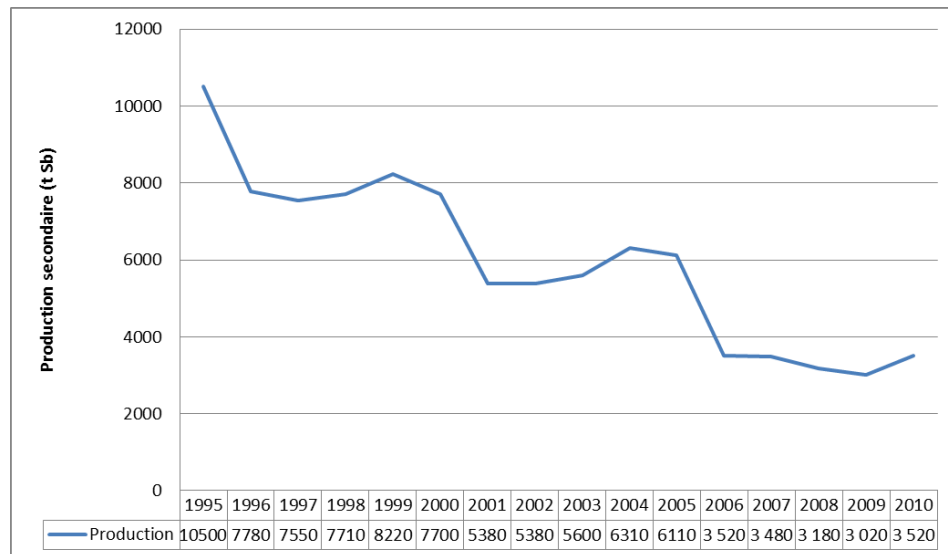


Figure 19 : Evolution de la production secondaire d'antimoine aux États-Unis entre 1995 et 2010 (compilation des « Minerals Yearbooks », USGS).

#### 4.3.2 Facteurs sous-tendant l'évolution de la production au cours des prochaines années

Les systèmes de régulation mis en place en Chine dans le but de réduire les exploitations illégales et les contrebandes ainsi que leur politique visant à contrôler leurs exportations (stocks) ont permis de faire monter les cours de l'antimoine de manière exacerbée depuis 2009.

Avec les prix actuels, des projets ont été réactivés dans de nombreux pays et de nouveaux projets prometteurs ont été découverts. Ainsi, l'Australie, la Bolivie, l'Afrique du Sud, le Canada, le Mexique, le Pérou et la Birmanie, où des gisements de bonne qualité sont connus, pourraient devenir prochainement d'importantes sources alternatives d'antimoine. Le tableau 16 dresse la liste de quelques-uns de ces projets.

Un groupe de chercheurs japonais de l'Université d'Okayama et de Kyushu étudient également la possibilité de construire une mine sous-marine dans la Baie de Kagoshima au sud du pays. En 2007, une source chaude a, en effet, été découverte en collaboration avec l'Université de Tokyo 50 km au large de l'île d'Anami-Oshima. Le gisement (cratère de Wakamiko) n'est situé qu'à 480 m de profondeur, tandis que la plupart des gisements hydrothermaux de cette nature ne se mettent en place qu'en dessous de 1 000 m de profondeur, comme c'est le cas au large d'Okinawa et d'Izu (Japan Times, 2011). Les premières estimations fixent les ressources de ce secteur à 90 t Sb avec de l'or et de l'arsenic associé, ce qui représente environ 180 ans de consommation japonaise au rythme actuel. Environ 80 % des approvisionnements en antimoine japonais proviennent à l'heure actuelle de Chine, et vus les ralentissements dans les exportations chinoises observés en 2010, le Japon cherche de nouvelles sources d'approvisionnement.

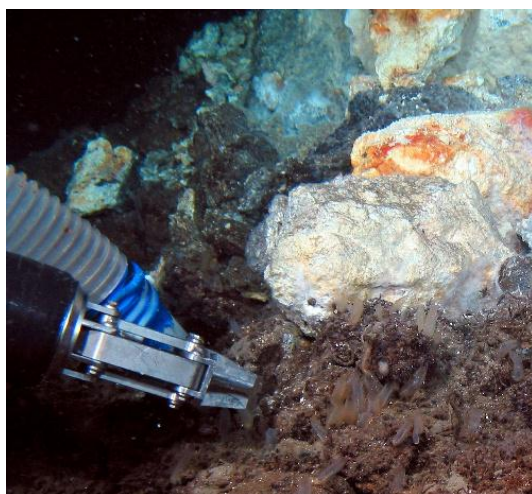


Figure 20 : Activité hydrothermale et minéralisations à Sb-As-Au du cratère Wakamiko, Baie de Kagoshima, Japon (©www.asahi.com).

Un maintien des prix hauts de l'antimoine continuera à encourager le développement de ces nouveaux projets miniers. Toutefois, la croissance de la production primaire attendue en vue de satisfaire la demande mondiale accrue reposera, à court terme, presque exclusivement sur la Chine qui abrite plus de la moitié des réserves mondiales d'antimoine et qui dispose déjà de capacités de production opérationnelles.

Pays	Projet	Compagnie	Ressources	Commentaires
<b>Australie</b>	Hillgrove Gold	Straits Resources (Ancoa depuis 08/11)	3,9 Mt @ 5,2 g/t Au et 2,1 % Sb (70 kt Sb récupérable) (2007)	Capacité de production de l'usine de traitement : 10 kt/an Sb, 20 oz/an Au, W
	Blue Spec Shear Au-Sb	Northwest Resources Ltd	254 000 oz @ 24,3 g/t Au et 5,5 kt @ 1,72% Sb (2011)	4 gisements reconnus dans la zone
<b>Bolivie</b>	Lipichi Gold	Luzon Minerals Ltd	8,5 Mt avec 495 koz Au, 54 kt Sb, 3,42 Moz Ag (2007)	
<b>Canada</b>	Becker-Cochran (Yukon)	New Pacific Metals Corp	124 kt @ 4 % Sb (2007)	Plusieurs anomalies sur la même propriété, comme Porter-Antimony Creek Ag-Sb
<b>Mexique</b>	Los Juarez	US Antimony Corp	1 Mt @ 1,8 % Sb et 8,1 oz/t Ag (16 kt Sb et 7 M oz Ag récupérables) (2007)	Construction en cours d'une usine de flottation, à proximité du district minier de Soyatal où des occurrences de Sb sont connues
<b>Pérou</b>	Minera Halcon de Gorgor	Minera Halcon de Gorgor	2,5 Mt @ 1,85 % Sb (2007)	Province du Cajatambo

Tableau 16 : Quelques projets d'exploration présentant un potentiel prometteur en antimoine (Roskill, 2007, sites web des compagnies).

## 5. La filière industrielle

### 5.1 DU MINERAI AU MÉTAL : ÉTAPES DE LA TRANSFORMATION

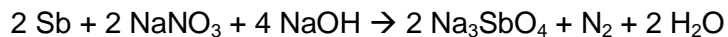
#### 5.1.1 Métallurgie de l'antimoine

Les procédés métallurgiques visant à obtenir les produits semi-finis que sont l'antimoine métal, l'antimoniate de sodium ainsi que le trioxyde d'antimoine diffèrent en fonction de la source initiale : plomb brut (ou plomb d'œuvre), minerai oxydé ou minerai sulfuré.

##### ***À partir du plomb d'œuvre***

Le traitement pyrométallurgique des concentrés de plomb permet d'obtenir le plomb d'œuvre (ou brut) qui contient des impuretés dont les teneurs sont très variables selon les minerais. Cu, As, Sn, Sb, Bi, Ag sont les principales.

Lors de l'affinage, le procédé Harris va permettre de séparer le plomb de l'arsenic, l'antimoine et l'étain. Il s'agit d'une oxydation par du nitrate de sodium  $\text{NaNO}_3$  dans de la soude. Des sels insolubles se forment alors qu'il devient possible de séparer (Blazy et Jdid, 2011) :



Les particules en suspension de  $\text{Na}_3\text{SbO}_4$  sont ensuite traitées afin d'obtenir l'antimoniate de sodium ( $\text{NaSbO}_3$ ). L'américain Asarco (Grupo Mexico) a également développé un procédé de cristallisation sélective de Pb et Sb qui permet également d'obtenir de l'antimoniate de sodium ou de l'antimoine métal (USAC, 2011).

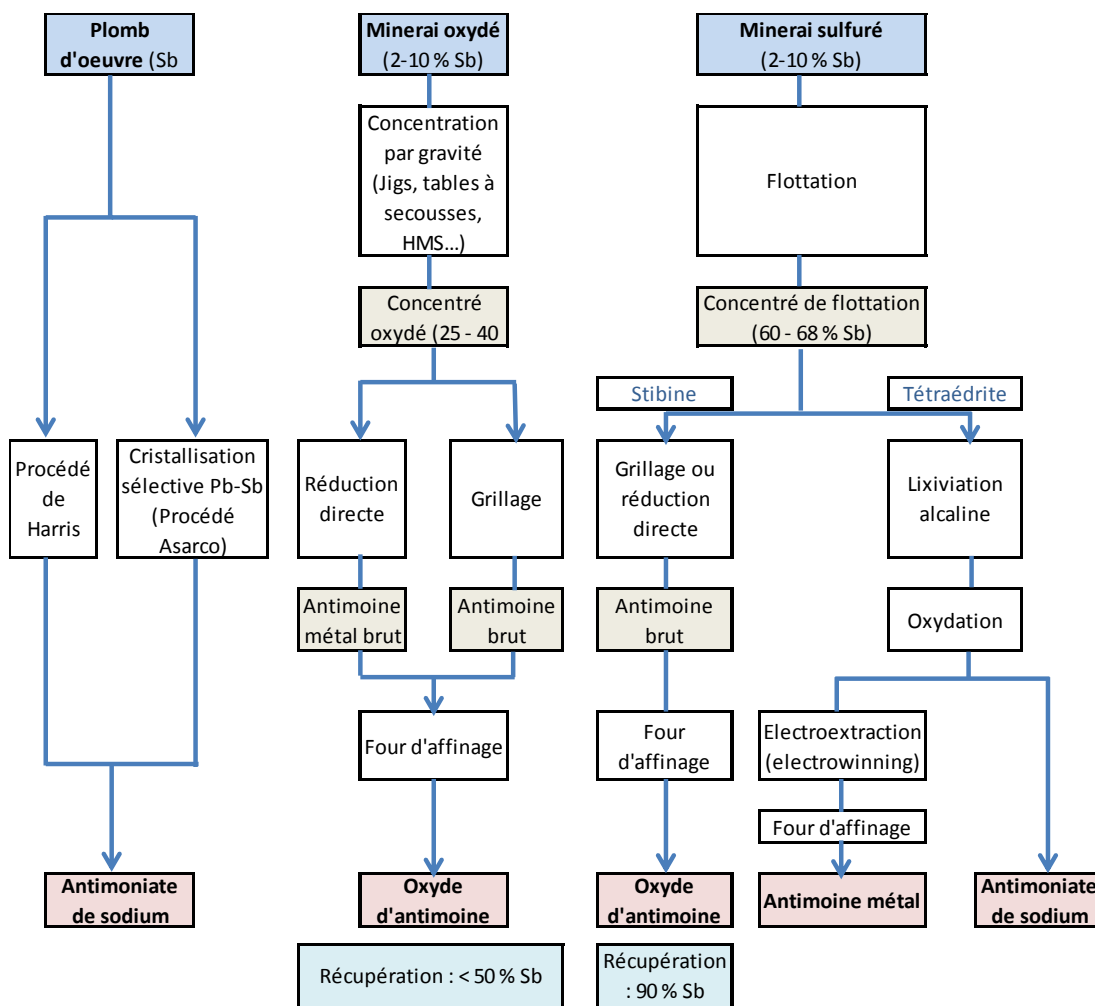
##### ***À partir du minerai sulfuré***

Le broyage suivi de la flottation du minerai sulfuré permet d'obtenir un concentré titrant entre 60 et 68 % Sb. Ensuite, différents procédés sont mis en œuvre en fonction du principal porteur d'antimoine. Généralement, un concentré à tétraédrite est traité par lixiviation alcaline suivie d'une oxydation. L'antimoniate de sodium peut alors être obtenu directement, ou alors une électro-extraction suivie d'un affinage permet de récupérer l'antimoine métal. L'obtention de trioxyde d'antimoine par grillage ou réduction directe suivie du raffinage du concentré à stibine possède les meilleurs rendements avec une récupération moyenne de 90 %. La mise en place ainsi que l'enchaînement des différents traitements dépend cependant de la forme d'antimoine souhaitée en fin de procédé, comme le précise l'US Antimony Corp (USAC, 2011).

### À partir du minerai oxydé

La concentration par gravité (jigs, tables à secousses...) du minerai oxydé permet d'obtenir un concentré titrant entre 25 et 40 % Sb. La réduction directe ou le grillage de ce concentré suivis d'un raffinage abouti à la récupération de trioxyde d'antimoine avec un rendement faible, < 50 %. L'antimoine métal brut peut également être raffiné afin d'obtenir les teneurs commerciales > 99,65 % Sb.

Le diagramme suivant présente les principales voies de traitement adoptées en fonction du type de minerai. Il existe, cependant, de très nombreuses variantes et combinaisons de ces techniques en fonction des spécificités du minerai et des caractéristiques recherchées dans le produit final (USAC, 2011).



HMS: Heavy media separators

Figure 21 : Principales voies métallurgiques de récupération d'antimoine à partir des différents types de minerais (USAC, 2011).



### 5.1.2 Pollution et environnement

En mai 2011, l'Association Internationale de l'Antimoine et le consultant spécialisé dans l'évaluation des risques des produits chimiques ARCHE (Assessing Risks of Chemicals) ont publié leur évaluation PBT (Persistence, Bioaccumulative, Toxicity) de l'antimoine.

La réglementation REACH prévoit l'évaluation PBT des substances organiques uniquement, ce qui inclut les organométaux. Bien que la totalité des composés de l'antimoine soient inorganiques, l'étude leur a été étendue.

- **Persistence** : Bien qu'en tant que métal, l'antimoine ne se dégrade pas dans les conditions naturelles, il présente un coefficient de partage moyen dans les matières en suspension et est rapidement éliminé des colonnes d'eau. Le critère de persistance n'est donc pas retenu.
- **Bioaccumulation** : Les valeurs de bioconcentration (BCF) dans les organismes aquatiques sont nettement inférieures à la norme limite. Il n'y a, de plus, aucune indication que l'antimoine se concentre de manière accrue le long de la chaîne alimentaire. Le critère de bioaccumulation n'est donc pas retenu.
- **Toxicité** : Le critère de toxicité peut être retenu dans la réglementation REACH dans le cas de substances cancérigènes de catégorie 1A ou 1B (impact cancérigène avéré). Le trioxyde d'antimoine est considéré comme substance cancérigène de catégorie 3 par inhalation, ce qui est bien en dessous des seuils.

L'évaluation PBT des composés de l'antimoine est donc négative, ce qui implique qu'ils ne relèvent pas de la réglementation REACH (Oorts, 2011).

En 2001, l'Agence Américaine pour la Protection de l'Environnement a indiqué que les principales sources de pollution urbaine en antimoine sont la combustion des carburants des automobiles, les centrales énergétiques ainsi que les incinérateurs, et non les producteurs ou fabricants d'antimoine ou de produits dérivés. Les usines américaines ont relâché en moyenne **900 t/an d'antimoine** sous toutes ses formes entre 1987 et 1993 avant de se concentrer préférentiellement dans les sols en association avec des composés ou minéraux à Al, Fe ou Mn (Butterman et Carlin, 2004).

Les préoccupations européennes et japonaises sont cependant grandissantes autour des rejets de Sb des produits en fin de vie non recyclés (pigments, stabilisateurs à la chaleur et retardateurs de flamme pour les plastiques). Les stabilisateurs alternatifs sont donc de plus en plus utilisés, que ce soit à Ca-Zn en Europe ou à Sn aux États-Unis et au Japon. Les efforts pour bannir l'utilisation des retardateurs de flamme halogénés (auxquels l'antimoine est associé) en Europe de l'ouest se poursuivent également (Butterman et Carlin, 2004).

Lors de sa métallurgie, une attention particulière devra être portée sur le devenir des métaux qui accompagnent souvent Sb, comme **l'arsenic et le mercure**.

## 5.2 LES PRODUCTEURS D'ANTIMOINE

### 5.2.1 Europe

Il n'y a pas de production minière ou de concentrés d'antimoine en Europe, mais elle est l'un des principaux producteurs mondiaux de  $Sb_2O_3$ .

**Campine NV** (Belgique) ([www.campine.be](http://www.campine.be)) produit et commercialise des suspensions colloïdales de  $Sb_2O_5$  ainsi que du  $Sb_2O_3$  sous différentes qualités (pour applications catalytiques) et différentes formes (poudres et granulés) à partir d'antimoine métal brut importé de Chine et de VietNam. Son distributeur exclusif en France est Clematech sarl basé à Thoméry (77). En 2005, il a produit 9 625 t de  $Sb_2O_3$ , en baisse par rapport aux 12 500 t produites en 2000.

**Umicore Precious Metals Refining** (Belgique) ([www.preciousmetals.umicore.com](http://www.preciousmetals.umicore.com)) est le plus gros producteur mondial d'antimoniate de sodium avec une capacité de production de 6 000 t/an en 2005. Ils sont leaders sur le marché du recyclage de déchets complexes d'où ils valorisent des métaux précieux (Au, Ag, Pt, Pd, Rh, Ir, Ru), des métaux spéciaux (In, Se, Te), des métaux secondaires (Sb, Sn, Bi) ainsi que des métaux de base (Pb, Cu, Ni).

**SICA** (France) ([www.sica-chauny.com](http://www.sica-chauny.com)) La Société Industrielle et Chimique de l'Aisne, filiale du groupe belge Sudamin, est le plus gros producteur européen de  $Sb_2O_3$ . Il est vendu sous forme de poudres, de dispersions (Sicadisp, Sicapaste et Sicastab) et de mélanges-maîtres (Sicabatch et Sicamaster) à trioxyde d'antimoine seul ou avec d'autres composants pour créer des formules ignifugeantes complètes. Jusqu'en 2000, SICA produisait également de l'antimoine métal. La société ne publie pas ses données de production, mais selon Roskill (2007), elle aurait produit environ 5 000 t de  $Sb_2O_3$  en 2005.

**SPCL** (France) ([www.pcdlucette.com](http://www.pcdlucette.com)) Société des Produits Chimiques de la Lucette est également filiale du belge Sudamin. Basée au Genest St Isle (53), elle produit une large gamme de produits à base d'antimoine : TRIOX (oxydes d'antimoine en poudre), PLASTRIOX (mélange de TRIOX avec un ou plusieurs additifs), POLYTRIOX (mélanges maîtres plastique extrudé de TRIOX et additifs), antimoniate de sodium (poudre), trisulfure d'antimoine (morceaux ou poudre) ainsi que du régule (Sb métal en lingots ou morceaux). Les trois premiers produits sont destinés à l'élaboration des retardateurs de flamme,  $NaSbO_3$  est produit pour l'industrie verrière tandis que  $Sb_2S_3$  est vendu aux fabricants de plaquettes de frein comme lubrifiant. En 2005, elle aurait produit 4 000 t de  $Sb_2O_3$  (Roskill, 2007).

**Glencore International AG** (Italie) ([www.glencore.com](http://www.glencore.com)) possède la raffinerie de plomb et de zinc de Portovesme (Sardaigne) depuis 1999. Actuellement arrêté pour cause de maintenance, le site aurait produit environ 500 t  $Sb_2O_3$  en 2005, principalement à partir d'importation de  $Sb_2O_3$  de France (31 %), de Chine (29 %) et de Belgique (27 %) (Roskill, 2007).

## 5.2.2 Ex-CEI

**JSC Kazzink** (Kazakhstan) ([www.kazzinc.com](http://www.kazzinc.com)) exploite plusieurs gisements à plomb zinc qui contiennent 0,01 à 0,02 % Sb : Chelmar et Zyryanovskoe dans la région de Vostochno-Kazakhstansky. Les concentrés de Pb sont raffinés à l'usine Ust-Kamenogorsk. Kazzink commercialise un concentré d'antimoine à 40 % Sb, 0,74 % Pb, 0,60 % Sn et 0,20 % As. Elle produit également des alliages de Pb, dont certains contiennent de l'antimoine, à partir de concentrés domestiques et d'anciennes batteries.

**JSC Kadamzhai antimony combine** (Kirghizstan) possède une raffinerie (du même nom) dans la région d'Osh au sud du pays dont la capacité de production était estimée en 2005 à 20 000 t/an de Sb (contenu) sous forme de Sb métal, de Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ainsi que d'autres composés. Les concentrés servant de matière première provenaient, au moins jusqu'en 2003, exclusivement de concentrés produits dans la CEI, essentiellement en Russie, au Tajikistan ainsi que localement à partir des gisements de Kadamzhaiskoye et de Tereksaïskoye. Des concentrés chinois sont à présent importés (Roskill, 2007).

**Geo Pro Mining** (Russie) ([www.geopromining.com](http://www.geopromining.com)) a acquis en 2008 le gisement à Au-Sb de Sarylakh qui jusqu'en 2002, était exploité par JSC Sarylakh-surma. Elle a été fermée en 2002 en raison des forts coûts de transport qui étaient nécessités entre la mine et les centres de production. C'est elle qui fournit traditionnellement les matières premières à Kadamzhai (Kirghizstan). En 2002, les réserves prouvées restant étaient de 30 kt Sb, soit un tiers des 92 kt initiales. À présent, GeoProMining a remis le gisement en exploitation et produit un concentré à Sb enrichi en Au.

**Ryaztvetmet Corp** (Russie) ([www.rzcm.ru](http://www.rzcm.ru)) produisait jusqu'au début des années 2000 de l'antimoine primaire. Basée à Ryazan au centre de la Russie, elle se concentre désormais sur la production secondaire de plomb antimonieux à partir des anciennes batteries. En 2005, avec une capacité de production de 40 000 t/an, elle représentait plus des 2/3 de la production secondaire de la Russie (62 000 t/an).

**Anzob GOK** (Tadjikistan) est le seul producteur de concentrés de Sb du Tadjikistan, pays qui abrite les plus grandes réserves en antimoine de la CEI (290 kt Sb de réserves prouvées). Il exploite les gisements de Dzhizhikrutskoe et de Scalnoe et détient celui de Uchkado à Au-Ag-Zn-Sb-Pb non encore développé. Tandis que ses concentrés étaient en priorité à destination de Kadamzhai (Kirghizstan), elle a commencé à exporter vers la Chine en 2002 (750 t Sb exportées en 2002, puis 2 850 t en 2005).

## 5.2.3 Amériques

**Comité Boliviano de Productores de Antimonio** (Bolivie) représente les petites mines boliviennes d'antimoine ainsi que les coopératives. En 2005, ces petites mines ont assuré 80 % de la production primaire de Bolivie (3 200 t sur les 4 000 t totale), les 20 % restants provenant des mines moyennes (800 t en 2005). Les concentrés sont traités à la fonderie d'Empresa El Molina ou exportés en Chine, ou plus accessoirement, en Italie et au Brésil. Deux compagnies boliviennes représentent les

mines moyennes : **COMISAL** (Cia Minera Salinas) et **EMUSA** (Empresa Minera Unificada SA).

**Minas de Guatemala** (Guatemala) est l'unique producteur d'antimoine du pays. 6 mines sont exploitées au NW du pays (Ixtahuacan) dont la production minière était évaluée à 800 t en 2005. Avant 2000, les concentrés et  $Sb_2O_3$  produits étaient exportés aux États-Unis, au Japon et en Europe, mais ils sont à présent seulement à destination du Mexique.

**Doe Run Peru** (Pérou) ([www.doerun.com.pe](http://www.doerun.com.pe)) exploite la mine de cuivre de Cobriza dont le minerai est ensuite traité sur son complexe métallurgique de La Oroya. Elle produit une large gamme de produits de métaux de base et précieux, dont de l'antimoine métal > 97,5 % Sb sous forme de morceaux. En 2005, la production minière de la compagnie était chiffrée à 714 t Sb.

**Antimonio de México SA de CV** (Mexique) ([www.usantimony.com](http://www.usantimony.com)) est une filiale de l'américain Us Antimony Corp (USAC). Les trois gisements voisins à Sb et Ag qui constituent « Los Juarez », Queretaro, sont en cours de développement. Une nouvelle usine de flottation devrait entrer en production au cours du 3<sup>e</sup> trimestre 2011 et permettrait de traiter les minerais de Los Juarez et de Soyatal. Le groupe détient également la fonderie de Madero.

**US Antimony Corp** (États-Unis) ([www.usantimony.com](http://www.usantimony.com)) détient la dernière fonderie qui produit de l'antimoine aux États-Unis à Thomson Falls dans le Montana. Sur une capacité de production annoncée de 5 000 t  $Sb_2O_3$  / an, elle n'en aurait produit que 1 500 t en 2006 selon l'USGS. Elle pourrait également produire 2 500 t / an Sb métal et ce, principalement à partir de concentrés importés de Chine, du Mexique et de plusieurs autres pays d'Amérique Latine. De l'argent, de l'or, du plomb, du cuivre et du bismuth sont valorisés comme sous-produits.

**Teck** (Canada) ([www.teck.com](http://www.teck.com)), basée à Vancouver, est la plus grande compagnie canadienne intégrée depuis la mine, le traitement du minerai jusqu'à la métallurgie. Elle exploite 13 mines entre le Canada, les États-Unis, le Pérou et le Chili et possède le complexe métallurgique de Trail (Colombie-Britannique) qui traite des concentrés de plomb et de zinc et en valorise les métaux mineurs associés. Des batteries au plomb ainsi que des composés électroniques en fin de vie y sont également recyclées. Elle commercialise, de plus, de l'antimoniate de sodium.

#### 5.2.4 Asie

**Hunan Non-Ferrous Metals Corp** (Chine) est le plus gros producteur mondial de produits antimonieux. En 2006, il a racheté **Xikuangshan Shanxing Antimony Co.** qui opérait sur le complexe de Lengshuijiang, Hunan. Les installations permettent de traiter les concentrés issus des 2 mines situées sur le complexe, dont les productions étaient évaluées à respectivement 7 000 et 4 600 t Sb contenu pour la Mine du Nord et la Mine du Sud en 2004, ainsi que d'autres concentrés extérieurs.

**Hunan Chenzhou Mining Co.** (Chine) ([www.hncmi.com](http://www.hncmi.com)) exploite trois mines à ciel ouvert près de Huaihua dans la province d'Hunan. En 2004, sa production de concentré de 10 606 t aurait représenté 8,5 % de la production nationale. La fonderie s'approvisionne également auprès d'autres sources locales ou d'importations.

**Liuzhou China Tin Group Co.** (Chine), basée dans le Guangxi, déclare posséder les réserves en antimoine les plus importantes de Chine. Dans ses 2 mines principales, Gaofeng et Tongkeng de la région de Dachang, l'antimoine est récupéré comme co-produit de l'étain. En 2004, le groupe a sorti 300 000 t de minerai de la mine de Gaofeng à partir desquelles 7 950 t Sb métal ont été récupérées.

**China Minmetals Co.** (Chine) ([www.minmetals.com](http://www.minmetals.com)) est une importante compagnie minière et métallurgique chinoise basée à Pékin. Elle procède également à la commercialisation de ses produits de spécialité à travers ses installations à travers le monde. Sa filiale spécialisée dans les métaux non-ferreux (Minmetals Non-Ferrous Metals Co. Ltd.) produit et commercialise des composés de Cu, Al, W, Terres Rares, Pb, Zn, Sn, Ni, In, Ag sous différentes formes ainsi que des lingots d'antimoine métal et des oxydes d'antimoine.

**Nihon Seiko** (Japon) ([www.nihonseiko.co.jp](http://www.nihonseiko.co.jp)) est le principal producteur japonais de trioxyde d'antimoine, réalisant 93 % de la production du pays en 2005 (7 270 t Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> brut). Elle s'approvisionne très majoritairement auprès de la Chine à qui la société achète des poudres d'antimoine métal.

**Özdemir Antimony Mining JSC** (Turquie) ([www.antimuan.com](http://www.antimuan.com)) est le plus grand producteur turc d'antimoine et le seul mineur actif à la fin 2011 (la filiale Haliköy Antimony Works de la société d'Etat Etimine ne semble plus exister, tandis que la maison mère se concentre à présent sur le bore). Ses installations, dans le district de Turhal (province du Tokat), comprennent une mine souterraine, une usine de flottation ainsi qu'une usine métallurgique. La compagnie vend ainsi des concentrés de Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> (> 70 % Sb), du Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ainsi que de l'antimoine métal. Non-ferrous Metal Works of the World estiment la capacité de production de la société à 824 t/an Sb métal et à 505 t/an Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Roskill, 2007).

### 5.2.5 Afrique

**Metorex Ltd** (Afrique du Sud) ([www.metorexgroup.com](http://www.metorexgroup.com)) détient la mine et les installations de Murchison depuis le rachat de Murchison Consolidated en 1997. Il s'agit du seul producteur d'antimoine du pays, s'appuyant sur un gisement dont les réserves prouvées atteignaient les 81,4 kt @ 1,56 % Sb et 1,84 g/t Au ainsi que des réserves probables de 1 204 kt @ 1,87 % Sb et 2,28 g/t Au. En plus du gisement en exploitation, Meteorex a identifié 14 prospects minéralisés Sb-Au sur sa propriété. Sur l'année 2005-2006, la société a produit 5 763 t Sb. En septembre 2010, Meteorex a annoncé la séparation des activités « Murchison » de la maison mère au profit d'une nouvelle structure nommée « Cons Murch Mine (pty) Ltd ». Elle est détenue à 74% par TTP et à 26 % par le Cons Murch Black Economic Empowerment Trust (« the BEE Trust »).

## 5.2.6 Océanie

**Ancoa NL** (Australie) a acheté à Straits Resources le projet d'or et d'antimoine de Hillgrove Gold situé près d'Armidale, en Nouvelles Galles du Sud. La mine, exploitée depuis 1880, a produit 720 000 oz Au et 50 kt Sb. La production, suspendue en 2001, devait reprendre en 2007 après la mise en place de nouvelles installations. Cependant la succession de problèmes techniques ainsi que des résultats de production bien en dessous des capacités envisagées ont contraint Straits Resources à arrêter à nouveau la production en 2009.

**Mandalay Resources Corp** (Australie) ([www.mandalayresources.com](http://www.mandalayresources.com)) possède la mine à Au-Sb de Costerfield, Victoria. Une récente évaluation des ressources (30/12/2010) des ressources mesurées de 122 kt @ 14,2 g/t Au et 8,6 % Sb, soit un contenu métallique de 56 000 oz Au et 10,5 kt Sb.

## 5.3 DU MÉTAL AU PRODUIT FINI : ÉTAPES AVAL DE LA FILIÈRE

### 5.3.1 Les acteurs français

#### *Fournisseur*

**Azélis** ([www.azelis.com](http://www.azelis.com)), anciennement Groupe Arnaud, est le leader européen de la distribution de composés chimiques de spécialité. Son pôle « Industries Chimiques », basé à Paris, propose une large gamme de composés chimiques de base (comme Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), de spécialité, de performance et destinés à l'électronique (comme de l'antimoine MBE ou du trioxyde d'antimoine 5N<sup>10</sup>).

#### *Électronique et Défense*

Les entreprises des secteurs de l'aéronautique, de l'électronique et de la défense comme **Safran** ([www.safran-group.com](http://www.safran-group.com)), **Thalès** ([www.thalesgroup.com](http://www.thalesgroup.com)), **MDBA** ([www.mdba-systems.com](http://www.mdba-systems.com)) utilisent des composés d'antimoine (alliages, lubrifiant, antimoniure d'indium comme semi-conducteur destiné à la vision infra-rouge, etc.).

#### *Industrie automobile*

Les constructeurs automobiles comme **Renault** ([www.renault.fr](http://www.renault.fr)) ou **PSA** ([www.psa-peugeot-citroen.com](http://www.psa-peugeot-citroen.com)) utilisent de l'antimoine sous forme d'oxyde Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Comme retardateur de flamme (éventuellement via des équipementiers), en alliage avec le plomb dans les batteries, comme lubrifiant dans des procédés d'usinage, ainsi que dans certains alliages (il s'agirait de quelques grammes d'antimoine par véhicule).

---

<sup>10</sup> Le nombre de « N » traduit la pureté du métal en correspondant au nombre de « 9 » : 5N = 99,999 % Sb, 6N = 99,9999 % Sb, etc.

## **Industrie du verre et de la céramique**

**Saint-Gobain** ([www.saint-gobain.fr](http://www.saint-gobain.fr)) utilise de l'antimoine pour l'affinage de ses verres blancs (écrans plats notamment) dans ses installations en Allemagne et en Chine vraisemblablement. Il n'en utiliserait pas en France.

### **5.3.2 Autres acteurs européens**

**Aurubis** (Allemagne) ([www.aurubis.com](http://www.aurubis.com)) traite, sur son site de Hambourg, une grande variété de déchets cuivreux et plombés riches en métaux précieux. Le plomb, le bismuth, l'antimoine et le tellure sont ainsi séparés puis vendus sous forme de plomb d'œuvre, d'alliages Pb-Bi ainsi que de concentrés d'antimoine et de tellure.

**PPM Pure Metals** (Allemagne) ([www.pmpuremetals.de](http://www.pmpuremetals.de)) est une filiale du groupe Recyclex (ex-Metaleurop). Les activités « métaux spéciaux » du groupe européen sont localisées sur les sites allemands de Langelshiem (PPM Pure Metals GmbH) et d'Osterwieck (Reinstmetalle Osterwieck GmbH). De l'antimoine métal de haute pureté (5N et 6N) est vendu pour l'élaboration des semi-conducteurs InSb ainsi que du trichlorure d'antimoine (5N) qui intervient dans la préparation d'autres composés de l'antimoine.

**EcoBat Technologies** (Royaume-Uni) ([www.ecobatgroup.com](http://www.ecobatgroup.com)) est une multinationale basée au Royaume Uni (Matlock, Derbyshire). Leader mondial dans la production de plomb et d'alliages au plomb, la compagnie procède au recyclage des batteries au plomb en circuit fermé. Plus de 80 % de sa production est issue du recyclage. Elle possède 17 installations réparties entre l'Autriche, l'Allemagne, l'Italie, la France, le Royaume-Uni, l'Afrique du Sud ainsi que les États-Unis. Ses trois filiales françaises sont la STCM (Société de Traitement Chimique des Métaux, [www.stc-metaux.com](http://www.stc-metaux.com), située à Bazoches-Les-Gallerandes (45) et à Toulouse), APSM SAS (Affinerie de Pont Sainte Maxence (60), [www.apsm.fr](http://www.apsm.fr)) et Le Plomb Français ([www.leplombfrancais.fr](http://www.leplombfrancais.fr), située à Estrées-Saint-Denis (60)). Si les deux premières travaillent pour la collecte et le recyclage des batteries au plomb, la dernière filiale, Le Plomb Français, est spécialisée dans le plomb laminé à destination du BTP majoritairement et ne manipule donc pas forcément d'antimoine.

**Mining & Chemical Products (MCP)** (Belgique) ([www.mcp-group.com](http://www.mcp-group.com)) est une filiale du canadien 5N Plus ([www.5nplus.com](http://www.5nplus.com)) depuis avril 2011. Elle est basée à Tilly (Belgique) et possède des installations en Allemagne, en Chine, aux États-Unis et en Angleterre ainsi que des bureaux de vente en France (Livron sur Drôme, 26), en Espagne, au Pérou et en Russie. Spécialisée dans l'élaboration d'alliages possédant un point de fusion bas, elle commercialise également des concentrés de métaux mineurs (Bi, Te, In, Se...) dont de l'antimoine de pureté 2N65 (99,65 % Sb) à 5N/6N (sous forme de grenaille ou de lingots).

**Wafer Technology** (Royaume-Uni) ([www.wafertech.co.uk](http://www.wafertech.co.uk)) est une filiale du groupe IQE ([www.iqep.com](http://www.iqep.com)) basé à Cardiff, Pays de Galles. À son installation de Milton Keynes (Angleterre), elle produit de l'antimoine 7N ainsi que d'autres métaux de haute

pureté (In, Al, As, Ga). Elle propose également des substrats et composés semi-conducteurs comme GaSb et InSb.

### 5.3.3 Les principaux acteurs dans le reste du monde

**Chemtura** (États-Unis) ([www.chemtura.com](http://www.chemtura.com)) est l'un des leaders mondiaux dans les composés chimiques de spécialité, basée à Philadelphie. Elle commercialise une large gamme de produits, dont certains contiennent de l'antimoine : catalyseurs à trioxyde d'antimoine pour le PET, retardateurs de flamme et suppresseurs de fumée. Les activités ayant trait à l'ignifugation font partie de l'unité Great Lakes Solutions de Chemtura.

**Amspec Chemical Corp** (États-Unis) ([www.amspec.net](http://www.amspec.net)) est l'un des principaux fournisseurs mondiaux de composés chimiques à base d'antimoine ainsi que de catalyseurs de polymérisation et de d'organométaux basée à Bear dans le Delaware. Elle propose toute une gamme de retardateurs de flamme (différentes qualités de  $Sb_2O_3$  ou formules complètes  $Sb_2O_3$ -composés halogénés), des additifs pour explosifs à base d'antimoine ainsi que des additifs antimonieux utilisés lors de l'exploitation pétrolière et du raffinage.

**Polymet Commodities Ltd** (Chine) ([www.polymett.com](http://www.polymett.com)) est une entreprise internationale spécialisée dans les composés chimiques, les métaux, les minéraux et les produits phytosanitaires. Basée à Shanghai, ses installations sont réparties entre la Mongolie Intérieure et le Shandong et elle possède également des bureaux ou des représentants en Amérique, en Afrique, en Asie et au Moyen-Orient. Elle commercialise des métaux de haute pureté, comme In, Bi, Ga, Te et Sb (4N à 6N).

**Nyacol** (États-Unis) ([www.nyacol.com](http://www.nyacol.com)) produit des retardateurs de flamme à base de pentoxyde d'antimoine sous forme de solutions colloïdales ou de poudres non dispersibles. Plus chers que les moyens d'ignifugation classiques à  $Sb_2O_3$ , ils trouvent des applications de niches : l'utilisation du BurnEx™6220 permet, par exemple, de réduire la charge en pigments et ainsi que conserver la couleur originelle.

**China Antimony Chemicals Co.** (Chine) ([www.chinaantimony.com.cn](http://www.chinaantimony.com.cn)) est une filiale de Minmetals Non-Ferrous Metals Co. (China Minmetals). Elle est spécialisée dans l'élaboration de la gamme de trioxyde d'antimoine BrightSun® utilisés comme retardateurs de flamme ou catalyseurs lors de l'élaboration des PET. Les dernières informations concernant cette société datent d'août 2008.

**Asahi Glass Co.** (Japon) ([www.agc.com](http://www.agc.com)) est une multinationale basée à Tokyo qui dispose des trois branches verre, affichage et produits chimiques. Elle est l'un des principaux producteurs mondiaux de verres CRT, notamment grâce à ses filiales en Chine (Shanghai Asahi Electronic Glass), à Singapour (Asahi Technovision) et en Thaïlande (Siam Asahi Technoglass). La société affirme n'utiliser ni antimoine, ni arsenic dans la conception de certains verres pour écrans plats ainsi que dans ses tubes de rétro-éclairage pour écrans LCD. Il semble, cependant, très probable que l'antimoine entre dans la fabrication d'autres produits de gamme moins élevée.



**Voyager Company Group** (Russie) ([www.antimony.ru](http://www.antimony.ru)) est un regroupement de sociétés russes spécialisées dans la filière antimoine depuis l'extraction jusqu'à la commercialisation de produits intermédiaires, notamment soutenue par la Chambre d'Industrie et de Commerce de la Fédération de Russie. Ils proposent plusieurs qualités d'antimoine métal (ainsi que de l'arsenic et du sélénium métaux), différents alliages (Pb-Sb, Pb-As) ainsi qu'une gamme de composés chimiques (trioxyde, trisulfure ou triacétate d'antimoine, thioantimoniate de sodium...). Sur certains produits (non précisés), Voyager affirme assurer 60 à 80 % du marché de Russie et de la CEI. Les dernières mises de leur site internet datent, cependant, de 2003.



## 6. Commerce extérieur de la France

Le tableau 17 récapitule les quantités et valeurs de l'antimoine, les minerais d'antimoine, d'ouvrages en antimoine et de déchets d'antimoine importés et exportés par la France en 2009, 2010, et pour les 12 mois Décembre 2010-Novembre 2011 tels que publiés par les douanes françaises (le kiosque du Ministère des Finances, <http://lekiosque.finances.gouv.fr/>).

Ces chiffres publiés par « le kiosque » n'incluent pas les matériels militaires. Ils n'incluent pas non plus produits antimoniés contenus dans les objets manufacturés importés (tels que par exemple l'oxyde d'antimoine contenu dans les isolants de fils et câbles électriques des appareils électriques et électroniques importés).

On constate que le poste « antimoine » est un poste déficitaire du commerce extérieur français, d'une amplitude croissante, de 27,3 M€ de déficit de janvier à décembre 2009 à 73,0 M€ de décembre 2010 à novembre 2011, liée en grande partie à l'augmentation du prix de l'antimoine. 98 % de ce déficit est dû à l'importation d'antimoine brut de Chine.

	2009		2010		Dec2010-Nov2011	
	Valeur	Masse	Valeur	Masse	Valeur	Masse
<b>26171000 - Minerais d'antimoine et leurs concentrés</b>						
<b>Exportations</b>						
Belgique	1 k€	0 t	1 k€	0 t	1 k€	0 t
Turquie	0 k€	0 t	0 k€	0 t	76 k€	148 t
Inde	0 k€	0 t	375 k€	113 t	0 k€	0 t
<b>Total</b>	<b>1 k€</b>	<b>0 t</b>	<b>376 k€</b>	<b>113 t</b>	<b>77 k€</b>	<b>148 t</b>
<b>Importations</b>						
Belgique	82 k€	14 t	123 k€	101 t	163 k€	14 t
Espagne	37 k€	10 t	0 k€	0 t	0 k€	0 t
Chine	7 k€	2 t	0 k€	0 t	432 k€	50 t
USA	20 k€	0 t	1 k€	0 t	1 k€	0 t
Autres pays	0 k€	0 t	0 k€	0 t	1 k€	0 t
<b>Total</b>	<b>146 k€</b>	<b>26 t</b>	<b>124 k€</b>	<b>101 t</b>	<b>597 k€</b>	<b>64 t</b>
<b>81101000 - Antimoine sous forme brute; poudres d'antimoine</b>						
<b>Exportations</b>						
Allemagne	33 k€	4 t	12 k€	2 t	20 k€	2 t
Belgique	17 k€	4 t	246 k€	33 t	0 k€	0 t
Espagne	5 k€	0 t	492 k€	72 t	66 k€	7 t
Italie	0 k€	0 t	0 k€	0 t	13 k€	1 t
Roumanie	11 k€	2 t	11 k€	3 t	0 k€	0 t
Royaume-Uni	6 k€	0 t	6 k€	0 t	9 k€	0 t
Suède	14 k€	0 t	1 k€	0 t	0 k€	0 t
Maroc	54 k€	9 t	134 k€	16 t	169 k€	15 t
Algérie	0 k€	0 t	60 k€	7 t	0 k€	0 t
Israël	0 k€	0 t	0 k€	0 t	25 k€	1 t
Syrie	56 k€	14 t	0 k€	0 t	0 k€	0 t
Turquie	16 k€	0 t	0 k€	0 t	0 k€	0 t
Chine	7 k€	0 t	33 k€	0 t	21 k€	0 t
Japon	0 k€	0 t	32 k€	0 t	0 k€	0 t
Autres pays	0 k€	0 t	16 k€	0 t	16 k€	0 t
<b>Total</b>	<b>219 k€</b>	<b>33 t</b>	<b>1 043 k€</b>	<b>133 t</b>	<b>339 k€</b>	<b>26 t</b>
<b>Importations</b>						
Russie	0 k€	0 t	1 497 k€	243 t	0 k€	0 t
Kirghizstan	1 193 k€	332 t	1 804 k€	367 t	0 k€	0 t
Chine	23 620 k€	6 673 t	47 335 k€	7 960 t	71 990 k€	7 564 t
Thaïlande	185 k€	50 t	1 478 k€	290 t	290 k€	50 t
Vietnam	1 103 k€	325 t	86 k€	20 t	0 k€	0 t
Autres pays	1 045 k€	301 t	1 132 k€	185 t	412 k€	29 t
<b>Total</b>	<b>27 146 k€</b>	<b>7 681 t</b>	<b>53 332 k€</b>	<b>9 065 t</b>	<b>72 692 k€</b>	<b>7 643 t</b>
<b>81109000 - Ouvrages en antimoine</b>						
<b>Exportations</b>						
Pays-Bas	3 k€	1 t	0 k€	0 t	0 k€	0 t
USA	13 k€	0 t	0 k€	0 t	0 k€	0 t
Iran	0 k€	0 t	0 k€	0 t	10 k€	1 t
Chine	0 k€	0 t	118 k€	11 t	0 k€	0 t
Japon	0 k€	0 t	97 k€	1 t	0 k€	0 t
<b>Total</b>	<b>16 k€</b>	<b>1 t</b>	<b>215 k€</b>	<b>12 t</b>	<b>10 k€</b>	<b>1 t</b>
<b>Importations</b>						
Allemagne	2 k€	0 t	12 k€	0 t	145 k€	16 t
Suède	0 k€	0 t	26 k€	3 t	0 k€	0 t
Suisse	0 k€	0 t	4 k€	0 t	0 k€	0 t
USA	283 k€	0 t	0 k€	0 t	0 k€	0 t
Autres pays	6 k€	0 t	0 k€	0 t	1 k€	0 t
<b>Total</b>	<b>291 k€</b>	<b>0 t</b>	<b>42 k€</b>	<b>3 t</b>	<b>146 k€</b>	<b>16 t</b>
<b>81102000 - Déchets et débris d'antimoine</b>						
<b>Exportations</b>						
<b>Total</b>	<b>0 k€</b>	<b>0 t</b>	<b>0 k€</b>	<b>0 t</b>	<b>0 k€</b>	<b>0 t</b>
<b>Importations</b>						
Italie	0 k€	0 t	5 k€	0 t	5 k€	0 t
Royaume-Uni	3 k€	0 t	0 k€	0 t	0 k€	0 t
<b>Total</b>	<b>3 k€</b>	<b>0 t</b>	<b>5 k€</b>	<b>0 t</b>	<b>5 k€</b>	<b>0 t</b>
<b>Total antimoine, minerai, ouvrages et déchets d'antimoine</b>						
<b>Total exportations</b>	<b>236 k€</b>		<b>1 634 k€</b>		<b>426 k€</b>	
<b>Total importations</b>	<b>27 586 k€</b>		<b>53 503 k€</b>		<b>73 440 k€</b>	

Tableau 17 : Statistiques françaises d'import-export d'antimoine, de minerai, d'ouvrages et de déchets d'antimoine. Données CAF-FAB hors matériel militaire.

Source : <http://lekiosque.finances.gouv.fr>

## 7. Criticité

La criticité de l'antimoine est résumée comme suit (Fig.22).

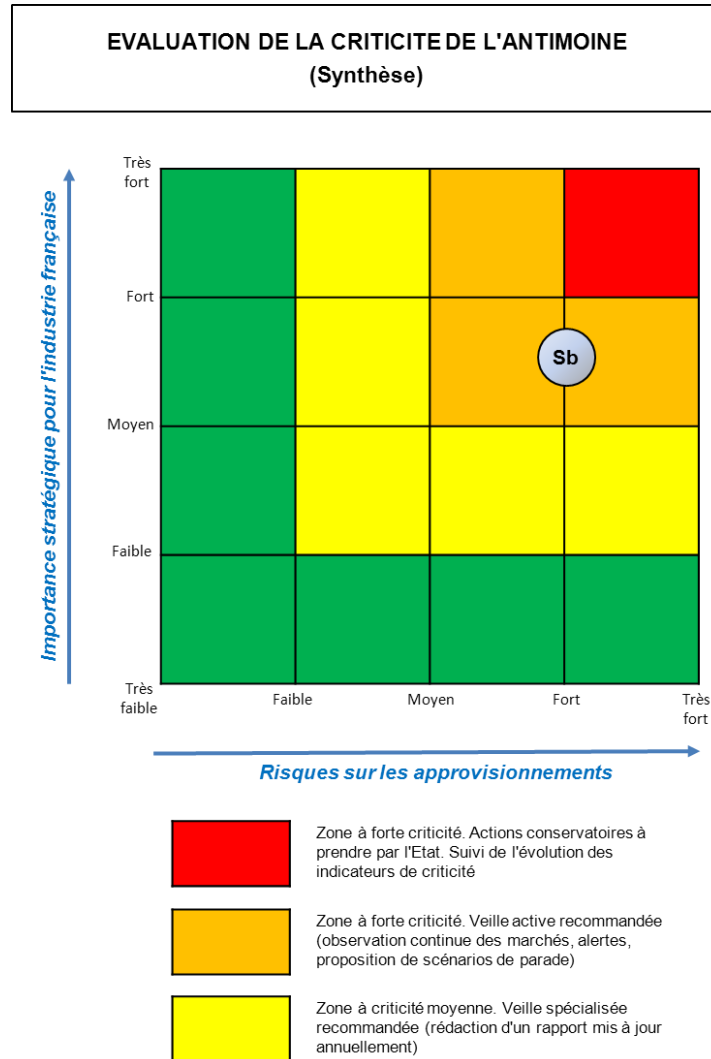


Figure 22 : Synthèse de la criticité de l'antimoine.



## 8. Bibliographie

**Ad-hoc Working Group (European Commission, 2010)** - Critical raw materials for the EU : Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials, 2010, 53 p et 5 annexes

**Angerer G., Erdmann L. et al.** (2009) - Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung / Institut für Zukunfts studien und Technologiebewertung, 83 p.

**Bisson M. et al.** (2007) - Antimoine et ses dérivés : Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, Rapport INERIS-DRC-03-47020-03DD050, avril 2007, 54 p., disponible en ligne : <http://www.ineris.fr/substances/fr/substance/410>

**Blazy P., Jdid E.A.** (2011) - Métallurgie du plomb : Procédés classiques et ressources primaires, *in* Techniques de l'ingénieur M 2264v2, septembre 2011, 12 p.

**British Geological Survey** (2011) - Risk list 2011, 9 p, disponible en ligne : [www.mineralsuk.com](http://www.mineralsuk.com)

**Brown T.J. et al.** (BGS, 2011) - European Mineral Statistics 2005-2009, 2011, 358 p.

**Brown T.J. et al.** (BGS, 2011) - World Mineral Production 2005-2009, 2011, 118 p.

**Butterman W.C. et Carlin J.F. Jr** (USGS, 2004) - Mineral Commodity Profiles: Antimony, Open file report 03-019, 2004, 35 p., disponible en ligne : <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/antimony/>

**Carlin J.F Jr** (USGS, 2011) - 2010 Minerals Yearbook: Antimony, 2011, 9 p., disponible en ligne : <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/antimony/>

**Carlin J.F Jr** (USGS, 2011) - 2010 Mineral Commodity Summaries: Antimony, 2011, 2 p., disponible en ligne : <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity /antimony/>

**Carlin J.F Jr** (USGS, 2011) - Mineral Industry surveys: Antimony, 2011, disponible en ligne : <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/antimony/>

**Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec** (2010) - Les composés retardateurs de flamme, 2010, disponible en ligne : [http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/analyses/nouv\\_para\\_org.htm](http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/analyses/nouv_para_org.htm)

**Chang K.** (1941) - Native antimony of Lamo, Nantan, Kuangsi *in* Bulletin de la Société Géologique de Chine n° 21, avril 1941, p. 59-66.

**Gentilhomme P., Angel J.M.** (2008) – Annuaire Statistique Mondial des Minerais et Métaux (AS3M). BRGM – Société de l'Industrie Minérale, 306 p.

**Guiollard P.C** (1995) - La Mine d'or et d'antimoine de La Lucette, Mayenne, juin 1995, 116 p.

**Guiollard P.C.** (2009) - L'Industrie minière de l'antimoine et du tungstène – Emergence, prospérité et disparition des exploitations de France métropolitaine aux XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles, thèse soutenue pour l'obtention du grade de Docteur en Histoire, décembre 2009, 536 p. et 2 ann.

**International Agency for Research on Cancer** (1999) - IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 47 : Some Organic Solvents, Resin Monomers and related compounds, pigments and occupational exposures in paint manufacture and painting, avril 1999, 22 p., téléchargeable en ligne : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol47/volume47.pdf>

**International Chemical Safety Cards** (2006) - Programme International sur la Sécurité des Substances Chimiques, page sur l'antimoine, octobre 2006, disponible en ligne : <http://www.cdc.gov/niosh/ipcsneng/neng0775.html>

**Japan Times** (2011) - Surprise antimony deposit turns up in shallower seabed off Kagoshima, 23/10/2011, disponible en ligne : <http://www.japantimes.co.jp/text/nn20111023a3.html>

**Jébrak M., Marcoux E.** (2008) - Géologie des ressources minérales, 2008, 667 p.

**Laznicka P.** (2010) - Giant Metallic Deposits : Future Sources of Industrial Metals, 2010, 848 p.

**Metal Pages** (2011) - Japan to study possibility of undersea antimony mine, 25/04/2011, disponible en ligne : <https://www.metal-pages.com/news/story/53832/japan-to-study-possibility-of-undersea-antimony-mine>

**Moyroud B., Féraud J., Bornuat M., Ziserman A.** (1979) - Ressources minières françaises – Tome 6 – Les gisements d'antimoine (situation en 1979). Étude réalisée par le BRGM sous l'égide du Comité de l'inventaire des ressources minières métropolitaines, 1979, 121 p.

**Oorts K.** (2011) - Position paper on PBT properties of antimony, Arche Consulting, International Antimony Association (I2A), mai 2011, 6 p., disponible en ligne : [http://www.antimony.be/publications/docs/Position\\_paperPBT\\_antimonyJune2011.pdf](http://www.antimony.be/publications/docs/Position_paperPBT_antimonyJune2011.pdf)

**Peters S., Jiazhan H., Zhiping L., Chenggui J.** (2002) - Introduction to and Classification of Sedimentary Rock-Hosted Au Deposits in P.R. China, USGS Open-File Report: 02-131, 2002, 60 p. disponible en ligne : [http://pubs.usgs.gov/of/2002/of02-131/chapters/OF02-131\\_chapter1.pdf](http://pubs.usgs.gov/of/2002/of02-131/chapters/OF02-131_chapter1.pdf)

**Raw Material Group** (2011) - Raw Material Data (base de données).

**Roskill Information Services** (2007) - The Economics of Antimony, tenth edition, 2007, 231 p., 1 ann.



**Roskill Information Services** (2011) - Rare Earths & Yttrium: Market Outlook to 2015, 492 p., 5 ann.

**Société Chimique de France** (2011) - L'antimoine, page mise à jour en mai 2011, disponible en ligne : <http://www.societechimiquedeFrance.fr/extras/Donnees/metaux/anmoine/cadamoi.htm>

**Strategic Metal Report** (2010) - Antimony market report, août 2010, disponible en ligne : <http://strategic-metal.typepad.com/strategic-metal-report/2010/08/antimony-market-report-august-2010.html>

**U.S Antimony Corporation** (2011) - Processing of antimony ores – Metallurgy, 2011, disponible en ligne : <http://www.usantimony.com/metallurgy.htm>

**U.S. Geological Survey** (2005) - Antimony end-use statistics, in Kelly, T.D., and Matos, G.R.comps., Historical statistics for mineral and material commodities in the United States: U.S. Geological Survey Data Series 140, disponible en ligne : <http://pubs.usgs.gov/ds/2005/140/>

**U.S. Geological Survey** (2010) - Antimony supply-demand statistics, in Kelly, T.D., and Matos, G.R.comps., Historical statistics for mineral and material commodities in the United States: U.S. Geological Survey Data Series 140, disponible en ligne : <http://pubs.usgs.gov/ds/2005/140/>

**U.S. Geological Survey** (2011) - Mineral Resources Data System (MRDS), disponible en ligne : <http://tin.er.usgs.gov/mrds/>

**USGS Denver Inclusion Analysis Laboratory** (2011) - Relation and significance of stibnite veins to giant Ag veins in the Coeur d'Alene district, Idaho and Montana, 2011, disponible en ligne : [http://minerals.cr.usgs.gov/dial/Coeur\\_dAlene\\_Ag.html](http://minerals.cr.usgs.gov/dial/Coeur_dAlene_Ag.html)

**Weber L. et al.** (BMWFJ, 2011) - World Mining Data, Volume 26, Minerals Production, 2011, 337 p.



**Centre scientifique et technique**  
**Service Ressources Minérales**  
3, avenue Claude-Guillemin  
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34