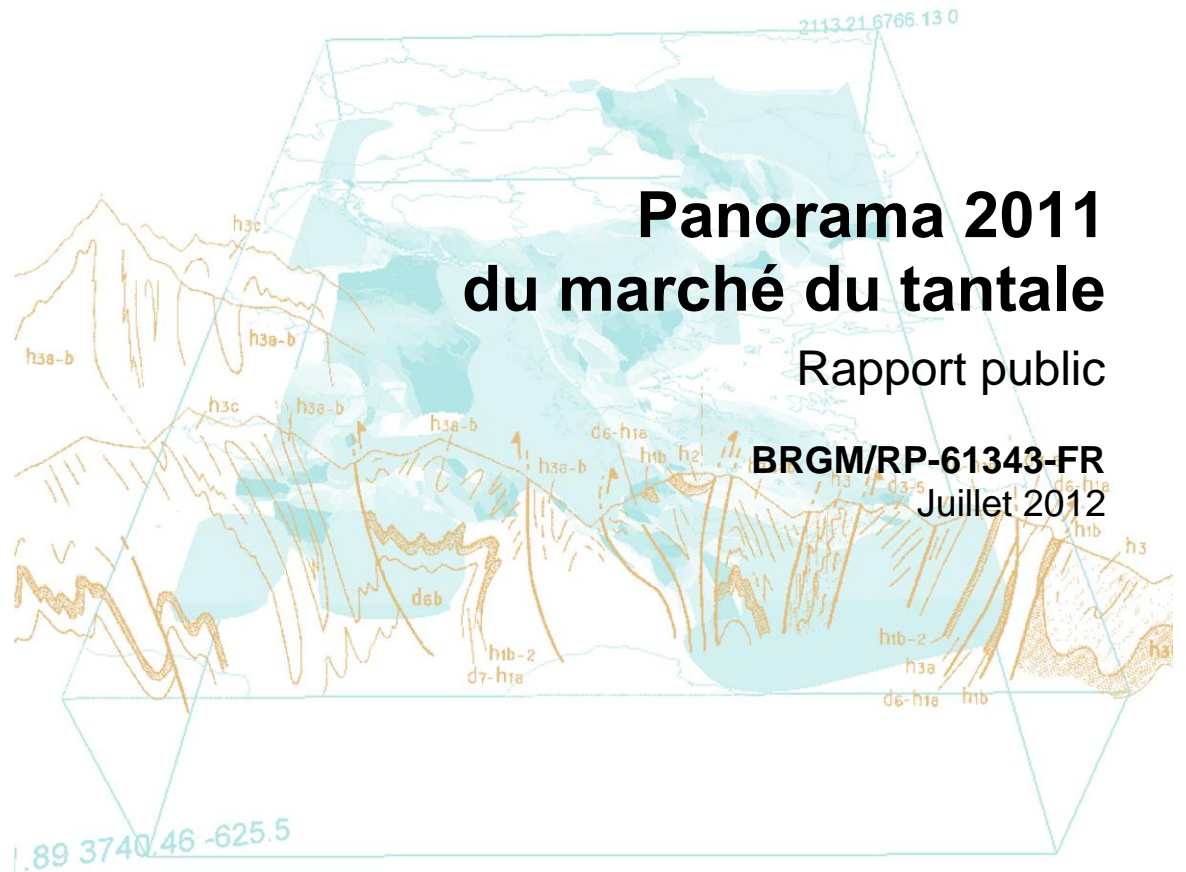


Document public



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**



Document public

# Panorama 2011 du marché du tantale

Rapport public

**BRGM/RP-61343-FR**

Juillet 2012

**AS. Audion, P. Piantone**

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**

**Mots-clés :** Tantale, 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 AS., PIANTONE P.**, avec la collaboration extérieure de la Compagnie Européenne d'Intelligence Stratégique (CEIS) (2011) - Panorama 2011 du marché du tantale. Rapport Public. BRGM/RP-61343-FR, 91 p., 20 fig., 15 tabl., 1 annexe confidentielle

© BRGM, 2012, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Résumé

Le tantale est un élément métallique qui se présente dans les conditions ordinaires sous forme d'un solide gris-bleu, dense, malléable et ductile. Avec une abondance moyenne de 1,8 ppm, le tantale se place au 51<sup>ème</sup> rang de la distribution des éléments présents dans la croûte terrestre.

### **Propriétés et usages**

Le tantale est un bon conducteur de chaleur et d'électricité. Il est malléable (obtention de fines feuilles par battage) et ductile (possibilité de l'étirer en fils fins). À une température inférieure à 250°C, il est totalement réfractaire à l'attaque à l'eau régale ( $\text{HNO}_3 + 3 \text{HCl}$ ). Sa température de fusion est très élevée. Il possède le quatrième plus haut point de fusion parmi les métaux après le tungstène (W), le rhénium (Re) et l'osmium (Os).

Le tantale est majoritairement utilisé dans la fabrication de condensateurs (60 % de la consommation) à destination de l'électronique automobile, des téléphones mobiles, des ordinateurs ainsi que de tous les équipements électroniques sans fil. Il entre également dans la conception de superalliages pour les moteurs des avions, les turbines à gaz et les réacteurs nucléaires. Il est aussi utilisé dans les équipements industriels exposés aux hautes températures et à la corrosion, les outils de coupe ainsi que les implants pour la chirurgie orthopédique en raison de sa biocompatibilité.

### **Substituabilité**

En raison d'une cristallographie proche, le tantale peut être substitué par le niobium pour un certain nombre d'applications, notamment dans les secteurs exposés à la corrosion et aux hautes températures. Dans les superalliages, il sera préférentiellement remplacé par du vanadium ou du molybdène. Actuellement, les efforts de recherches se portent sur l'aluminium et les céramiques comme substituts, mais il n'est à l'heure actuelle pas remplaçable dans certaines applications chirurgicales de précision, comme les pacemakers.

### **Ressources**

Les principales ressources économiques exploitées pour le tantale se rencontrent dans les coupoles granitiques ainsi que dans les pegmatites qui concentrent tout un cortège d'éléments rares : Li, Nb, Rb, Cs, Be. Il est souvent exploité en co-produit des gisements de niobium et de lithium.

Les principaux minéraux de tantale exploités sont le microlite, la tantalite, la colombo-tantalite, la colombite, la wodginite, la struvérite (rutilé tantalière) et la loparite (groupe de la pérovskite).

Outre de nombreuses pegmatites en cours d'évaluation dans les régions nordiques de l'Europe et en Irlande, six principales zones porteuses de Sn, Ta et Li ont été identifiées en Europe moyenne et méridionale, dont le district français d'Échassières (Allier).

### **Production**

Si les gîtes et indices de tantale sont nombreux et bien répartis à échelle mondiale, la production est concentrée sur trois continents: l'Océanie (Australie : 40 % de la production mondiale en 2008), l'Amérique du Sud (Brésil : 17 %) et l'Afrique (23 %). La production de tantale à partir de scories d'étain (minerai de cassitérite ou retraitement des résidus miniers stannifères) est particulièrement développée en Asie (Thaïlande et Malaisie) ainsi que, dans des proportions moindres, au Brésil.

Très peu de données statistiques sont disponibles concernant la production et la consommation de tantale. Les chiffres sont en effet rarement publiés par les sociétés productrices et une large part de la production est d'origine artisanale (Région des Grands Lacs, Afrique centrale). En 2010, la production minière mondiale de tantale était évaluée à 487 t par la Tantalum-Niobium International Study Center (TIC), à 670 t par l'United States Geological Survey (USGS) et à 800 t par le British Geological Survey (BGS).

La consommation annuelle mondiale de tantale raffiné se situe aux environs de 2 000 t/an (1 600 t en 2009 et 2 500 t en 2008). Après avoir connu une croissance importante au début des années 2000, cette consommation s'est ralentie depuis 2008.

### **Recyclage**

Le tantale, de même que le niobium, peut être recyclé à partir des déchets et des rebuts métalliques. Cette source secondaire représenterait entre 300 et 400 t de métal selon la TIC. L'usage du tantale dans les composés électroniques est cependant dispersif et rend leur recyclage délicat.

### **Prix**

Le tantale, métal mineur, n'est pas coté dans des grandes bourses telles que celle de Londres (London Metal Exchange). Les prix sont établis de manière confidentielle entre le producteur et le vendeur. Les valeurs du marché exposées dans la littérature sont basées sur des entretiens avec les acheteurs, vendeurs et des commerçants. Le prix varie selon la nature du produit fini, du contenu en tantale et de l'assiette du contrat. Le prix moyen des concentrés de tantale en 2011 est d'environ 265 \$/kg, de 530 \$/kg pour les oxydes et sels de tantale et de 660 \$/kg pour les poudres à usage dans les condensateurs.

Le cours du tantale est cependant très volatil et soumis aux effets de crise (en 2000 avec le boom de la demande pour la téléphonie portable, en 2008 avec la fermeture des mines australiennes).

### ***Les acteurs français***

Kaolins de Beauvoir, filiale du groupe français Imerys, produit des concentrés à Sn-Ta-Nb en sous-produit de l'exploitation du kaolin d'Échassières (03). Environ 55 t/an de concentré à une teneur de 10 % Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sont produites.

Il n'y a pas de producteur de tantale affiné en France. Il est consommé principalement sous forme de tantale allié (superalliages) pour l'aéronautique et la défense, de tantale métal pour les prothèses, les applications chirurgicales, et enfin du tantale sous forme de poudre d'oxyde pour l'optique et, très ponctuellement, pour l'électronique.

Firadec est le seul fabricant français de condensateurs au tantale. Il exporte aujourd'hui plus de 45 % de sa production mais reste largement dépendant de l'importation de poudres de tantale. La filiale française de l'américain Vishay, Tantalum Capacitors, produit également des condensateurs au tantale.

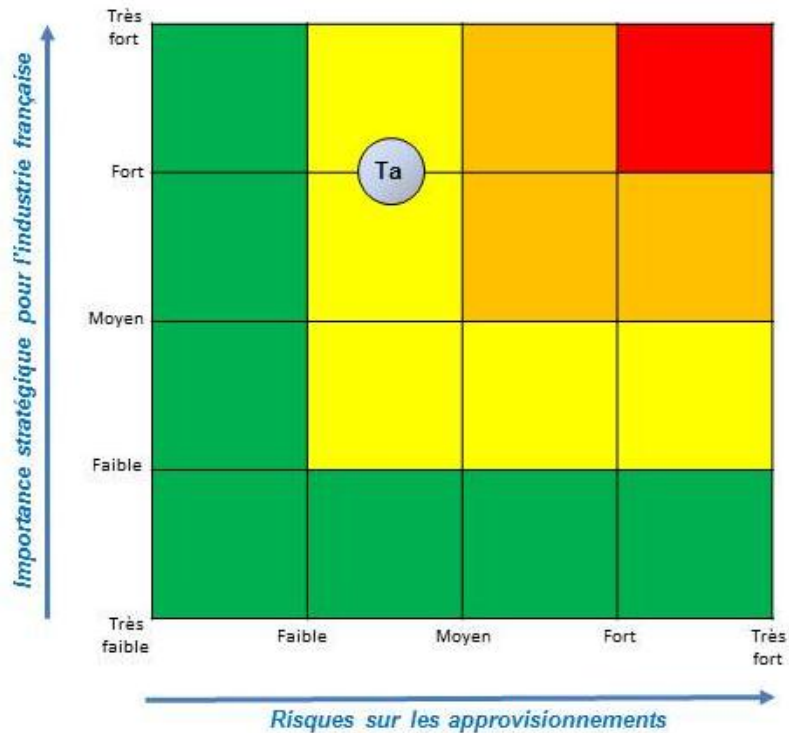
Les industriels français de l'aéronautique et de la défense sont consommateurs d'alliages au tantale, comme Airbus, Safran, Thalès (Alenia Space et Avionique), EADS Astrium, Dassault, Sagem ou encore MBDA.

Mersen produit des équipements industriels et anticorrosion à base de tantale dans son usine en Allemagne ainsi que des composés chimiques et pharmaceutiques tantalifères.

Sofradir, est pionnier de la technologie de dépôt de couches ultra-fines par jet moléculaire.

## Criticité

### EVALUATION DE LA CRITICITE DU TANTALE (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>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. Le Tantale .....</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 .....                                | 20        |
| <b>3. La demande : usages et consommation.....</b>                          | <b>21</b> |
| 3.1 USAGES DU TANTALE PAR DOMAINES .....                                    | 21        |
| 3.1.1 L'électronique.....   | 22        |
| 3.1.2 Les superalliages .....   | 24        |
| 3.1.3 Les outils de découpe .....   | 25        |
| 3.1.4 L'électrochimie .....   | 26        |
| 3.1.5 Les autres applications métallurgiques.....                           | 26        |
| 3.2 USAGES DU TANTALE PAR COMPOSÉS.....                                     | 27        |
| 3.3 SUBSTITUTIONS.....  | 29        |
| 3.4 PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION À MOYEN<br>TERME .....      | 29        |
| 3.5 PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES USAGES DANS LES PROCHAINES<br>ANNÉES ..... | 32        |
| 3.5.1 L'électronique.....   | 32        |
| 3.5.2 Les superalliages .....   | 33        |
| 3.5.3 Les autres applications.....  | 34        |
| <b>4. L'offre : ressources et production mondiale.....</b>                  | <b>37</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.1 LES SOURCES DE TANTALE .....                              | 37        |
| 4.1.1 Abondance du tantale dans l'écorce terrestre.....       | 37        |
| 4.1.2 Minéraux et minerais .....                              | 38        |
| 4.1.3 Principaux types de gisements .....                     | 39        |
| 4.2 RESSOURCES ET RÉSERVES.....                               | 40        |
| 4.2.1 Gisements et potentiel en France.....                   | 40        |
| 4.2.2 Ressources mondiales en tantale.....                    | 44        |
| 4.2.3 Commentaires sur les ressources et réserves.....        | 51        |
| 4.3 PRODUCTION : DONNÉES RÉCENTES ET ACTUELLES.....           | 51        |
| 4.3.1 Production primaire .....                               | 52        |
| 4.3.2 Production secondaire.....                              | 56        |
| 4.4 PROCÉDÉS DE PRODUCTION.....                               | 57        |
| 4.4.1 Métallurgie du tantale .....                            | 57        |
| 4.4.2 Pollution et environnement .....                        | 60        |
| 4.5 RECYCLAGE .....   | 60        |
| 4.6 PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION .....           | 61        |
| <b>5. Prix du tantale.....</b>                                | <b>65</b> |
| 5.1 ÉVOLUTION RÉCENTE ET HISTORIQUE DES PRIX.....             | 65        |
| 5.2 PRÉVISIONS D'ÉVOLUTION DES PRIX .....                     | 67        |
| <b>6. Les acteurs industriels .....</b>                       | <b>69</b> |
| 6.1 LES PRODUCTEURS DE TANTALE .....                          | 69        |
| 6.1.1 Principaux exploitants.....                             | 69        |
| 6.1.2 Principaux affineurs de tantale .....                   | 70        |
| 6.1.3 Les principaux producteurs par continent .....          | 70        |
| 6.2 DU MÉTAL AU PRODUIT FINI : ÉTAPES AVAL DE LA FILIÈRE..... | 74        |
| 6.2.1 Les acteurs français .....                              | 74        |
| 6.2.2 Autres acteurs européens.....                           | 75        |
| 6.2.3 Les principaux acteurs dans le reste du monde.....      | 75        |
| <b>7. Commerce extérieur de la France .....</b>               | <b>79</b> |
| <b>8. Criticité.....</b>                                      | <b>83</b> |
| <b>Bibliographie.....</b>                                     | <b>85</b> |

## Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| Figure 1 : Localisation du Tantale (Ta) dans le tableau de Mendeleïev. ....  | 17 |
| Figure 2 : Répartition de la consommation mondiale de tantale par domaines d'application en 2008 (Rittenhouse International Resources, in Roskill, 2009). ....   | 21 |
| Figure 3 : Modèle de condensateur au tantale à électrolyte gélifié et boîtier tantale hermétique fabriqué par la société française Firadec (www.firadec.fr) (groupe Exxelia). ....                                   | 22 |
| Figure 4 : Condensateurs au tantale à électrolyte solide (à gauche) et à électrolyte gélifié (à droite) fabriqués par Firadec (www.firadec.fr). ....   | 22 |
| Figure 5 : Cibles de pulvérisation cathodique à tantale et alliage Ta-Al proposées par Sinomaterial RisingTech (www.sinomaterial.com). ....  | 23 |
| Figure 6 : Répartition de l'utilisation des superalliages par secteurs en 2006 (Département américain de la Défense, in Roskill, 2009). ....   | 24 |
| Figure 7 : Outils de découpe en carbure cémenté à base de tantale proposés par Robot Mining Equipment (www.rfplcarbide.com). ....  | 26 |
| Figure 8 : Implants orthopédiques de la gamme Trabecular Metal™ fabriqués par Zimmer : prothèse de genou à gauche et vertèbre de remplacement à droite (www.tmt.zimmer.com). ....                                    | 27 |
| Figure 9 : Répartition et évolution des expéditions des différents transformateurs de tantale membres du TIC entre 2002 et 2009, en t de Ta contenu (TIC, 2011 ; Schwela U. in Mining Journal, 09/2010) ....         | 30 |
| Figure 10 : Projections de croissance de la demande mondiale en tantale à l'horizon 2020 selon deux scénarios (RWI, 2007 et UNEP, 2009 in UNEP, 2009). ....  | 31 |
| Figure 11 : Estimation du nombre de moteurs délivrés par Rolls Royce sur les périodes 2009-2018 et 2019-2028 (Rolls Royce plc., 2009). ....  | 34 |
| Figure 12 : A gauche : Tantalite de Minas Gerais, Brésil, 8 cm ; à droite : microlite d'Amélia, Etats-Unis, 3,5 cm, collections du Muséum de Paris (©webmineral.brgm.fr). ....                                       | 38 |
| Figure 13 : A gauche, pegmatite à colombo-tantalite (noir) de Vilatte-Haute (Monts d'Ambazac) (www.geoforum.fr) ; à droite, concentré de coltan (Rubaya, RD Congo) (BRGM). ....                                      | 40 |
| Figure 14 : Localisation des gîtes et indices à tantale en France métropolitaine (BRGM, 2011). ....  | 43 |
| Figure 15 : Localisation des gîtes et indices à tantale en Guyane française (USGS-MRDS, 2011; BRGM, 2011). ....  | 44 |
| Figure 16 : Distribution relative des ressources et des réserves mondiales primaires de tantale (Moreno (JSI), 2011 ; BGS, 2011). ....   | 45 |
| Figure 17 : Age et localisation des principaux gisements de lithium-tantale identifiés en Europe moyenne et méridionale (d'après Franke (1992, 2000), Matte (2001), von Raumer et al. (2003) et Walter (2003)). .... | 46 |
| Figure 18: Principales mines et gisements à Ta et installations de traitement de tantale à travers le monde (BRGM ; USGS-MRDS ; BGS, 2011). ....   | 47 |

|  |    |
|--|----|
| Figure 19 : Répartition historique des différentes sources de tantale dans l'offre mondiale (TIC, 2012).....   | 52 |
| Figure 20 : Variation de la production primaire de tantale (t Ta métal) entre 1990 et 2009 selon le TIC, l'USGS et le BGS.....   | 52 |
| Figure 21 : Détail de la production primaire entre 2000 et 2009 (en t Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) : production à partir de concentrés primaires de Ta, d'autres concentrés et de scories d'étain (TIC bulletin n°145, 2011 ; TIC in Roskill, 2009)..... | 53 |
| Figure 22 : Evolution de la production minière de tantale par pays entre 2000 et 2009 (compilation de données des « Minerals Yearbooks » de l'USGS ; Roskill, 2009).....   | 54 |
| Figure 23 : Répartition de la production mondiale de tantale primaire par région en 2008 (USGS, 2009 ; Roskill, 2009).....   | 55 |
| Figure 24 : Obtention de concentrés de tantale à partir de minerai à microlite (pyrochlore) et à colombo-tantalite (adapté d'après BGS, 2011).....   | 58 |
| Figure 25 : Procédé simplifié pour obtenir le tantale et le niobium (pentoxydes et métaux) à partir des concentrés (d'après Albrech, 1989 in BGS, 2011). ....  | 59 |
| Figure 26 : Projection des prévisions de demande et de production sur les 4 prochaines années (Moreno (JSI), 2011). ....   | 63 |
| Figure 27 : Prix moyen annuel du tantale depuis 1940 en \$ courants calculé sur la base du kg de pentoxyde contenu dans les concentrés (Mineral Yearbook, USGS, 2011). ....  | 65 |
| Figure 28 : Evolution du prix du concentré à 30 % Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> et du tantale (99,8 % Ta) entre janvier 2001 et décembre 2011 (metallpages.com). ....   | 66 |

## Liste des tableaux

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1 : Formule générale et composition moyenne des principaux minéraux de tantale exploités (Fleicher et Mandarino, 1991 ; Roskill, 2009 ; <sup>(1)</sup> Mineralogy Database, 2009).....                     | 19 |
| Tableau 2 : Compositions typiques de plusieurs références de superalliages monocristallins au nickel (en % pondéral) ("Nickel Based Superalloys", H.K.D.H. Bhadeshia, Cambridge University in Roskill, 2010). .... | 25 |
| Tableau 3 : Principaux composés du tantale et leurs différents usages (Roskill, 2009). ....  | 28 |
| Tableau 4 : Substituts possibles au tantale dans ses différents usages (Papp, 2011 (USGS)). ....   | 29 |
| Tableau 5 : Estimations des besoins en différents métaux pour les condensateurs miniaturisés à l'horizon 2030 selon deux scénarios (Institut Fraunhofer, 2009). ....   | 32 |
| Tableau 6 : Abondance moyenne des éléments de la croûte terrestre.....   | 37 |
| Tableau 7 : Estimations des ressources et réserves primaires en tantale en 2010 (Moreno (JSI), 2011 ; BGS, 2011).....  | 45 |

|  |    |
|--|----|
| Tableau 8 : Ressources des principaux gisements mondiaux de tantale (Polak, 2009 ;<br>*Heidrich (DNPM), 2007).....   | 50 |
| Tableau 9 : Volumes de tantale vendus à partir du stock stratégique américain entre 1998<br>et 2009 (compiltation des « Mineral Commodity Summaries» de l'USGS ;<br>www.dnsc.dla.mil).....             | 57 |
| Tableau 10 : Evaluation du gisement de tantale collectable en France sur des données de<br>2008 (Monier et al., ADEME, 2010). ....   | 61 |
| Tableau 11 : Sélection de projets à Ta(-Nb) en développement (Moreno (JSI), 2011 ; BGS,<br>2011 ; Schwela, 2010 ; Roskill, 2009 ; sites web des compagnies). ....                                      | 62 |
| Tableau 12 : Principaux affineurs de tantale dans le monde (Roskill, 2009).....  | 70 |
| Tableau 13 : Principaux fournisseurs et fabricants de carbures cémentés (TIC, in Roskill,<br>2009). ....   | 77 |
| Tableau 14: Données du Commerce Extérieur de la France sur les composés tantalifères<br>entre 2009 et 2011 ( <a href="http://lekiosque.finances.gouv.fr">http://lekiosque.finances.gouv.fr</a> ). .... | 81 |



# 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 du tantale n'est pas toujours transparente et les données ouvertes peuvent être incomplètes et/ou sujettes à erreurs, intentionnelles ou non.

À noter que le tantale 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) (Shed, 2009, 2010, 2011) ;
- le document "The Economics of Tantalum, 10<sup>th</sup> edition 2009.", une étude spécialisée sur le tantale produite par Roskill Information Services Ltd en octobre 2009 ;
- le document "Niobium-Tantalum" publié par le British Geological Survey (BGS) en 2011 ;



- le document "Tantalum and Niobium Primer : Two Critical Metals" publié par Jacob Securities Inc;
- la documentation en ligne du « Tantalum-Niobium International Study Center » (TIC) : (<http://tanb.org/>)
- le rapport sur les matières premières stratégiques de la Commission Européenne, 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 le tantale dans les substances étudiées, mais il est inclus dans celles produites par le « Raw Materials Data ».

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



## 2. Le Tantale

### 2.1 DONNÉES DE BASE

Le tantale, de symbole chimique Ta et de numéro atomique 73, est un métal de transition appartenant au groupe 5 (VB) de la table de classification périodique des éléments.

C'est en 1802 que le chimiste et minéralogiste suédois Anders Gustaf Ekeberg (1767-1813) a découvert le tantale, bien qu'il aura fallu 50 ans aux scientifiques pour l'accepter et le décrire en tant que nouvel élément chimique indépendant du niobium. Son nom lui fut donné en référence au demi-dieu grec Tantale, connu pour son supplice, tandis que le nom de son élément voisin, le niobium, provient de Niobé, fils de Tantale dans la mythologie grecque.

|               |       |       |                   |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |       |       |       |
|---------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
|               | 1     | 2     | 3                 | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12     | 13     | 14     | 15     | 16    | 17    | 18    |
| 1             | 1 H   |       |                   |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |       |       | 2 He  |
| 2             | 3 Li  | 4 Be  |                   |       |       |       |       |       |       |       |       |        | 5 B    | 6 C    | 7 N    | 8 O   | 9 F   | 10 Ne |
| 3             | 11 Na | 12 Mg |                   |       |       |       |       |       |       |       |       |        | 13 Al  | 14 Si  | 15 P   | 16 S  | 17 Cl | 18 Ar |
| 4             | 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 |
| 5             | 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 |
| 6             | 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 |
| 7             | 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 du Tantale (Ta) dans le tableau de Mendeleïev.

## 2.2 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

Le tantale se présente dans les conditions ordinaires sous forme d'un solide métallique gris-bleu, dense, malléable (obtention de fines feuilles par battage), ductile (possibilité de l'étirer en fils fins) et très dur. Sa température de fusion est très élevée. Il possède le quatrième plus haut point de fusion parmi les métaux après le tungstène, le rhénium et l'osmium.

|  |                                    |
|--|------------------------------------|
| – Symbole :                                    | Ta                                 |
| – Numéro atomique :                            | 73                                 |
| – Masse atomique :                             | 180,9                              |
| – Densité:                                     | 16,65                              |
| – Dureté (échelle de Mohs) :                   | 6,5 (entre l'orthose et le quartz) |
| – Dureté Brinell :                             | 800 Mpa                            |
| – Point de fusion :                            | 3 017 °C                           |
| – Point d'ébullition :                         | 5 458 °C                           |
| – Abondance moyenne dans la croûte terrestre : | 1,8 ppm                            |

Avec une abondance moyenne de 1,8 ppm (g/t ou mg/kg), le tantale se place au 51<sup>ème</sup> rang de la distribution des éléments présents dans la croûte terrestre, dans des concentrations comparables à celles de l'uranium ou de l'arsenic.

Il possède deux isotopes naturels, dont le majoritaire (99,988 %), <sup>181</sup>Ta, est stable. <sup>180</sup>Ta (0,012 %) est métastable, mais sa radioactivité n'a jamais pu être observée en raison de sa très grande demi-vie dont une estimation basse serait de 10<sup>15</sup> ans. Six autres radio-isotopes synthétiques ont été élaborés, leurs demi-vies étant de quelques heures, voire de quelques jours au maximum.

## 2.3 PROPRIÉTÉS CHIMIQUES

Le tantale est très résistant à la corrosion par les acides. À une température inférieure à 250°C, il est totalement réfractaire à l'attaque à l'eau régale (HNO<sub>3</sub> + 3 HCl), mais il peut être dissout par un mélange d'acide fluorhydrique (HF) et d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) à 90 °C ou par la potasse (KOH). Sur les surfaces en contact avec l'air, un film d'oxyde résistant à la corrosion se forme.

96 minéraux tantalifères ont été identifiés dans le milieu naturel dont seule une occurrence de tantale sous sa forme native (Ta<sup>0</sup>) est reportée dans la littérature dans un champ de kimberlites en Sibérie (Pavlovskoe). Il s'agit d'une micro-inclusion. Les différentes familles de minéraux à Ta sont :

- **Oxydes** : C'est très majoritairement sous cette forme que se trouve le tantale, puisque 85 minéraux tantalifères sur les 96 recensés sont des oxydes. Du fait des grandes ressemblances cristallographiques entre Ta et Nb, la substitution de l'un par l'autre donne lieu à des séries minéralogiques isomorphes entre un pôle Ta et un pôle Nb, les proportions relatives de chacun des deux variant

entre ces deux extrêmes. C'est le cas pour la famille des colombo-tantalites (appelées « coltan » en Afrique Centrale) qui s'échelonnent entre le pôle tantalite ((Fe,Mn)Ta<sub>2</sub>O<sub>6</sub>) et le pôle colombite<sup>1</sup> ((Fe,Mn)Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub>) ainsi que la famille des pyrochlores (sens large) entre le pôle Ta microlite ((Na,Ca)<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>6</sub>(O,OH,F)) et le pôle Nb pyrochlore au sens strict ((Na,Ca)<sub>2</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub>(OH,F)). Des substitutions plus complexes mettant en jeu l'uranium, le titane et l'étain peuvent également se produire (Hogarth, 1989), ce qui explique qu'au sein d'un même gisement, la composition chimique fine n'est pas constante. Le tantale est également présent dans la série des euxénites-polycrases où il est fréquemment associé à l'uranium et à l'yttrium. La wodginite, la struvérite (rutile à Ta) et la loparite (groupe des pérowskites) sont les autres principaux oxydes de tantale.

- **Silicates** : Les silicates tantalifères sont rares et contiennent généralement moins de 1 % Ta en poids moléculaire. La holtite (Al<sub>6</sub>(Al,Ta)(BO<sub>3</sub>)[(SiO<sub>4</sub>,SbO<sub>4</sub>,AsO<sub>4</sub>)]<sub>3</sub>(O,OH)<sub>3</sub>) fait cependant exception avec 10,48 % Ta (soit 12,8 % Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).
- **Carbures** : Un cas de carbure de tantale (TaC) a été décrit dans le placer d'Avrorinskii (Oural, Russie).

| Groupe                                   | Formule  | Site A   | Site B                              |
|--|--|--|-------------------------------------|
| <b>Pyrochlore</b>                        | A <sub>1-2</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (O,OH,F).nH <sub>2</sub> O<br><i>Ta&gt;Nb et Nb+Ta&gt;2Ti</i> | Ba, Bi, Ca, Ce, Cs, K,<br>Na, Pb, Sb <sup>3+</sup> , Sn, Sr,<br>Th, U, Y, Zr | Fe, Nb, Sn, <b>Ta</b> ,<br>Ti, W    |
| <b>Tantalite</b>                         | AB <sub>2</sub> O <sub>6</sub>   | Fe, Mn   | <b>Ta</b> ,Nb                       |
| <b>Colombite</b>                         | AB <sub>2</sub> O <sub>6</sub>   | Fe, Mn   | Nb, <b>Ta</b>                       |
| <b>Wodginite</b>                         | A <sub>16</sub> O <sub>32</sub>  | Fe, Nb, Sn, <b>Ta</b> , Mn,  |                                     |
| <b>Struvérite</b>                        | AO <sub>2</sub>  | Ti, <b>Ta</b> , Fe <sup>3+</sup>   |                                     |
| <b>Loparite</b>                          | A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub>   | Ce, Na, Ca   | Ti, Nb, <b>Ta</b>                   |
| <b>Polycrase</b>                         | AB <sub>2</sub> O <sub>6</sub>   | Y, Ca, Ce, U, Th   | Ti, Nb, <b>Ta</b>                   |
| <b>Composition moyenne<sup>(1)</sup></b> |  |  |                                     |
|  | <b>Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %</b>   | <b>Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %</b>   | <b>TiO<sub>2</sub> %</b>            |
|  |  |  | <b>FeO %</b>                        |
|  |  |  | <b>MnO %</b>                        |
|  |  |  | <b>SnO<sub>2</sub> %</b>            |
|  |  |  | <b>Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %</b> |
| <b>Microlite</b>                         | 83,53  |  |                                     |
| <b>Tantalite</b>                         | 86,17  |  | 13,83                               |
| <b>Colombite</b>                         | 33,58  | 47,13  | 2,02                                |
| <b>Wodginite</b>                         | 93,09  |  | 9,10                                |
| <b>Struvérite</b>                        | 37,56  | 11,32  | 8,98                                |
| <b>Loparite</b>                          | Traces   | 16,15  | 4,47                                |
| <b>Polycrase</b>                         | 17,77  | 21,38  | 40,83                               |
| <b>Euxénite</b>                          | 22,53  | 47,43  | 12,24                               |
|  |  |  | 38,82                               |
|  |  |  | 25,70                               |
|  |  |  | 15,14                               |
|  |  |  | 20,15                               |

Tableau 1 : Formule générale et composition moyenne des principaux minéraux de tantale exploités (Fleicher et Mandarino, 1991 ; Roskill, 2009 ; <sup>(1)</sup>Mineralogy Database, 2009).

<sup>1</sup> La colombite est parfois également appelée columbite ou, plus rarement, niobite.

Le tantale forme également les composés synthétiques suivants :

- **Oxydes** : Le tantale forme essentiellement des oxydes avec des états d'oxydation tétravalents ( $TaO_2$ ) ou pentavalents ( $Ta_2O_5$ ), ce dernier étant plus stable. Il sert ainsi de produit de base pour la fabrication de composés dérivés du tantale, comme du tantalate de lithium ( $LiTaO_3$ ) ou de lanthane ( $LaTaO_4$ ).
- **Fluorures** : Les fluorures de tantale peuvent être utilisés pour séparer le tantale du niobium. Ta forme des composés halogénés avec des états d'oxydation +V, +IV et +III de type  $TaX_5$ ,  $TaX_4$ , et  $TaX_3$ .
- **Carbures** : Le carbure de tantale ( $TaC$ ) comme le carbure de tungstène ( $WC$ ), plus commun, constitue un composé très dur utilisé pour les outils de coupe. Les chimistes du laboratoire national de Los Alamos (USA) ont développé un composite tantale-graphite qui compte parmi les composés artificiels les plus durs synthétisés à ce jour.
- **Nitrures** : Le nitrure de tantale ( $TaN$ ) est utilisé comme film isolant dans certains procédés de microélectronique.
- **Aluminiures** : Deux aluminiures de tantale existent :  $TaAl_3$  et  $Ta_3Al$ . Ils ont des indices de réflexion et réfraction élevés et ont été proposés comme couche de surface pour des miroirs pour les ondes infrarouges.

## 2.4 PROPRIÉTÉS BIOLOGIQUES ET TOXICITÉ

Les minéraux de tantale (oxydes et silicates) sont inertes et n'ont pas d'incidence sur le milieu naturel. Le tantale présente une faible mobilité sous les climats hydrolysants (tropicaux humides) où il est contrôlé et piégé par les oxydes de titane néoformés.

Le tantale ne joue aucun rôle dans le cycle biologique et sa grande stabilité fait qu'il est couramment utilisé en chirurgie orthopédique et réparatrice, ainsi que comme traceur en radiographie sous forme de nanoparticules d'oxyde. Mais peu de choses sur ses effets sont détaillées. Un unique cas de tumeur cancéreuse (sarcome) a été présenté dans la littérature comme étant en relation avec des implantations dans les tissus animaux. Les sels de tantale sont considérés comme non toxiques car peu absorbés et rapidement éliminés par les voies naturelles.

Bien que l'oxyde de tantale soit inerte, son inhalation en fines particules provoque des pathologies pneumologiques (Kerwein, 1996).

### 3. La demande : usages et consommation

#### 3.1 USAGES DU TANTALE PAR DOMAINES

Le tantale est majoritairement utilisé dans la fabrication de condensateurs miniaturisés (48 % de la consommation mondiale en 2008) à destination de l'électronique automobile, des téléphones mobiles, des ordinateurs ainsi que de tous les équipements électroniques sans fil. Il entre également dans la conception de superalliages pour les moteurs des avions, les turbines à gaz et les réacteurs nucléaires. Il est aussi utilisé dans les équipements industriels exposés aux hautes températures et à la corrosion, les outils de coupe ainsi que les implants pour la chirurgie orthopédique en raison de sa biocompatibilité.

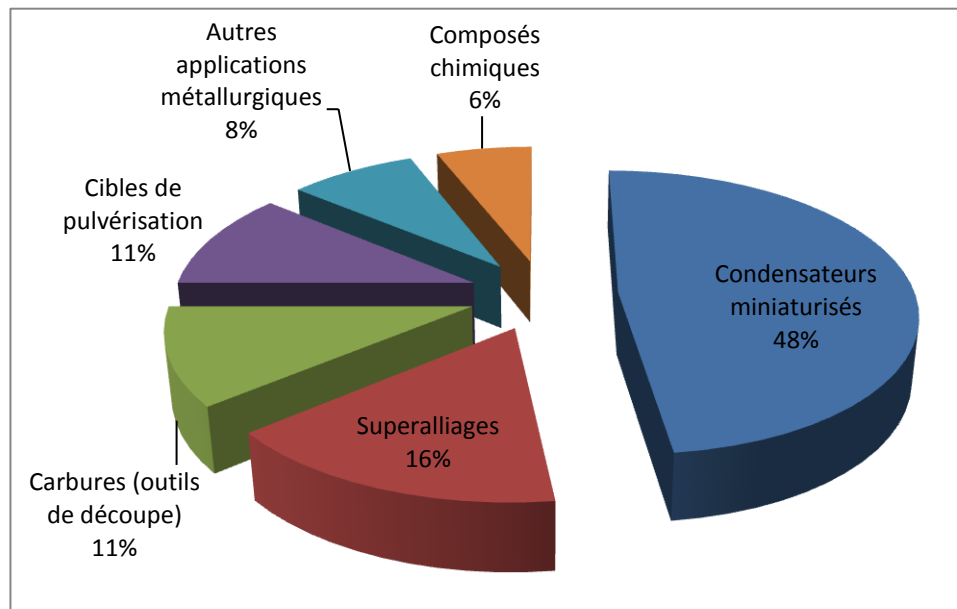


Figure 2 : Répartition de la consommation mondiale de tantale par domaines d'application en 2008 (Rittenhouse International Resources, in Roskill, 2009).

En 2008, l'électronique, à travers les condensateurs, est restée le principal secteur de consommation de tantale à travers le monde (48 %), marquant cependant un léger recul par rapport à 2005 où elle représentait 60 % de la consommation mondiale (Ad-Hoc Working Group, 2010). Aux États-Unis, les condensateurs représentaient plus de 60 % des usages du tantale en 2010 (USGS, 2011).

La consommation mondiale pour l'industrie se situait à 2 500 et 1 500 t de tantale métal respectivement pour 2008 et 2009 (TIC, 2011).

### 3.1.1 L'électronique

#### Les condensateurs miniaturisés

L'utilisation du tantale permet de fabriquer des condensateurs bien plus petits à capacité égale que les condensateurs classiques. Ils sont donc devenus indispensables pour l'électronique miniaturisée (appareils portatifs, électronique embarquée de voitures, ...).

Les condensateurs représentent l'utilisation principale du tantale dans le monde. Ce sont des condensateurs à électrolyte gélifié ou solide, dont le matériau diélectrique est une très fine couche d'oxyde de tantale ( $Ta_2O_5$ ), un matériau réfractaire dont la transformation se fait par frittage à très haute température. L'oxyde de tantale possède une permittivité élevée (26 contre 8,5 pour l'alumine) ce qui permet de réaliser des condensateurs de plus faible volume que ceux à base d'aluminium et de capacité identique, très fiables, robustes et utilisables entre  $-55$  et  $+125^\circ C$ . Par sa taille réduite et sa grande capacité, le condensateur au tantale tend donc à remplacer le condensateur électrolytique à aluminium.

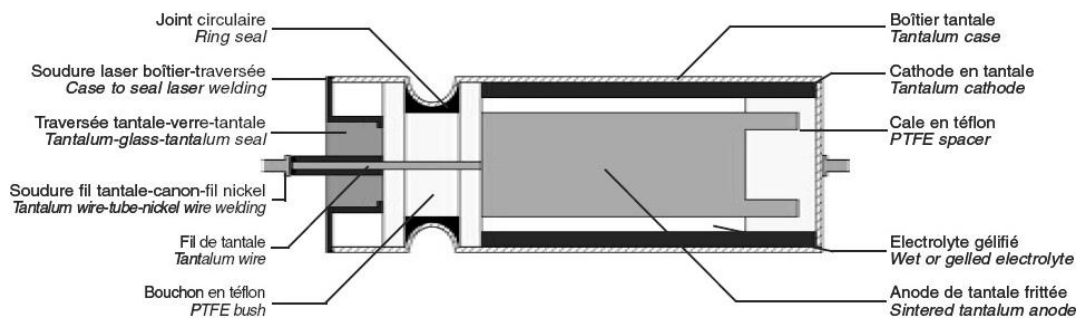


Figure 3 : Modèle de condensateur au tantale à électrolyte gélifié et boîtier tantale hermétique fabriqué par la société française Firadec ([www.firadec.fr](http://www.firadec.fr)) (groupe Exxelia).

Il existe plusieurs technologies pour réaliser ce type de condensateurs :

- Bandes de tantale laminées et bobinées de façon classique ;
- Condensateurs à anode frittée et à électrolyte solide ( $MnO_2$ ) ;
- Condensateurs à anode frittée et à électrolyte gélifié.

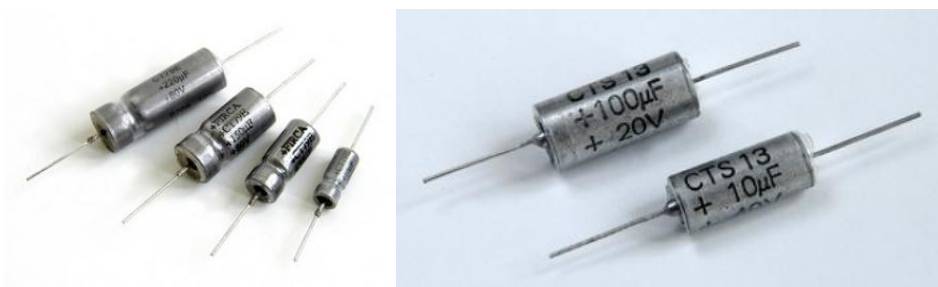


Figure 4 : Condensateurs au tantale à électrolyte solide (à gauche) et à électrolyte gélifié (à droite) fabriqués par Firadec ([www.firadec.fr](http://www.firadec.fr)).



Ces condensateurs sont communément utilisés pour l'électronique de bureautique, les appareils portables (ordinateurs, téléphones, ...) mais aussi pour l'électronique embarquée (voiture, avions). Leur tension de fonctionnement, relativement faible (0-100 V) ne leur permettent cependant pas des applications dans des systèmes de grandes puissances, tels que les trains ou les radars.

Si la quantité de poudre de tantale nécessitée dans chaque condensateur est très faible (< 0,02 g et en constante diminution (Hocquard, 2007)), des milliards de nouveaux condensateurs sont fabriqués chaque année. À titre d'exemple, les téléphones portables récents avec les fonctions vidéo et appareil photo possèdent chacun 22 ou 23 condensateurs au tantale. En 2010, 417 millions de téléphones ont été fabriqués, soit environ 9,3 milliards de condensateurs pour cette seule application (Moreno L., 2011).

### **Les autres applications en électronique**

Le tantale est utilisé dans la fabrication de cibles de pulvérisation cathodique. Il s'agit d'une méthode de dépôt de couche mince à partir de la condensation d'une vapeur métallique issue d'une source (la cible) sur un substrat. De minces couches de tantale, d'oxyde ou de nitrure de tantale peuvent ainsi être déposées sur des matériaux semi-conducteurs afin d'empêcher la migration du cuivre. Elles sont utilisées dans une large gamme d'applications, telles que les têtes d'imprimantes à jet d'encre, les médias de stockage multimédia (clés USB) ou encore les écrans plats. Ce secteur a compté pour 11 % de la consommation mondiale de tantale en 2008 (Roskill, 2009).



Figure 5 : Cibles de pulvérisation cathodique à tantale et alliage Ta-Al proposées par Sinomaterial RisingTech ([www.sinomaterial.com](http://www.sinomaterial.com)).

Les techniques d'épitaxie par jets moléculaires (MBE en anglais pour Molecular Beam Epitaxy) permettent de déposer des couches plus minces que la méthode précédente, de l'ordre de la monocouche atomique. Les équipements utilisés peuvent également être constitués de tantale.

L'association de tantalate de lithium ( $\text{LiTaO}_3$  ou LTA) et de niobate de lithium ( $\text{LiNbO}_3$  ou LNB) possède des propriétés électro-optiques, acoustiques et piézoélectriques uniques. Ils sont principalement utilisés comme filtres des ondes acoustiques de

surface (SAW pour Surface Acoustic Wave) dans les téléphones cellulaires et sans fil, les téléviseurs, les enregistreurs vidéo, les systèmes de contrôle de la pression des pneus ou encore les systèmes d'entrée sans clé des automobiles.

Le nitrure de tantale (TaN) est utilisé comme semi-conducteur dans les diodes électroluminescentes (LED), les cellules solaires, les transistors et les circuits intégrés.

### 3.1.2 Les superalliages

Le tantale est également utilisé comme additif dans l'élaboration de superalliages. Ces alliages à haute performance servent surtout dans des milieux très exigeants thermiquement ou/et chimiquement, comme les aubes de turbines des réacteurs d'avions ou celles des turbines à gaz. Ils se présentent souvent sous forme de monocristaux, ce qui leur offre de très bons comportements au fluage, à la corrosion et à la chaleur.

En 2006, les alliages de haute performance étaient majoritairement utilisés dans l'aérospatiale. La répartition donnée par le graphique suivant concerne tous les superalliages, incluant ceux au tantale.

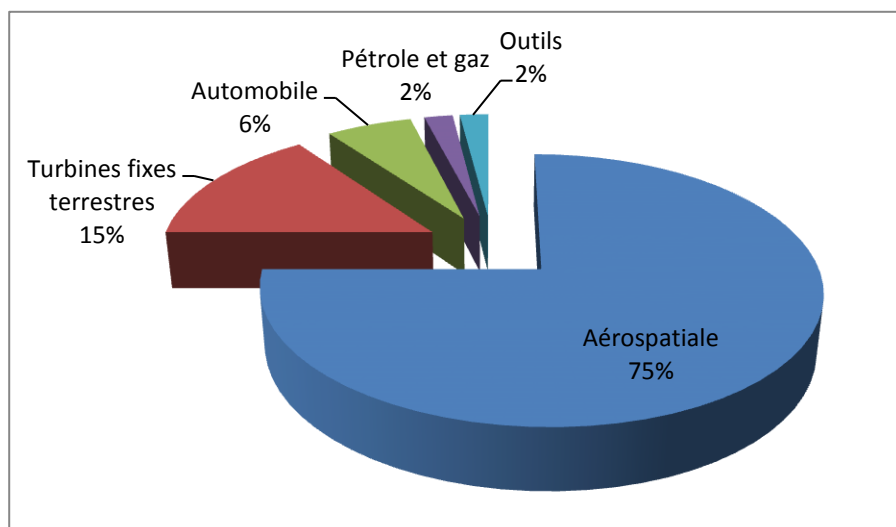


Figure 6 : Répartition de l'utilisation des superalliages par secteurs en 2006 (Département américain de la Défense, in Roskill, 2009).

L'aéronautique civile reste de loin le secteur où la demande de ces matériaux est la plus élevée. Il est généralement associé à d'autres métaux comme le nickel où il a pour effet de diminuer la dilatation thermique. Il entre dans des proportions très variables dans la composition des superalliages où il peut être mineur, comme dans l'AEREX 350 ® développé par SPS Technologies (Ni 45%, Co 25 %, Cr 17%, Mo 3%, Ti 2,2%, Nb 1,1%, Al 1,1%, Ta 4%, W 2% (SPS Technologies, Aerospace Fasteners Group, 1998)), ou quasi-exclusif, comme dans le NRC-76 ® de l'allemand H.C. Starck (97,6 % Ta, 2,4 % W (H.C. Starck, in Roskill, 2009)). Lorsqu'il est associé au nickel, la teneur en tantale dépasse rarement les 10 %.

Il existe une large gamme de superalliages dont les compositions varient d'un constructeur à l'autre. Ces alliages, à base de nickel, incluent majoritairement du chrome, du cobalt, du rhénium, du tungstène et de l'aluminium. Le tableau suivant présente les compositions de plusieurs références de superalliages :

|                           | Cr  | Co   | Mo   | Re  | W   | Al   | Ti   | Ta  | Nb  | Hf   | Autres |
|---------------------------|-----|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|--------|
| <b>CMSX4<sup>1</sup></b>  | 5.7 | 11.0 | 0.42 | 3.0 | 5.2 | 5.2  | 0.74 | 5.6 | -   | 0.1  | -      |
| <b>CMSX10<sup>1</sup></b> | 2.0 | 3.0  | 0.4  | 6.0 | 5.0 | 5.7  | 0.2  | 8.0 | 0.1 | 0.03 | -      |
| <b>René N5</b>            | 7.0 | 8.0  | 2.0  | 3.0 | 5.0 | 6.2  | -    | 7.0 | -   | 0.2  | -      |
| <b>René N6</b>            | 4.2 | 12.5 | 1.4  | 5.0 | 6.0 | 5.75 | -    | 7.2 | -   | 0.15 |        |
| <b>RR3000</b>             | 2.3 | 3.3  | 0.4  | 6.3 | 5.5 | 5.8  | 0.2  | 8.4 | -   | 0.03 |        |
| <b>UCSX1</b>              | 2.3 | 6.0  | 1.5  | 6.3 | 7.0 | 5.8  | 0.2  | 8.4 | -   | 0.03 | 2.0Ru  |
| <b>UCSX8</b>              | 2.3 | 6.0  | 3.0  | 6.3 | 6.0 | 5.8  | 0.2  | 8.4 | -   | 0.03 | 6.0Ru  |
| <b>TMS75</b>              | 3.0 | 12.0 | 2.0  | 5.0 | 6.0 | -    | -    | 6.0 | -   | 0.1  | -      |
| <b>TMS138</b>             | 3.0 | 12.0 | 3.0  | 5.0 | 6.0 | -    | -    | 6.0 | -   | 0.1  | 2.0Ru  |
| <b>TMS162</b>             | 2.9 | 5.8  | 3.9  | 4.9 | 5.8 | 5.8  | -    | 5.6 | -   | 0.1  | 6.0Ru  |

1) Alliage déposé par Cannon-Muskegon Corporation

*Tableau 2 : Compositions typiques de plusieurs références de superalliages monocristallins au nickel (en % pondéral) ("Nickel Based Superalloys", H.K.D.H. Bhadeshia, Cambridge University in Roskill, 2010).*

Le secteur des superalliages a compté pour 16 % de la consommation mondiale de tantale en 2008.

### 3.1.3 Les outils de découpe

La carbure de tantale (TaC) est utilisé en association à d'autres carbures métalliques (WC, VC, NbC, TiC, ...) dans la fabrication de carbures cémentés (ou frittés). Ces derniers, très durs, entrent dans l'élaboration d'outils de découpe de métaux.

La composition habituelle de ce type de carbure cémenté n'excède pas les 2 à 4 % TaC. Ce secteur représente néanmoins un marché stable qui a représenté 11 % de la consommation mondiale de tantale en 2008.

Il est à noter que le TaC entre uniquement dans la composition des carbures cémentés destinés aux outils de découpe à la différence d'autres carbures plus polyvalents tels que le WC qui peut également être utilisé en revêtement de matériaux pour en diminuer l'usure.



Figure 7 : Outils de découpe en carbure cémenté à base de tantale proposés par Robot Mining Equipement ([www.rfplcarbide.com](http://www.rfplcarbide.com)).

### 3.1.4 L'électrochimie

Le tantale est aussi utilisé dans la protection galvanique des bateaux contre la corrosion et dans la composition des anodes dimensionnellement stables (DSA<sup>®</sup>) utilisées en conditions extrêmes (haute densité de courant anodique, haute température, milieux acides ou saumures) comme pour la production du chlore et de la soude dans les cellules compartimentées à l'aide d'une membrane échangeuse d'ions.

### 3.1.5 Les autres applications métallurgiques

En raison de sa bonne conductivité thermique, le tantale constitue un composé de choix utilisé couramment pour constituer des échangeurs thermiques. Sa résistance à la corrosion fait qu'il peut ainsi être utilisé en milieu très acide sous formes de tubes échangeurs dans des bouilleurs, de condensateurs. Son bon module de Young (185 GPa) et la résistance à la traction déduite (172 MPa) permet son utilisation là où une bonne résistance est nécessaire : disques de rupture, turbines, cuves de réacteurs sous pression, colonnes de distillation (par exemple l'Intalox<sup>®</sup>). Sa résistance à la corrosion (< 25,4 µm/an) fait qu'il n'apporte pas de contamination dans les procédés mis en œuvres et ne nécessite pas d'entretien.

Du fait de son haut point de fusion et de ses qualités thermiques et mécaniques, il est aussi utilisé pour faire des creusets, des résistances utilisées dans les fours à vides, comme récipient pour les liquides alcalins et leurs vapeurs, comme composant des films pour les Diffractions aux Rayons X.

Le tantale est totalement inerte vis-à-vis des fluides corporels et est non irritant. Il est donc utilisé en orthopédie, en chemisage des pacemakers, en chirurgie crânienne (calottes), dans certains implants dentaires ou encore dans l'instrumentation

chirurgicale (« stents<sup>2</sup> » pour vaisseaux sanguins, ...). Le groupe Zimmer ([www.zimmer.com](http://www.zimmer.com)), leader mondial de la santé musculo-squelettique, a ainsi élaboré sa gamme Trabecular Metal™ à base de tantale élémentaire. Ces éponges, de porosité très variable, sont flexibles et résistants et peuvent ainsi être utilisés comme implants au niveau des genoux, des hanches ou encore de la colonne vertébrale.



Figure 8 : Implants orthopédiques de la gamme Trabecular Metal™ fabriqués par Zimmer : prothèse de genou à gauche et vertèbre de remplacement à droite ([www.tmt.zimmer.com](http://www.tmt.zimmer.com)).

Le tantale entre dans la fabrication de munitions de type EFP (Pénétrateur Explosivement Formé). Ces systèmes, lancés depuis une grande distance, ont été développés pendant les années 1980.

Il est aussi utilisé dans l'industrie pharmaceutique, la biotechnologie et l'industrie alimentaire.

### 3.2 USAGES DU TANTALE PAR COMPOSÉS

Le tableau ci-dessous synthétise les principales utilisations des composés du tantale. Les différents conditionnements (poudre, lingot, plaques, fils, couches, tiges, ...) sont également précisés.

---

<sup>2</sup> Le stent, plus communément appelé « ressort », est un dispositif métallique maillé et tubulaire, glissé dans une cavité naturelle humaine (fréquemment, dans une artère, l'urètre ou le canal biliaire) pour la maintenir ouverte.

| Composés  | Applications   | Objectifs technologiques/Avantages  |
|---|--|---|
| <b>Carbure de tantale</b>                         | Outils de coupe  | Accroissement de la température de déformation, contrôle de la croissance des grains  |
| <b>Tantalate de lithium</b>                       | Filtres pour les ondes acoustiques de surface (SAW) (téléphones mobiles, stéréo Hi-Fi, téléviseurs).   | Amortissement électronique du signal pour une sortie audio et vidéo plus claire et plus nette.  |
| <b>Oxyde de tantale</b>                           | - Lentilles de lunettes, appareils photo numériques et les téléphones mobiles<br>- Films pour rayons-X<br>- Imprimantes à jet d'encre  | - Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> donne des indices de réfraction élevés<br>- Le tantalate d'yttrium et de phosphore réduit le temps d'exposition aux rayons X et améliore la qualité de l'image<br>- Augmente les caractéristiques de résistance des condensateurs intégrés dans les circuits |
| <b>Poudre de tantale</b>                          | <b>Condensateurs au tantale pour des circuits électroniques :</b><br>- Appareils médicaux (prothèses auditives, stimulateurs cardiaques) ;<br>- Composants automobiles (ABS, l'activation des airbags, modules de gestion moteur, GPS) ;<br>- Appareils électroniques portatifs (ordinateurs portables, téléphones mobiles, caméras, appareils photo numériques);<br>- Autres équipements (lecteurs DVD, téléviseurs à écran plat, consoles de jeux, chargeurs de batteries, redresseurs de puissance...)  | - Fiabilité élevée, fonctionnement sur une large plage de température -55 à 200 ° C<br>- Résistance à des forces vibratoires sévères<br>- Petite taille, capacité importante.   |
| <b>Tantale en fines couches, plaques et tiges</b> | - Équipements pour l'industrie chimique (bardage, revêtements pour réservoirs, vannes, échangeurs de chaleur) ;<br>- Systèmes de protection cathodique des structures en acier (ponts, réservoirs d'eau, pièces exposées des bateaux) ;<br>- Attaches résistantes à la corrosion (vis, écrous, boulons) ;<br>- Filières (fabrication de textiles synthétiques)<br>- Pièces pour fours fonctionnant à très haute température<br>- Applications chirurgicales et orthopédiques (prothèses de hanche, plaques crâniennes, clips de suture, « stents » pour les vaisseaux sanguins, ...) | - Forte résistance à la corrosion<br>- Point de fusion élevé (3 017 °C)<br>- Absence de corrosion par les fluides corporels ; hautement biocompatible   |
| <b>Tantale en lingot</b>                          | - Cibles de « pulvérisation »<br>- Alliages à haute température (turbines embarquées et fixes, tuyères de fusées) ;<br>- Disque dur des ordinateurs<br>- EFP (Explosively Formed Projectile) pour missile  | - Meilleure résistance à la corrosion due aux gaz, permettant des températures de fonctionnement plus élevées, donc une efficacité meilleure et des économies de carburant<br>- Propriétés de mémoire de forme  |
| <b>Nitride de tantale</b>                         | Semi-conducteur (LED, cellules photovoltaïques, circuits intégrés)   |   |

Tableau 3 : Principaux composés du tantale et leurs différents usages (Roskill, 2009).

### 3.3 SUBSTITUTIONS

En raison d'une cristallochimie proche, le tantale peut être substitué par le niobium pour un certain nombre d'applications, notamment dans les secteurs exposés à la corrosion et aux hautes températures. Dans les superalliages, il sera préférentiellement remplacé par du vanadium ou du molybdène. Actuellement, les efforts de recherche se portent sur l'aluminium et les céramiques comme substituts dans les condensateurs, mais il n'est à l'heure actuelle pas remplaçable dans certaines applications chirurgicales fines (stents, revêtements de pacemakers, ...).

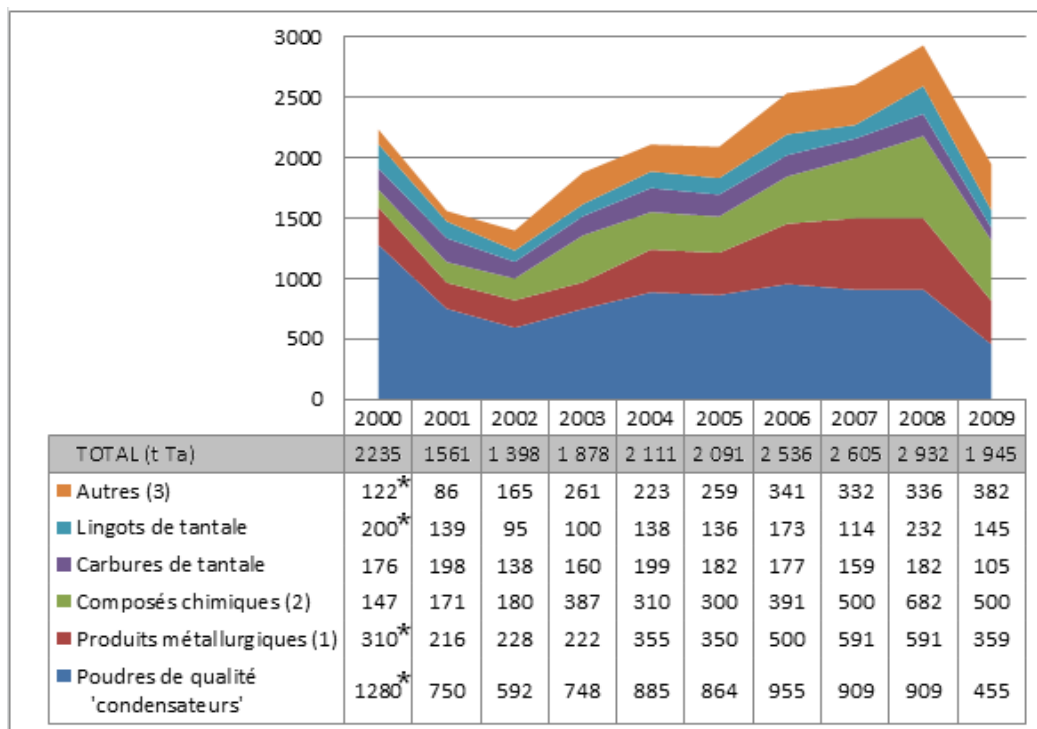
| Usages du tantale                          | Substituts possibles                            |
|--|---|
| <b>Fabrication des condensateurs</b>       | Aluminium et céramiques multi-couches (MLCC)    |
| <b>Carbures cimentés</b>                   | Niobium, tungstène                              |
| <b>Matériaux résistants à la corrosion</b> | Verres, niobium, platine, titane et zirconium   |
| <b>Applications à hautes températures</b>  | Hafnium, iridium, molybdène, tungstène, rhénium |
| <b>Chirurgie orthopédique (prothèses)</b>  | Titane, céramique                               |

Tableau 4 : Substituts possibles au tantale dans ses différents usages (Papp, 2011 (USGS)).

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

Très peu de données statistiques sont disponibles, aussi bien concernant la production que la consommation de tantale. Les chiffres sont en effet rarement publiés par les sociétés productrices tandis qu'une large part de la production minière repose sur l'artisanat et la petite mine (Afrique Centrale).

Le TIC (Tantalum-Niobium International Study Center) regroupe 86 sociétés qui ont pour objectif de promouvoir les filières de Ta et de Nb. Il publie les expéditions des différents transformateurs de tantale en fonction des produits, ce qui traduit globalement les tendances de consommation par secteur.



(1) Feuilles, plaques, tiges et fils de tantale

(2) Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TaCl<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>TaF<sub>7</sub>

(3) Poudre de qualité métallurgique, métal brut, ferrailles, autres

\*Valeurs non disponibles pour l'année 2000, estimées au prorata de 2001 (baisse de 43 % du volume total) en renforçant le secteur des condensateurs qui a connu un boom en 2000 (téléphones portables et bulle internet).

Figure 9 : Répartition et évolution des expéditions des différents transformateurs de tantale membres du TIC entre 2002 et 2009, en t de Ta contenu (TIC, 2011 ; Schwela U. in Mining Journal, 09/2010)

Cependant, ces statistiques ne prennent pas en compte les données provenant de sociétés non-membres de l'association ni celles correspondant aux stocks (qui pourraient être relativement importants selon Roskill, 2009). A contrario, certaines données sont comptées deux fois, comme par exemple les sels de potassium qui apparaissent dans les composés chimiques mais entrent également dans la fabrication de poudres de qualité « condensateurs ».

Ces deux phénomènes étant pris en considération, il semblerait que les expéditions de la TIC soient surestimées : en 2007, Talison (alors premier producteur mondial de tantale) estimait la demande mondiale à 2 000 t Ta alors que la TIC comptabilisait 2 605 t Ta au total. De même, en 2008, Rittenhouse (Henderson, 2010) situait la consommation mondiale à 1 850 t Ta, soit 1 100 t de moins que les données de la TIC.

La consommation annuelle mondiale de tantale varie entre 1 400 et 2 000 t/an. Après avoir connu une croissance importante au début des années 2000 (> 2 300 t en 2000)



du fait de l'explosion de la demande pour les NTIC<sup>3</sup> (téléphones portables et bulle internet notamment), cette consommation s'est ralentie depuis la fin 2008 pour se situer autour de 1 000 t en 2009, conséquence du ralentissement économique global (Henderson, 2010).

En raison de ses propriétés intéressantes et de la tendance à la miniaturisation en électronique, la demande mondiale en tantale devrait rester importante pour le secteur des condensateurs, bien que des technologies concurrentes se développent (condensateurs céramiques multicouches, ...).

Les projections de l'institut allemand RWI (Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, 2007) prennent en compte une croissance continue de la demande mondiale de tantale pour les prochaines années au rythme annuel de 5,3 % par an, en parallèle d'une augmentation progressive du taux de recyclage, passant de 10 % en 2007 à 20 % en 2025. Dans ce scénario, l'amélioration du taux de recyclage passera par une meilleure réutilisant en amont de la chaîne (chutes de production, déchets neufs). Le PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement, ou UNEP en anglais, 2009) propose un taux de croissance plus modéré de 3,4 % par an.

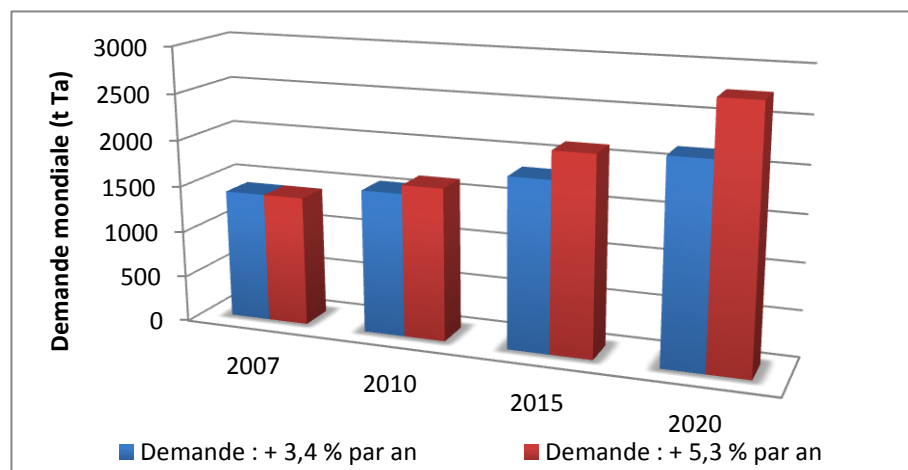


Figure 10 : Projections de croissance de la demande mondiale en tantale à l'horizon 2020 selon deux scénarios (RWI, 2007 et UNEP, 2009 in UNEP, 2009).

Ces deux scénarios aboutissent à une importante croissance de la demande mondiale en tantale pour les prochaines années, en hausse de 55 % en 2020 par rapport à 2007 d'après le scénario modéré et de 97 % pour le modèle proposé par le RWI.

<sup>3</sup> Le terme NTIC (Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication), ICT en anglais, regroupe les techniques utilisées dans le traitement et la transmission des informations. Il s'agit principalement de l'informatique, de l'Internet et des télécommunications.

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

#### 3.5.1 L'électronique

Selon l'Institut allemand Fraunhofer (Angerer *et al.*, 2009), les principaux besoins en tantale pour les technologies émergentes concernent les condensateurs électrolytiques où Ta entre typiquement à 36,7 % en poids, le reste étant couvert par d'autres éléments actifs (MnO<sub>2</sub>, Ag), des éléments pour l'encapsulation (résine epoxy, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ainsi que des éléments de connectique (alliage Fe58/Ni42, Sn).

En 2006, les condensateurs au tantale occupaient 1/3 du marché mondial (18 milliards de pièces), les 2/3 restants étaient représentés à parts égales par ceux au niobium et les MLCC (condensateurs céramiques multi-couches). Fraunhofer a élaboré deux scénarios du marché des condensateurs à l'horizon 2030 en estimant les besoins en matières premières associés :

- **Projection A** : croissance du marché mondial de 4 % par an d'ici 2030 en conservant la répartition actuelle (1/3 Ta, 1/3 Nb, 1/3 MLCC pour 18 milliards de pièces), et sans amélioration de l'efficacité ;
- **Projection B** : croissance du marché mondial de 7 % par an à l'horizon 2030 avec la domination des MLCC (60 %) à électrode Ni-Sn, parts de marché réduites à 20 % chacun pour les condensateurs au tantale et au niobium, efficacité de 10 % pour les électrolytiques et de 25 % pour les MLCC.

| Substances       | Besoins en 2006 pour les condensateurs (t métal) | Estimation des besoins en 2030 pour les condensateurs |                      |              |                      |
|------------------|--|---|----------------------|--------------|----------------------|
|                  |  | Projection A  |                      | Projection B |                      |
|                  |  | t métal   | Croissance 2006-2030 | t métal      | Croissance 2006-2030 |
| <b>Tantale</b>   | <b>551</b>                                       | <b>1 360</b>  | <b>+ 147 %</b>       | <b>1 410</b> | <b>+ 156 %</b>       |
| <b>Niobium</b>   | 288  | 1 360   | + 372 %              | 1 410        | + 390 %              |
| <b>Baryum</b>    | 509  | 1 250   | + 146 %              | 3 260        | + 540 %              |
| <b>Titane</b>    | 177  | 437   | + 147 %              | 1 140        | + 544 %              |
| <b>Argent</b>    | 210  | 369   | + 76 %               | 518          | + 147 %              |
| <b>Palladium</b> | 7,2  | 9,22  | + 28 %               | 17,7         | + 146 %              |
| <b>Manganèse</b> | 109  | 266   | + 144 %              | 267          | + 145 %              |
| <b>Nickel</b>    | 288  | 710   | + 147 %              | 2 030        | + 605 %              |
| <b>Étain</b>     | 105  | 259   | + 147 %              | 444          | + 323 %              |
| <b>Antimoine</b> | 27,6   | 67,9  | + 146 %              | 70,6         | + 156 %              |

Tableau 5 : Estimations des besoins en différents métaux pour les condensateurs miniaturisés à l'horizon 2030 selon deux scénarios (Institut Fraunhofer, 2009).

Selon les estimations de l'Institut Fraunhofer, les besoins en tantale pour la filière des condensateurs à l'horizon 2030 devrait être en augmentation de 147 à 156 % suivant les scénarios par rapport à ceux de 2006.

Le tantale fait partie des 19 « substances pour les technologies du futur » sélectionnées par l'Institut allemand. Afin de mettre en évidence les tensions éventuelles que vont nécessiter ces nouvelles applications sur la demande en matière première, le rapport entre la consommation mondiale de chaque substance pour ces technologies innovantes en 2006 et 2030 (estimations) et la production mondiale de la substance en 2006 a été calculé.

Dans cette liste, le tantale arrive en 7<sup>ème</sup> position avec des besoins pour ces technologies nouvelles en 2030 (condensateurs et technologies médicales) équivalents à la production mondiale de 2006 (ratio 1,01). Les prévisions de consommation de gallium pour le photovoltaïque en couche mince (CIGS), les LED blanches (WLED) et les circuits intégrés (CI) correspondent, quant à elles, à plus de 6 fois la production mondiale de 2006 (Angerer *et al.*, 2009).

La demande en tantale pour les cibles de pulvérisation devrait également augmenter, tirée par l'essor des mémoires flash (clés USB). Malgré l'essor continu des téléphones portables, la consommation en Ta pour les filtres SAW devrait rester stable à l'horizon 2013 dans la mesure où le LTA ( $\text{LiTaO}_3$ ) est progressivement remplacé par des matériaux alternatifs ( $\text{La}_2\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ).

### 3.5.2 Les superalliages

Avec 75 % de la consommation en 2006, l'aérospatiale est, et restera très probablement, le principal secteur consommateur de superalliages (Département américain de la Défense, *in* Roskill, 2009). Une large gamme d'alliages de haute performance partage les domaines d'applications de ceux au tantale, comme les superalliages Ni-Re dans les aubes de turbines. Cependant, leurs propriétés mécaniques spécifiques semblent non pas les rendre substituables l'un à l'autre, mais plutôt complémentaires. La consommation de tantale suivra donc le développement de ce secteur.

Le trafic aérien de passagers ainsi que la livraison de nouveaux moteurs devraient poursuivre leur croissance dans les prochaines années. Rolls Royce, l'un des principaux constructeurs de moteurs d'avion pour le civil et la Défense aux côtés de Pratt & Whitney, General Electric et CFM (joint-venture entre General Electric et la Snecma) a publié ses prévisions pour les prochaines années. Le graphique suivant présente ces estimations pour 2028 en fonction de la catégorie de moteur concernée.

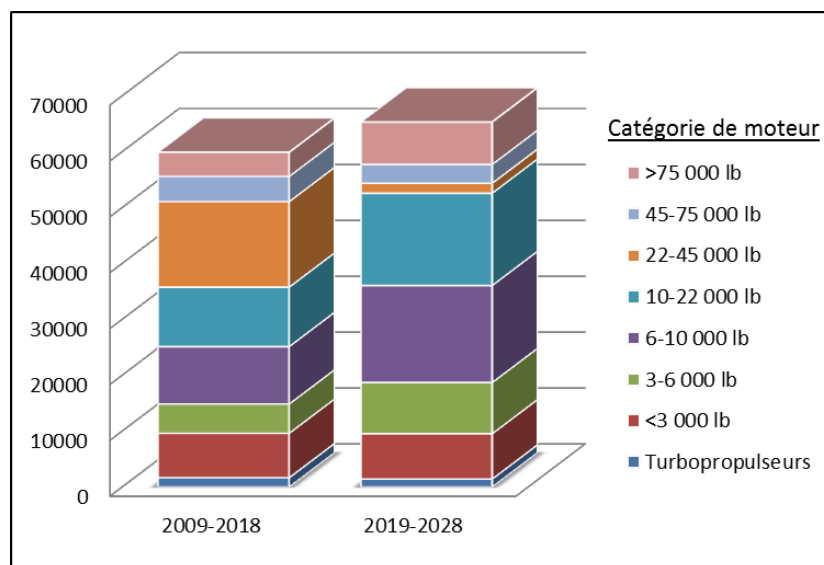


Figure 11 : Estimation du nombre de moteurs délivrés par Rolls Royce sur les périodes 2009-2018 et 2019-2028 (Rolls Royce plc., 2009).

Les turbines à gaz, consommatrices de superalliages tantalifères, se développent assez rapidement depuis le début des années 2000, notamment en Europe, en Russie, au Moyen-Orient et en Amérique du Nord. De 697 unités en 2005, les commandes sont passées à 1 054 à travers le monde en 2008 (Diesel & Gas Turbine Worldwide, octobre 2008, *in* Roskill, 2009). Les prévisions pour 2012 sont d'environ 1 200 nouvelles turbines. Ce secteur, dominé par General Electric (35 % du marché), Siemens (28 %), Alstom (13 %) et Mitsubishi (9 %), devrait rester en croissance.

### 3.5.3 Les autres applications

Les carbures cémentés, qui couvraient 11 % de la consommation mondiale de tantale en 2008, constituent un marché mature pour Ta. Les expéditions de TaC reportées par le TIC (Figure 9) sont restées assez stables dans les années 2000 autour de 170 t/an. Le manque de croissance dans la consommation de TaC s'explique principalement par l'utilisation préférentielle d'alternatives meilleur marché (NbC, TiC, TiN, ...), le développement de nouveaux systèmes moins consommateurs de TaC ainsi qu'une part accrue du recyclage. Le matériel recyclé représente maintenant près du tiers du TaC consommé.

Dans les prochaines années, la demande en tantale pour les carbures cémentés (outils de découpe) devrait donc rester stable ou en légère baisse.

Du fait de la biocompatibilité du tantale, son utilisation dans le domaine médical devrait continuer à se développer (Angerer *et al.*, 2009). Les progrès techniques permettent à présent de réaliser des prothèses en éponge de tantale ayant des propriétés mécaniques très proches de celles des os spongieux (hanche, ...).

Des aciers inoxydables à nickel et chrome peuvent être utilisés en substituts du tantale en instrumentation chirurgicale (pincés, stents, ...) mais ils forment une couche protectrice d'oxyde (empêchant les fluides corporels de réagir avec le métal) moins durable que celle formée avec le tantale. Ils sont moins tendres que le tantale et donc moins faciles à manipuler, mais restent bien meilleur marché (100 à 200 fois moins chers que des instruments en tantale).

Le secteur médical devrait donc rester un consommateur important de tantale dans les prochaines années.



## 4. L'offre : ressources et production mondiale

### 4.1 LES SOURCES DE TANTALE

#### 4.1.1 Abondance du tantale dans l'écorce terrestre

L'abondance moyenne du tantale dans la croûte terrestre est de 1,8 ppm, ce qui est comparable avec celle du césium et de l'arsenic mais presque dix fois inférieur à celle du niobium 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, le tantale arrive en 51<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   | <b>Ta</b> |   | <b>1,83</b> |     | 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 6 : Abondance moyenne des éléments de la croûte terrestre.  
(moyennes 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

96 minéraux tantalifères ont été identifiés, dont une unique occurrence reportée dans la littérature de Ta natif (en micro-inclusion, dans un champ de kimberlites en Sibérie). Les substitutions Ta-Nb sont nombreuses en raison de leurs ressemblances cristallographiques, et se produisent dans la série des colombo-tantalites, avec le pôle Ta tantalite et des pyrochlores avec le microlite en pôle Ta. La présence de minéraux spécifiquement tantalifères est donc très rare dans la nature.

Le principal minerai de tantale est la tantalite ((Fe,Mn)Ta<sub>2</sub>O<sub>6</sub>), mais il est également fréquemment trouvé sous forme de microlite, de wodginite, d'euxénite, de struvérite (rutilite Ta) et de loparite (groupe des pérowskites). Ces principaux minéraux sont tous des oxydes et constituent la forme la plus abondante de tantale. De manière très accessoire, il existe des silicates de tantale (holtite) ainsi qu'un carbure de tantale (TaC). Ce dernier n'a été décrit à l'état naturel que dans le placier d'Avrorinskii (Oural, Russie).

Des substitutions plus complexes mettant en jeu l'uranium, le thorium, le titane et l'étain peuvent également se produire (Hogarth, 1989), ce qui explique qu'au sein d'un même gisement, la composition chimique fine n'est pas constante. C'est notamment le cas du groupe des polycrases (euxénite) et de la bétafite ((Ca,U,Na)<sub>2</sub>(Ti,Nb,Ta)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>(OH)<sub>7</sub>). Cet enrichissement en éléments radioactifs peut être pénalisant pour l'exploitation du minerai.

Les principaux minéraux de tantale et leur composition chimique générale sont présentés dans le tableau 1.

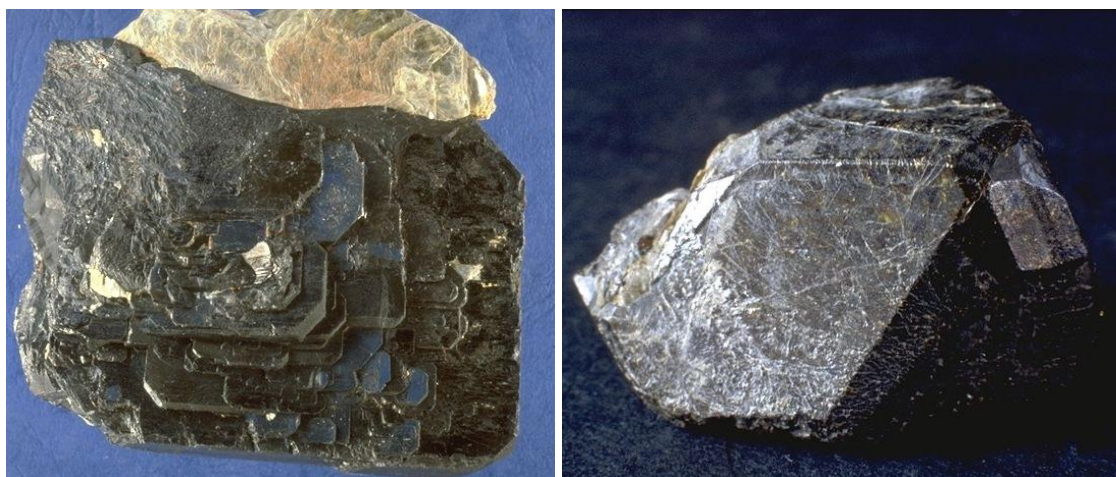


Figure 12 : A gauche : Tantalite de Minas Gerais, Brésil, 8 cm ; à droite : microlite d'Amélia, Etats-Unis, 3,5 cm, collections du Muséum de Paris (©[webmineral.brgm.fr](http://webmineral.brgm.fr)).



### 4.1.3 Principaux types de gisements

Le tantale, comme le niobium qu'il accompagne fréquemment, est un élément incompatible<sup>4</sup> et se retrouve donc préférentiellement dans les magmas évolués. Ta et Nb sont ainsi enrichis dans les granites très différenciés, les granites alcalins et les syénites, les carbonatites, les granites à métaux rares et les pegmatites. Le niobium est plus enrichi dans les systèmes alcalins carbonatitiques alors que le tantale est plus fréquent dans les granites et les pegmatites à Sn et Li. Dans les systèmes hydrothermaux, Ta et Nb sont généralement peu mobiles, sauf dans les fluides riches en fluor (Linnen, 1998 ; Zraïsky *et al.*, 2010).

Les cinq principaux types de gisements à tantale reconnus sont donc les suivants (Jébrak & Marcoux, 2008 ; MRNF, 2012 ; BGS, 2011) :

- **Les gisements associés à des pegmatites granitiques** : Il s'agit de pegmatites à métaux rares de type LCT (Lithium Césium Tantale)<sup>5</sup>. Les pegmatites sont des roches magmatiques silicatées dont les cristaux fréquemment automorphes sont de grande taille (un à plusieurs centimètres ou décimètres, parfois plus du mètre). Outre ces éléments, ces gisements peuvent abriter des concentrations économiquement valorisables de lithium, de béryllium, de niobium et d'étain ainsi que des terres rares. La minéralisation tantalifère se trouve sous forme de filonnets de quartz. Les principaux gisements mondiaux historiquement exploités pour Ta sont de ce type, comme Greenbushes et Wodgina en Australie, Tanco/Bernic Lake au Canada ou encore Volta Grande dans l'État de Minas Gerais (Brésil).
- **Les gisements associés à des granites** : Des minéralisations tantalifères sont associées à des intrusions de granites peralumineux. Li, Nb et Sn se retrouvent également concentrés dans ces granites qui sont parfois appelés granites LCT. Il s'agit généralement de gisements à fort tonnage mais faible teneur, comme à Abu Dabbab (Égypte), Ghurayyah (Arabie Saoudite), Yichun (Chine) ou Échassières (Granite de Beauvoir, France).
- **Les gisements associés aux complexes de carbonatites** : Les carbonatites sont des roches magmatiques (volcaniques ou plutoniques) très riches en carbonates et pauvres en silice. Les carbonatites primaires<sup>6</sup> concentrent le niobium, le tantale, les terres rares et parfois du titane. Ces gisements sont principalement exploités pour le niobium (pyrochlore), le tantale s'y trouvant moins concentré, comme à Niobec ou à Oka (Canada).

---

<sup>4</sup> Les éléments incompatibles se concentrent préférentiellement dans la phase liquide lors de la fusion partielle d'un magma. Ils sont ainsi enrichis dans les granites différenciés/évolués.

<sup>5</sup> Černý et Ercit (2005) distinguent 3 catégories de pegmatites à métaux rares : LCT (Lithium Césium Tantale), NYF (Niobium Yttrium Fluor) et les mixtes LCT-NYF. Seules les pegmatites LCT présentent un intérêt économique pour le tantale.

<sup>6</sup> À la différence des carbonatites primaires, les carbonatites secondaires sont hydrothermalisées et exploitées pour la fluorine (± niobium).

- **Les gisements associés aux complexes intrusifs hyperalcalins :** Les complexes intrusifs hyperalcalins, de type syénite à néphéline, peuvent concentrer le tantale, le niobium et les terres rares. Il s'agit généralement de gisements inférieurs à 100 Mt à des teneurs assez faibles (0,1 à 1 % Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et < 0,1 % Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Peu de mines exploitent à l'heure actuelle des gisements de ce type pour le tantale, mais plusieurs projets d'exploration sont en cours, notamment sur la province de Gardar (Groënland) qui abrite les complexes d'Ílímaussaq et de Motzfeldt.
- **Les placers :** Des dépôts alluviaux (placers) peuvent abriter des concentrations importantes en tantale. Le minerai, fréquemment composé de colombo-tantalite, est facilement valorisable par de simples procédés gravimétriques, ce qui explique qu'il est souvent exploité de manière artisanale. Ces placers se trouvent majoritairement en Afrique centrale (République Démocratique du Congo, Rwanda, Burundi) ainsi qu'en Russie (Oural).



Figure 13 : A gauche, pegmatite à colombo-tantalite (noir) de Vilatte-Haute (Monts d'Ambazac) ([www.geoforum.fr](http://www.geoforum.fr)) ; à droite, concentré de coltan (Rubaya, RD Congo) (BRGM).

Le tantale est également présent en traces dans le minerai d'étain (cassitérite SnO<sub>2</sub>). La récupération de Ta à partir des scories d'étain couvre, historiquement, 10 % de la production mondiale de tantale. Cela peut offrir des opportunités pour une valorisation secondaire de stocks anciens délaissés à l'époque de l'exploitation de l'étain.

## 4.2 RESSOURCES ET RÉSERVES

### 4.2.1 Gisements et potentiel en France

Plusieurs indices à tantale ont été découverts en France, aussi bien en métropole qu'en Guyane. Il est, d'ailleurs, exploité à l'heure actuelle en sous-produit du kaolin à Échassières (03) et a été exploité en Guyane entre les années 1950 et 1990.

Les occurrences connues de tantale sont concentrées dans trois districts :

- **Le Massif Central :**

Au Nord du Massif Central, les granites peralumineux à métaux rares de Montebras, Echassières-Beauvoir et Chavence contiennent du tantale sous forme de colombo-tantalite et de microlite. À l'échelle du district, la minéralisation peut se présenter sous trois formes différentes : filons de pegmatite, couches de contact de type greisens (faciès à quartz-mica) et dissémination.

Dans le complexe granitique d'**Echassières** (03), seul le granite albitique de Beauvoir correspond à un gîte ayant un potentiel évident (Cuney *et al.*, 1992 ; Merceron *et al.*, 1992 ; Rosen, 1964 et 1966 ; Ohnenstetter & Piantone, 1988). La minéralisation se présente sous forme de disséminations de microlite uranifère et de colombo-tantalite dans les zones à lépidolite où le mica lithinifère peut représenter jusqu'à 20 % du volume du granite, et de façon marginale dans les greisens (quartz, mica). Son potentiel géologique est estimé à 5 000 t Ta-Nb, associé à 20 000 t Sn, 5 000 t WO<sub>3</sub> et 280 000 t Li<sub>2</sub>O. Un concentré à Sn-Ta-Nb est actuellement exploité par Kaolins de Beauvoir, filiale du leader mondial des minéraux industriels Imérys, en sous-produit du kaolin (céramique). 55 t de concentré à 10 % Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> seraient produites annuellement (Roskill, 2009).

À **Montebras** (23) comme à **Chavence** (71), le tantale apparaît comme marginal au profit de la cassitérite (SnO<sub>2</sub>) et de micas lithinifères (lépidolite K(Li,Al)<sub>3</sub>(Si,Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(F,OH)<sub>2</sub> et zinnwaldite KLiFeAl(AlSi<sub>3</sub>)O<sub>10</sub>(OH,F)<sub>2</sub>).

Plusieurs indices à tantale ont également été mis en évidence dans les **Monts d'Ambazac**, dans le Limousin. Ces pegmatites ont été exploitées dans de nombreuses carrières principalement pour le feldspath (approvisionnement de l'industrie des céramiques de Limoges) et le quartz, comme à Vilatte-Haute, Chabanne, Margnac, Le Mas-Barbu, Larmont, Chanteloube ou encore Mazataud. Le lithium a été exploité à Chêdeville et La Chaize. Le béryl (Be) y a été épisodiquement exploité au XIX<sup>ème</sup> et au XX<sup>ème</sup> siècle, mais la production totale n'a pas dépassé les quelques tonnes. La minéralisation à Li et Ta n'est cependant pas économiquement exploitable à l'heure actuelle.

- **Le Massif Armoricaïn :**

Le corps acide de **Tréguennec** se compose de corps filoniens d'aplite sodique très leucocrate à grain fin. La partie occidentale de cette formation granitique peralumineuse contient une minéralisation diffuse en cassitérite, colombo-tantalite, lépidolite et amblygonite (phosphate de lithium (Li,Na)AlPO<sub>4</sub>(F,OH)). La zone de Prat-ar-Hastel est considérée comme la plus intéressante (Lulzac, 1986).

Les ressources sont évaluées à 5 400 t Sn, 1 600 t Ta, 1 300 t Nb, 66 000 t Li<sub>2</sub>O et 2 400 t Be (soit 8 Mt de minerai avec des teneurs de 639 g/t Sn, 190 g/t Ta, 155 g/t Nb, 0,78 % Li<sub>2</sub>O et 284 g/t Be).

D'autres venues acides semblables sont connues dans le Massif Armoricain, comme à Saint-Renan (29), Abbaretz-Nozay (44), La Villelder (56) et Lanmeur (29). La minéralisation est très majoritairement stannifère (cassitérite) avec quelques descriptions de colombo-tantalite.

La prospection alluvionnaire menée lors de l'Inventaire Métropolitain a mis en évidence une minéralisation niobo-tantalifère dans le petit **Massif granitique des Epesses** (8 km x 2 km, Vendée). Les colombo-tantalites (où le niobium est généralement dominant), accompagnées d'un peu d'euxénite, se présentent en grains millimétriques disséminés dans le granite. Ce site est considéré comme un simple indice et n'a pas fait l'objet d'une évaluation des ressources (Chauris & Guigues, BRGM, 1969).

- **La Guyane :**

De nombreux placers à colombo-tantalite ont été découverts au Nord de la Guyane. Ces concentrations résultent de l'érosion de filons de pegmatites à métaux rares du groupe LCT (Černý & Ercit, 2005). Dans ces alluvions et éluvions qui forment le placer, le pôle colombite (Nb) de la série de colombo-tantalites est plus fréquemment présent que celui tantalite (Ta).

Ces gîtes secondaires sont généralement de faible extension, limités à des flats étroits. Les teneurs peuvent, cependant, être intéressantes comme à la **Crique Vénus** où le niveau de graviers de 90 cm affichait la composition suivante : 54,2 %  $Ta_2O_5$ , 19,4 %  $Nb_2O_5$ , 0,7 %  $Ti_2O_5$  et 7,5 %  $SnO_2$ . Il a été exploité par le COMIGU (Consortium Minier Guyanais) entre 1953 et 1955 qui en a extrait 37 t de colombo-tantalite, puis entre 1954 et 1956 par Lenormand qui a produit 7,9 t de ce minerai. Le gisement est considéré comme épuisé (BRGM, 1980).

Des placers similaires ont été mis en évidence dans les districts du Bas-Sinnamary (Petit Saut, ...), de la Basse Mana (Crique Belle Etoile, Crique Valentin, Crique Portal et Baptiste, ...), du Bas Maroni (Crique Voltaire, Crique Salva, ...) et d'Iracoubo.

D'après les archives, 90 t de colombo-tantalite ont été produites en Guyane entre 1969 et 1990 (Polak, 2009).

Les cartes suivantes localisent les principaux gîtes et indices à tantale en France métropolitaine et en Guyane.

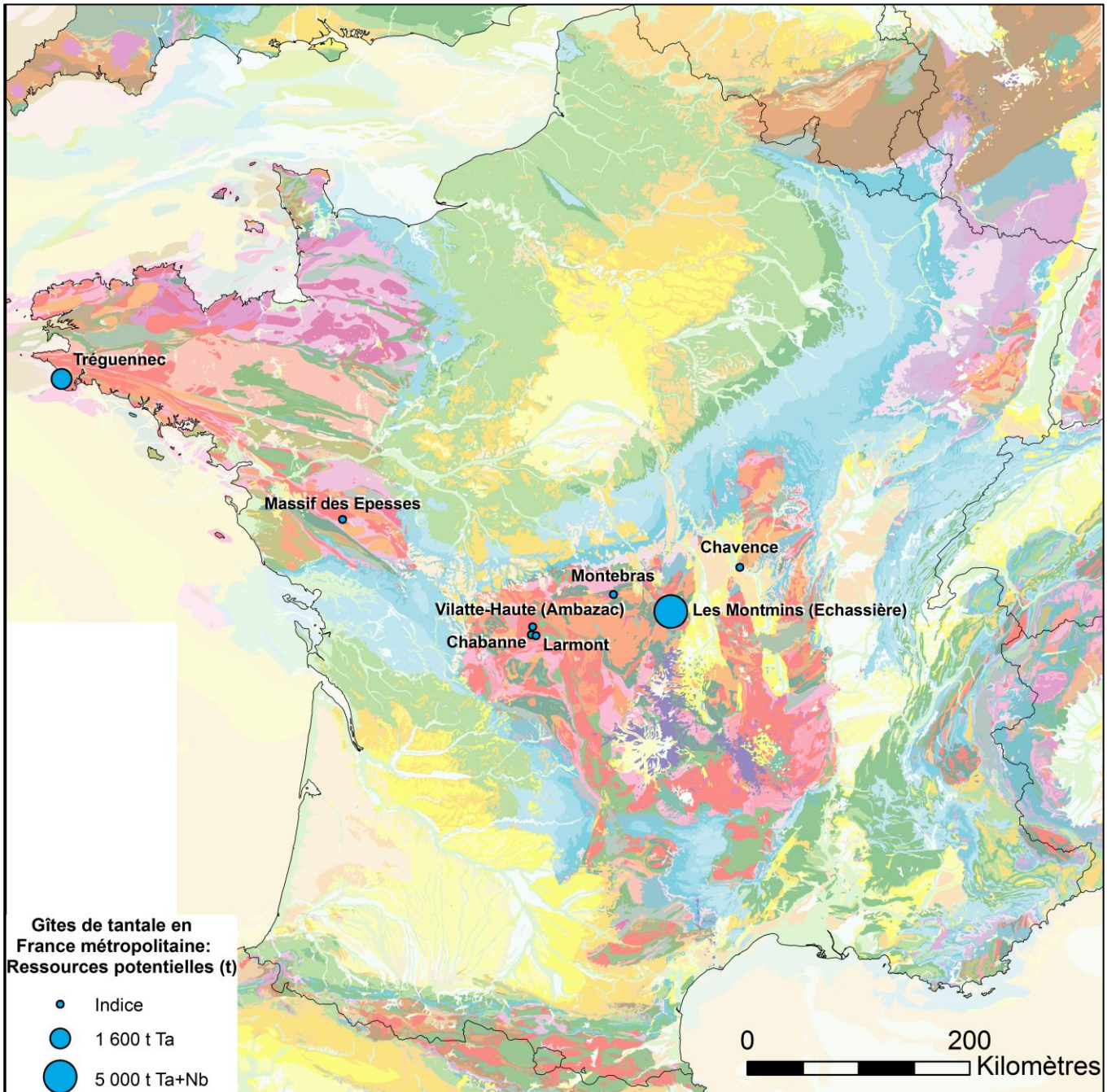


Figure 14 : Localisation des gîtes et indices à tantale en France métropolitaine (BRGM, 2011).

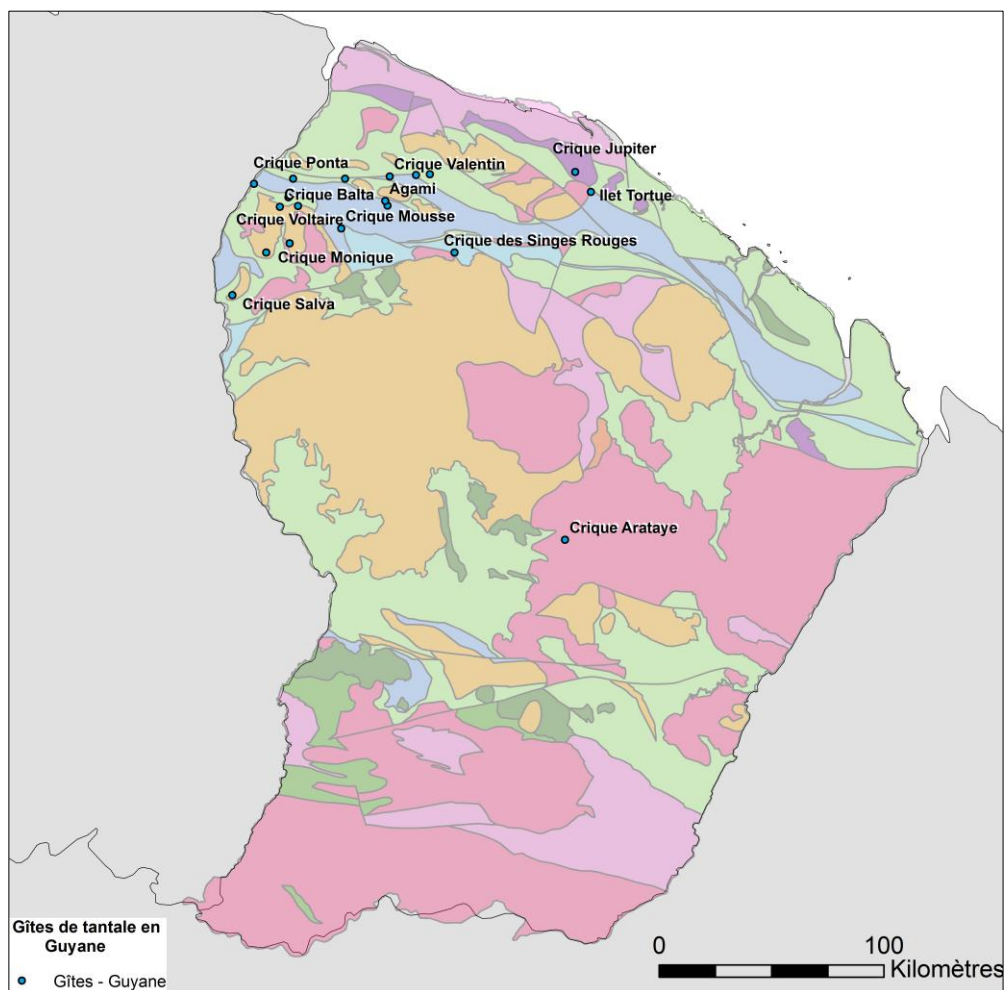


Figure 15 : Localisation des gîtes et indices à tantale en Guyane française (USGS-MRDS, 2011; BRGM, 2011).

#### 4.2.2 Ressources mondiales en tantale

Une estimation des ressources et réserves mondiales est publiée par le BGS à partir d'une compilation des données de l'USGS (Papp, 2011), du TIC (Schwela, 2010) et du Département National de Production Minérale brésilien ([www.dnpm.gov.br](http://www.dnpm.gov.br)).

Les réserves mondiales, définies comme le contenu en tantale valorisable à partir des minerais exploitables de manière économique en 2010, sont estimées à plus de 153 kt Ta, dont plus de la moitié (57,2 %) est localisée au Brésil. Les ressources<sup>7</sup> atteignent

<sup>7</sup> Les ressources considérées ici correspondent aux « reserve base » publiées par l'USGS jusqu'en 2008. Il s'agit du contenu en métal des ressources démontrées (mesurées + indiquées) qui pourraient, à l'avenir, devenir économiquement exploitables. Les ressources supposées sont exclues de cette définition.

les 317 kt Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et sont plus également réparties à l'échelle mondiale, notamment du fait des minéralisations à tantale d'Afrique centrale (9 % des ressources mais seulement 2 % des réserves mondiales) qui sont souvent jugées non exploitables pour des sociétés minières.

| Pays  | Ressources (2010)                |               | Réserves (2010) |               |
|---|----------------------------------|---------------|-----------------|---------------|
|   | t Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | %             | t Ta            | %             |
| <b>Brésil</b>   | 129 274                          | 40,8%         | 87 360          | 57,2%         |
| <b>Australie</b>                                      | 65 771                           | 20,7%         | 40 560          | 26,5%         |
| <b>Chine et Sud-Est Asiatique</b>                     | 33112                            | 10,4%         | 7 800           | 5,1%          |
| <b>Russie et Moyen Orient</b>                         | 31 298                           | 9,9%          | ----            | ----          |
| <b>Afrique Centrale</b>                               | 28 576                           | 9,0%          | 3 120           | 2,0%          |
| <b>Reste de l'Afrique</b><br><i>dont Mozambique :</i> | 21 318                           | 6,7%          | 12 480          | 8,2%          |
|   | ----                             | ----          | 3 200           | 2,1 %         |
| <b>Amérique du Nord</b>                               | 5 443                            | 1,7%          | 1 500           | 1,0%          |
| <b>Europe</b>   | 2 268                            | 0,7%          | ---             | ----          |
| <b>Total</b>  | <b>317 060</b>                   | <b>100,0%</b> | <b>152 820</b>  | <b>100,0%</b> |

Tableau 7 : Estimations des ressources et réserves primaires en tantale en 2010 (Moreno (JSI), 2011 ; BGS, 2011).

Les diagrammes suivants présentent la distribution des ressources et des réserves mondiales de tantale par pays ou zone.

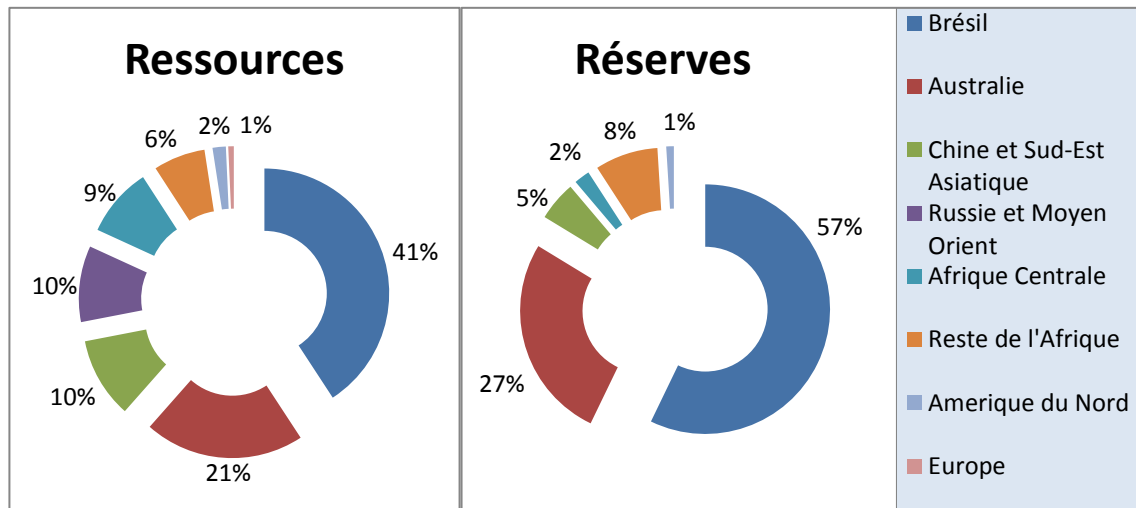


Figure 16 : Distribution relative des ressources et des réserves mondiales primaires de tantale (Moreno (JSI), 2011 ; BGS, 2011).

Les ressources primaires en tantale sont donc bien réparties entre les différents continents, à l'exception notable de l'Europe qui n'en abrite que 0,7 % (2 268 t Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en 2010). Des indices y sont cependant reconnus dans des pegmatites LCT (Rosendal en Finlande, Arvogno en Italie, les nombreux indices de République Tchèque comme

Lázně Kynzavart ou Podlesi, les pegmatites à spodumène d’Autriche et d’Irlande), dans des granites peralumineux (Trutzhofmuhle en Allemagne, Meldon en Angleterre ou Argemela au Portugal) ou, plus rarement, en placer (Ribeira do Macainhas et Ribeira do Gaia au Portugal).

La carte suivante localise les principaux districts à Li-Ta identifiés en Europe Occidentale en lien avec les structures majeures de l’orogénèse hercynienne.

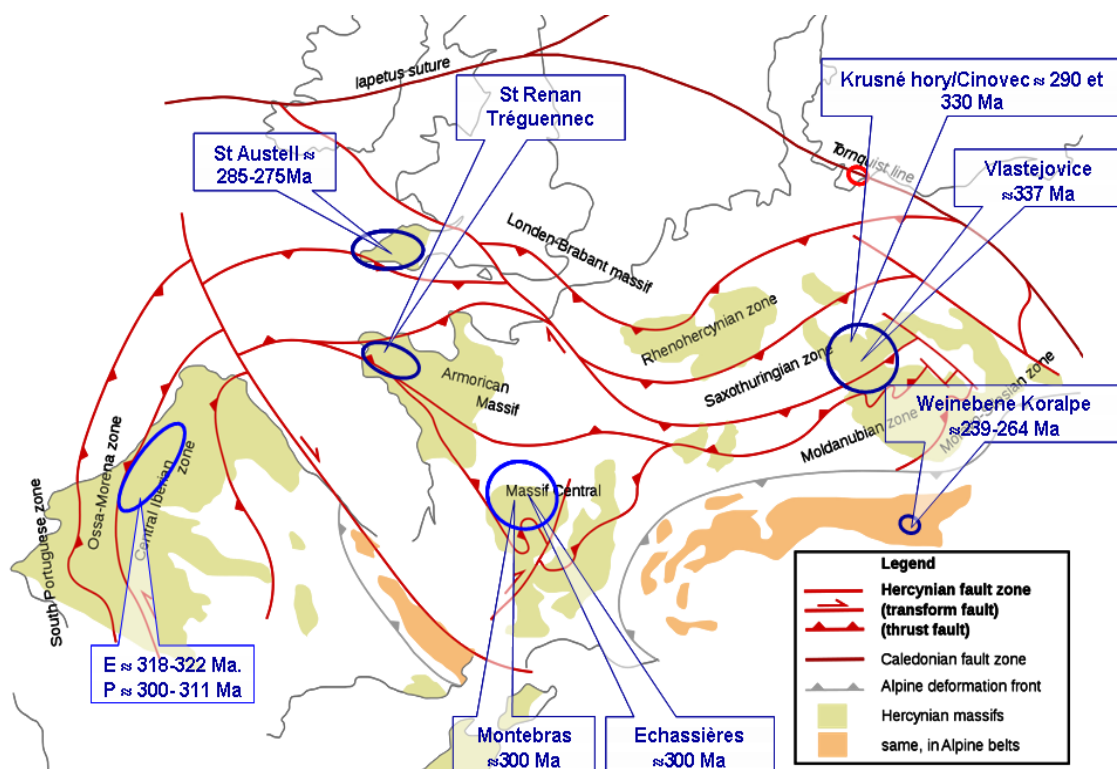


Figure 17 : Age et localisation des principaux gisements de lithium-tantale identifiés en Europe moyenne et méridionale (d’après Franke (1992, 2000), Matte (2001), von Raumer et al. (2003) et Walter (2003)).

Le potentiel portugais (ainsi que galicien) reste ainsi très sous-évalué. La moitié Nord du pays est en effet caractérisée par son abondance de champs pegmatitiques à métaux rares du type LCT : champ de Lalin-Forcarei (Galice, projet de Solid Resources pour Li), champ d’Argua-Minho, Barroso-Alvao, Seixoso-Vieiros, La Fregeneda-Almendra, Gonçalo-Seixo Amarelo et Queiriga. Ces pegmatites ont par le passé été exploitées pour l’étain. Actuellement, des opérations de production sont en cours ou en développement pour l’extraction de feldspath, de pétalite (LiAlSi<sub>4</sub>O<sub>10</sub>) et de spodumène à destination de l’industrie céramique.

Les cartes suivantes localisent les principaux gisements mondiaux à tantale (BRGM ; USGS-MRDS ; BGS, 2011) ainsi que la répartition mondiale des ressources et des réserves (Moreno, 2011 ; BGS, 2011).



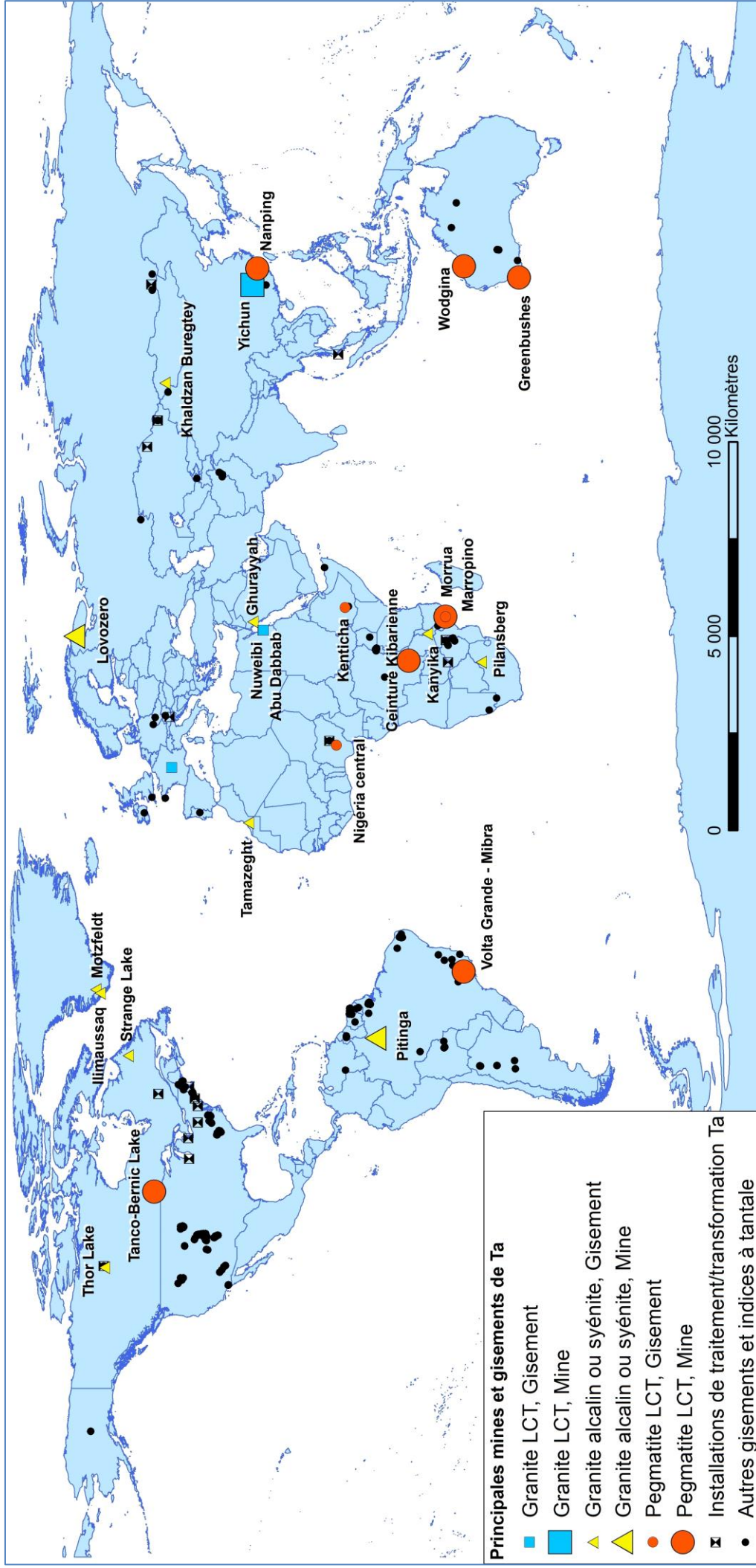


Figure 18: Principales mines et gisements à Ta et installations de traitement de tantale dans le monde (BRGM ; USGS-MRDS ; BGS, 2011).



Les gîtes et indices de tantale sont nombreux et bien répartis à échelle mondiale, mais les gisements économiquement exploitables sont restreints à l'Australie, au Brésil, au Canada, à la Chine, aux pays d'Afrique centrale et orientale ainsi qu'à l'Asie centrale. Ils constituent aussi dans leur grande majorité des sources de lithium, de feldspaths et localement de kaolin.

### ***Brésil***

Le Brésil abrite de nombreux indices à tantale ainsi que deux mines importantes. La première exploite la pegmatite LCT de taille kilométrique de **Volta Grande** d'âge Protérozoïque à Nazareno (district de Minas Gerais). Du tantale, niobium et lithium y sont mis en valeur (Lagache & Quémeneur, 1997). Elle est également appelée mine de **Mibra**.

Le niobium, le tantale et l'étain sont également extraits du granite peralcalin de **Pitinga** dans l'État des Amazonas.

### ***Australie***

Les gisements de **Greenbushes** et de **Wodgina**, d'âge Archéen, sont des pegmatites syntectoniques LCT de taille kilométriques à plurikilométriques. Le tantale apparaît sous forme de tantalite, de wodginite ( $Mn^{2+}(Sn,Ta)Ta_2O_8$ ) et en inclusion dans la cassitérite et la tourmaline. Du lithium est également extrait de ces deux mines (spodumène).

Le Craton du Pilbara, qui constitue le socle du gisement de Wodgina, abrite de nombreux indices sont en cours d'étude et de développement. Greenbushes est, quant à lui, sur le socle archéen de Yilgarn.

### ***Chine***

En Chine, plusieurs régions présentent des minéralisations à tantale contenues soit dans des pegmatites LCT, soit dans des granites peralumineux. Le gisement le plus connu est celui de **Yichun** qui est localisé dans le petit batholite granitique (moins de 10 km<sup>2</sup>) d'âge Jurassique où la minéralisation est constituée de colombo-tantalite, cassitérite et microlite disséminés. De nombreuses pegmatites LCT ont été exploitées par le passé que ce soit dans l'Altai (Nord-Ouest) ou la région de **Nanping** (Sud-Ouest) qui poursuit sa production de concentrés de tantale et de niobium (Papp (USGS), 2009).

### ***Afrique centrale***

En Afrique Centrale, des pegmatites LCT d'âge protérozoïque recoupent la **Ceinture Kibarienne** et s'étendent depuis le Burundi en passant par le Rwanda, l'Ouganda et la République Démocratique du Congo. Elles constituent l'essentiel des zones exploitées. Le tantale y est extrait à la fois des zones saprolitiques (altération superficielle) où seuls subsistent les minéraux insolubles ainsi que des placers dérivés de ces pegmatites (Romer et Lehmann, 1995).

### Reste de l'Afrique

Au Mozambique, les pegmatites de la province d'Alto Ligonha sont exploitées depuis 1929 avec les gisements de **Marropino** et **Morrua**. Ces pegmatites datées de l'Ordovicien sont encaissées dans le socle métamorphisé de la Sous-province de Nampula (Graupner *et al.*, 2010).

Au Nord de l'Afrique, de nombreux corps pegmatitiques encaissés dans les roches néo-protérozoïques du Bouclier Arabo-Nubien sont connues (Küster, 2009), comme à **Kenticha** en Éthiopie ou à **Majahayan** en Somalie. À Kenticha, seule la pegmatite principale à spodumène est exploitée pour la colombo-tantalite dans le niveau de saprolite lié à l'altération latéritique fossile.

A ces pegmatites de type LCT il faut ajouter les granites per-alumineux d'**Abu Dabbab** et de **Nuweibi** en Égypte qui sont au stade de la mise en exploitation (Küster, 2009).

### Canada

Les gisements canadiens de tantale sont principalement des pegmatites archéennes LCT, comme à Bernic Lakes (Manitoba). Le principal gisement de ce champ pegmatitique est **Tanco**. Le tantale s'y trouve distribué dans des minéraux finement divisés, ce qui rend le procédé d'extraction délicat (Černý, 1989). Du césium et du lithium sont aussi extraits de la pegmatite de Tanco. De nombreux autres corps pegmatitiques ont été mis en évidence, comme dans les provinces du Lac Supérieur, de l'Ontario et du Manitoba. Ils sont plus ou moins minéralisés (Selway *et al.*, 2005).

Des intrusions granitiques peralcalines abritent plusieurs gisements tantalifères à minéralogie complexe, comme à **Strange Lake** qui contient du pyrochlore (terres rares) et de la gittinsite (silicate à Ca-Zr). Le gisement de **Thor Lake** fait partie de complexe de Blatchford Lake dans les territoires du Nord. Il est enrichi en Be, Y, terres rares, Nb, Ta et Zr. Ce gisement est en cours de développement par Avalon Rare Metals Inc. pour valoriser les terres rares, le niobium et le tantale. Le tableau suivant présente les ressources des principaux gisements mondiaux.

| Gisement           | Pays            | Tonnage de minerai (Mt) | Teneur en Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%) | t Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> contenues | Type de ressources |
|--------------------|-----------------|-------------------------|--|--|--------------------|
| <b>Greenbushes</b> | Australie       | 292                     | 0,025  | 77 500                                     | Historiques        |
| <b>Wodgina</b>     | Australie       | -                       |  | 61 200                                     | Historiques        |
| <b>Pitinga*</b>    | Brésil          | -                       | -  | 88 000                                     | Réserves           |
| <b>Kenticha</b>    | Éthiopie        | 116                     | 0,02   | 23 200                                     | Historiques        |
| <b>Morrua</b>      | Mozambique      | 7,5                     | 0,07   | 5 250                                      | Réserves           |
| <b>Marropino</b>   | Mozambique      | 21,7                    | 0,019  | 4 123                                      | Historiques        |
| <b>Abu Dabbab</b>  | Égypte          | 39,9                    | 0,025  | 9 975                                      | Historiques        |
| <b>Ghurrayyah</b>  | Arabie Saoudite | 400                     | 0,025  | 100 000                                    | Inférées           |

Tableau 8 : Ressources des principaux gisements mondiaux de tantale (Polak, 2009 ; \*Heidrich (DNPM), 2007).

### 4.2.3 Commentaires sur les ressources et réserves

Les évaluations des « reserve base » et ressources telles que proposées par l'USGS et le BGS ne prennent pas en compte ni les ressources supposées, ni les ressources hypothétiques que les progrès de la connaissance n'ont pas encore révélées.

Les gisements de tantale sont relativement nombreux et assez bien répartis géographiquement bien que certains ayant un poids conséquent dans l'approvisionnement mondial soient localisés sur des zones politiquement instables comme le Nigéria et la région des Grands Lacs. Dans cette région, l'exploitation y est très majoritairement artisanale. Bien que les ressources y soient importantes, leur valorisation est délicate et soumise à des controverses et sanctions internationales, notamment depuis l'entrée en vigueur de la loi Dodd-Franck aux États-Unis (voir § Production).

Les réserves actuellement identifiées permettraient d'assurer la demande mondiale pendant environ 75 ans au rythme actuel de 2 000 t/an. Les ressources mondiales telles qu'estimées par l'USGS et le BGS (317 kt Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, soit environ 260 kt Ta) correspondent, quant à elles, à 40 années de consommation.

**Si les ressources aujourd'hui recensées apparaissent relativement grandes en comparaison avec la consommation mondiale, le risque de rupture d'approvisionnement n'en demeure pas moins réel**, notamment du fait de plusieurs facteurs qui seront développés plus loin :

- Plusieurs crises du tantale connues dans le passé, dont celle de 2000 où l'offre n'était pas suffisante pour satisfaire la demande des NTIC ;
- Part importante de la production reposant sur quelques grosses mines, ce qui pénalise fortement la filière lors de leur fermeture (Greenbushes et Wodgina, fermées pour maintenance entre 2008 et 2011) ;
- Mise en place de plusieurs initiatives visant à contrôler l'exploitation artisanale illicite dans la région des Grands Lacs.

## 4.3 PRODUCTION : DONNÉES RÉCENTES ET ACTUELLES

Le tantale est produit majoritairement à partir de concentrés primaires de tantale (60 %). Il est également obtenu à partir de concentrés mixtes (ou concentrés secondaires) à Ta-Nb(Ti) (traitement du minerai à struvérite). 10 % de la production mondiale de tantale provient de la valorisation des scories d'étain, tout particulièrement en Malaisie et en Thaïlande. Enfin, le recyclage contribue à hauteur de 20 % à l'offre mondiale de tantale (TIC, 2012).

Le graphique suivant présente cette répartition historique entre les différentes sources de tantale.

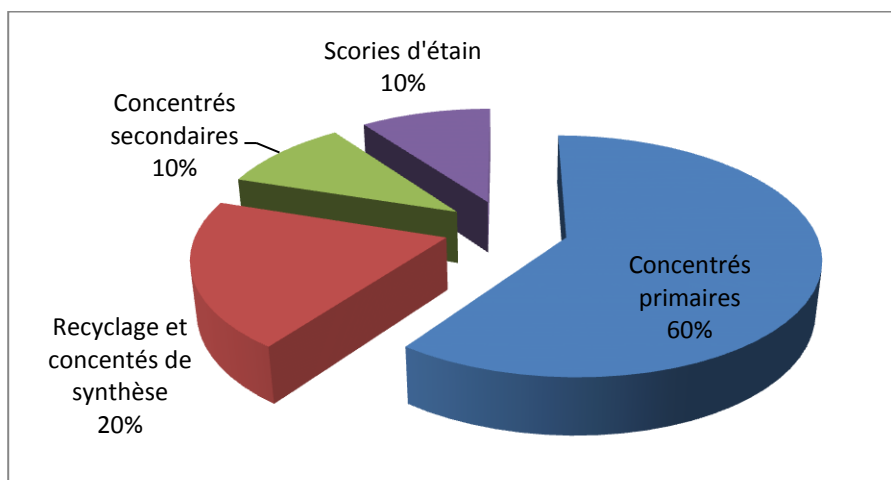


Figure 19 : Répartition historique des différentes sources de tantale dans l'offre mondiale (TIC, 2012).

### 4.3.1 Production primaire

Peu de pays publient leur production, à l'exception notable du Brésil qui affiche ses chiffres par l'intermédiaire du DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral) dans ses « Mineral Summary » (publiés jusqu'en 2007) et de l'IBRAM (Instituto Brasileiro de Mineração) qui ne publie, cependant, pas de données sur le tantale.

Plusieurs organismes regroupent les données mondiales de production minière. Il s'agit principalement des services géologiques britannique (BGS) et américain (USGS) ainsi que du TIC. Les chiffres varient de manière assez importante entre ces trois sources.

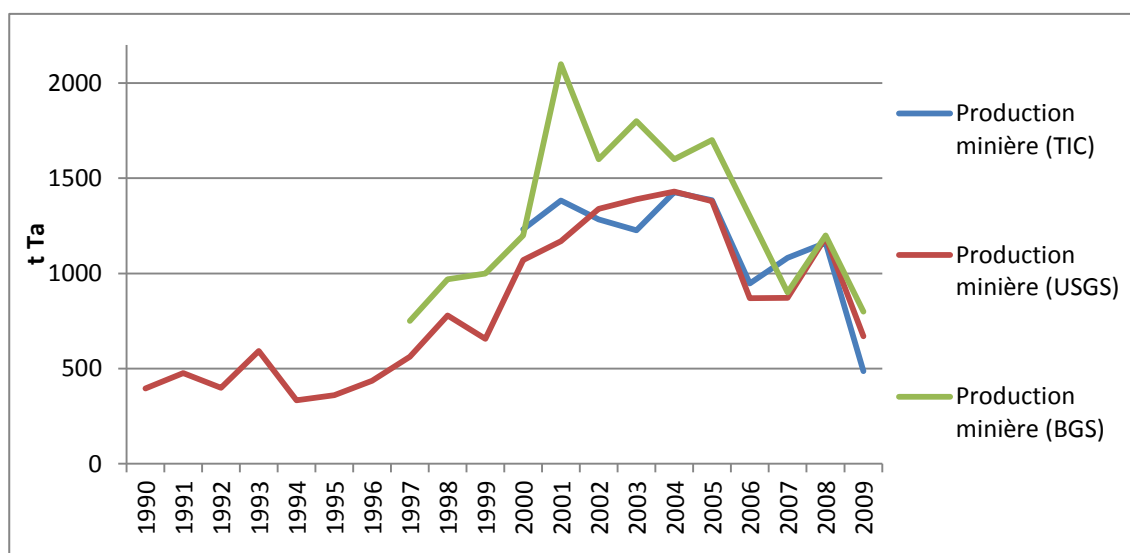


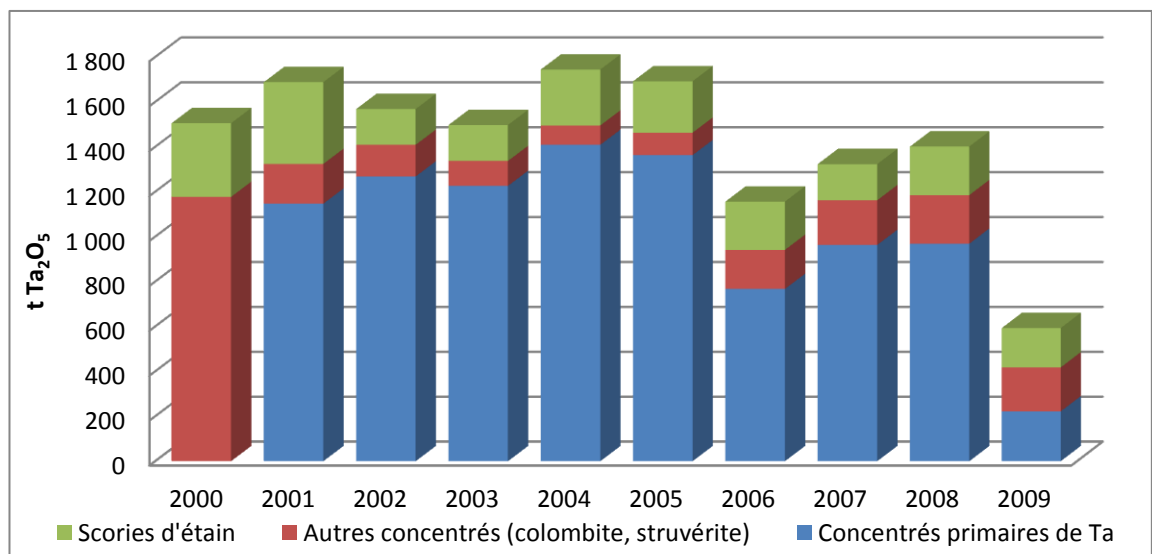
Figure 20 : Variation de la production primaire de tantale (t Ta métal) entre 1990 et 2009 selon le TIC, l'USGS et le BGS.

La production minière donnée par l'USGS est systématiquement plus faible que celle donnée par les autres organismes du fait que le tantale récupéré des scories d'étain n'est pas pris en compte, contrairement au BGS et au TIC. L'association des industriels du tantale, le TIC, sous-estime également très probablement les niveaux de production primaire. En effet, ses membres ne publient pas toujours leurs statistiques et une large part de production artisanale n'est pas prise en considération.

Le BMWFJ (Ministère autrichien de l'économie, de la famille et de la jeunesse « Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend ») publie les productions de concentrés de colombo-tantalite dans son « World Mining Data » sans toutefois distinguer la part du tantale de celle du niobium.

Dans le courant de ces vingt dernières années, après avoir connu une croissance régulière et un boom dans les années 2000, le marché du tantale semble avoir atteint sa maturité. Les principales sources de tantale ont été essentiellement fournies par les mines d'Australie (Wodgina et Greenbushes), du Brésil (Pitinga, Mibra), du Canada (Tanco) et d'Afrique (Kenticha, Marropino,...).

Le TIC présente le détail de la production primaire, c'est-à-dire la contribution des concentrés de tantale, des autres concentrés tantalifères (colombite, struvérite) et des scories d'étain (> 2 % Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) dans la production mondiale.



NB : En 2000, la production à partir des concentrés primaires de tantale n'est pas distinguée de celle provenant de la valorisation d'autres concentrés (colombite, struvérite).

Figure 21 : Détail de la production primaire entre 2000 et 2009 (en t Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) : production à partir de concentrés primaires de Ta, d'autres concentrés et de scories d'étain (TIC bulletin n°145, 2011 ; TIC in Roskill, 2009).

À partir d'une compilation de données de l'USGS (« Minerals Yearbooks », « Mineral commodity Summaries », 2011) et de l'étude de Roskill (2009), l'évolution de la production primaire estimée des principaux pays producteur est présentée entre 2000 et 2010.

Après une large domination de l'Australie dans la production mondiale, le Brésil est devenu le premier producteur de tantale en 2009 devant le Mozambique et le Rwanda. Cela s'explique par la fermeture temporaire des mines de Greenbushes et de Wodgina<sup>8</sup>. En Afrique, les plus gros producteurs historiques tantale sont le Rwanda, l'Ouganda, l'Éthiopie et la République Démocratique du Congo (RDC). Le Mozambique apparait comme un important producteur depuis la réouverture de la mine de Marropino en 2003.

|                  | 2000 | 2001 | 2002  | 2003 | 2004 | 2005  | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|------------------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| Australie        | 592  | 806  | 1 148 | 973  | 985  | 1 043 | 584  | 435  | 500  | 81   | 80   |
| Brésil           | 232  | 256  | 232   | 231  | 260  | 264   | 215  | 235  | 226  | 180  | 180  |
| Burundi          | 10   | 39   | 18    | 7    | 7    | 9     | 3    | 9    | 16   | 16   |      |
| Canada           | 70   | 94   | 71    | 67   | 70   | 77    | 68   | 55   | 68   | 25   | 25   |
| Chine            | -    | -    | -     | -    | -    | -     | -    | -    | 137  | -    | -    |
| Ethiopie         | 48   | 34   | 43    | 43   | 55   | 72    | 85   | 94   | 68   | 37   | -    |
| France           |      |      |       | 5    | 5    | 5     | 5    | 5    | 5    | -    | -    |
| Mozambique       | 12   | 13   | 23    | 66   | 250  | 99    | 28   | 28   | 110  | 113  | 110  |
| Namibie          | 1    | 4    | 7     | 13   | 13   | -     | -    | -    | -    | -    | -    |
| Nigéria          | 23   | 37   | 10    | 26   | 6    | 12    | 12   | 12   | 25   | 20   | -    |
| Ouganda          | 1    | 4    | 2     | 5    | 6    | 0,5   | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | -    |
| RD Congo         | 159  | 73   | 37    | 18   | 73   | 33    | 14   | 71   | 80   | 87   | -    |
| Russie           | -    | -    | -     | -    | -    | -     | -    | -    | 43   | -    | -    |
| Rwanda           | 151  | 65   | 24    | 32   | 49   | 68    | 46   | 120  | 120  | 104  | 100  |
| Somalie          | -    | -    | -     | -    | -    | -     | -    | -    | 3    | 2    | -    |
| Zimbabwe         | -    | 11   | 176   | 84   | 5    | 17    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Afrique (autres) | -    | -    | -     | -    | -    | -     | -    | -    | -    | -    | -    |
| Asie (autres)    | -    | -    | -     | -    | -    | -     | -    | -    | 70   | -    | -    |
| Autres           | 205  | 252  | -     | -    | -    | -     | 96   | 257  | -    | -    | 175  |
| TOTAL            | 1504 | 1688 | 1568  | 1497 | 1743 | 1691  | 1157 | 1322 | 1190 | 667  | 670  |

Figure 22 : Evolution de la production minière de tantale par pays entre 2000 et 2009 (compilation de données des « Minerals Yearbooks » de l'USGS ; Roskill, 2009).

La production est concentrée sur trois continents : l'Océanie (Australie), l'Amérique du Sud (Brésil) et l'Afrique. La production de tantale à partir de scories d'étain (minerai de cassitérite ou retraitement des résidus miniers stannifères) est particulièrement développée en Asie (Thaïlande et Malaisie) ainsi que, dans des proportions moindres, au Brésil.

Le diagramme suivant présente la répartition de la production primaire mondiale en 2008.

<sup>8</sup> Les mines de Wodgina et de Greenbushes ont été mises en arrêt pour maintenance à partir de 2008, principalement en raison de la baisse du cours du tantale et de la concurrence accrue avec le minerai africain. En avril 2011, Global Advanced Metals a redémarré la production de sa mine Wodgina. Après un premier traitement sur place, le concentré est expédié sur le site de Greenbushes où il est valorisé (concentré, poudres, produits métallurgiques, ...). L'exploitation minière de Greenbushes est, quant à elle, toujours suspendue. En parallèle, Talison Lithium exploite ce gisement pour en produire du lithium.



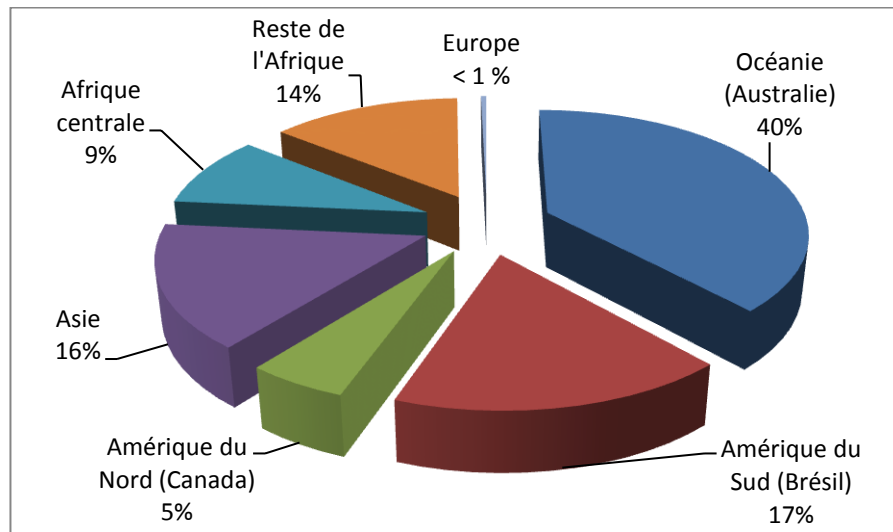


Figure 23 : Répartition de la production mondiale de tantale primaire par région en 2008 (USGS, 2009 ; Roskill, 2009).

- **L'exploitation artisanale**

Avec la montée des prix du tantale, l'exploitation minière artisanale s'est considérablement développée, notamment en 2000. Ce fut particulièrement le cas dans la région des Grands-Lacs africains (RDC, Rwanda, Burundi, Ouganda) où le minerai (coltan) y est riche et facilement exploitable sans mécanisation poussée (placers et/ou pegmatites très altérées).

La montée en puissance de l'exploitation artisanale peut générer le développement socio-économique dans des zones rurales de certaines régions, ayant pour effet de réduire l'exode rural et les flux migratoires par une réduction de la pauvreté. Toutefois, ces activités minières peuvent aussi avoir des impacts socio-environnementaux dramatiques, comme à l'Est de la RDC. Les tensions qui existaient déjà auparavant entre divers groupes rebelles ont été exacerbées par l'essor de cette nouvelle richesse. L'impôt prélevé par les groupes armés sur la production artisanale a ainsi financé l'achat d'armes et contribué à envenimer le conflit.

Cette situation a conduit à plusieurs initiatives, comme la mise en place de sanctions et l'incitation à la publication de statistiques de production et d'exportation de coltan par les Nations Unies (CS/10464, 2011), la création du « Guide sur le devoir de diligence pour des chaînes d'approvisionnement responsables en minerais provenant de zones de conflit ou à haut risque » de l'OCDE avec la mise en œuvre d'un supplément sur l'étain, le tantale et le tungstène (OCDE, 2011), ainsi que l'introduction de la loi Dodd-Franck aux États-Unis.

La loi Dodd-Franck exige que les sociétés américaines et les sociétés étrangères opérant aux États-Unis rendent compte sur l'origine des minerais (dont le tantale). L'idée est de restreindre, dans la mesure du possible, l'utilisation de minerais provenant des zones de conflit à travers une traçabilité de la chaîne

d'approvisionnement depuis l'extraction jusqu'à l'élaboration de produits finis. Les leaders mondiaux du secteur, comme Apple Inc, Motorola Solutions Inc ou encore AVX Corp ont déjà pris des initiatives pour être conformes à cette loi (Moreno, 2011).

La RDC possède de vastes ressources de colombo-tantalite dans plusieurs régions du pays. Les estimations de production de tantale en dans la région des Grands Lacs varient énormément en fonction des sources. Selon le consultant Jacob Securities, plus de 50 % de l'approvisionnement mondial en tantale de 2009 est provenu de la RDC et du Rwanda. Ces ventes de minéraux de conflit auraient rapporté plus d'1 milliard de dollars à l'État congolais en 2009 (Moreno, 2011).

Il est, toutefois, important de souligner la grande réactivité de la filière artisanale par opposition à la filière industrielle mécanisée (il faut environ 10 à 15 ans, tous projets confondus, entre la découverte d'un gisement et sa mise en exploitation). Le boom artisanal du début des années 2000 dans la région des Grands Lacs a ainsi largement contribué à atténuer la pénurie de tantale sur le marché international et donc à limiter l'impact de la crise (Hocquard, BRGM, 2007).

#### 4.3.2 Production secondaire

La production secondaire inclut les apports du recyclage et des concentrés de synthèse (ou syncon<sup>9</sup>) obtenus à partir des scories pauvres d'étain. Elle contribue en général à hauteur de 20 % à la production mondiale totale de tantale.

La majorité de cette production secondaire provient de la valorisation des chutes de production lors de la fabrication des superalliages, des composants électroniques et des carbures cimentés tantalifères.

Une autre source de production réside dans le recyclage des déchets en fin de vie, principalement des condensateurs (et des composants électroniques en général). La part de matériel recyclé retournant dans la chaîne d'approvisionnement est estimée à environ 544 t/an Ta (soit 633 t/an Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) (Zogbi, 2009 ; Papp, USGS, 2009).

La mise sur le marché de matériau issu des stocks stratégiques américains est une autre source secondaire de tantale. Les volumes vendus par le DLA (Defense Logistics Agency, anciennement DNSC (US Defense National Stockpile Center [www.dnsc.dla.mil](http://www.dnsc.dla.mil))) ont pu être importants par le passé, mais depuis 2008, le tantale est maintenu en réserve sous forme de poudre de TaC. Le tableau suivant présente le tonnage de tantale vendu à partir de ces stocks stratégiques entre 1998 et 2009.

---

<sup>9</sup> Le « syncon », ou concentré synthétique, est le concentré obtenu à partir du traitement des scories d'étain pauvres. Une succession de procédés pyrométallurgiques et hydrométallurgiques permet d'obtenir un « syncon » titrant entre 40 et 70 % (Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), contre 8 à 10 % maximum avant les étapes d'enrichissement. Le « syncon » ainsi obtenu suit alors les procédés de transformation appliqués aux concentrés primaires (tantalite, colombite ou struvérite) (Polak, 2009).

| 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007             | 2008 | 2009 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|------|------|
| 13   | 5    | 242  | 53   | 16   | 336  | 127  | 210  | 289  | (2) <sup>1</sup> | -    | -    |

<sup>1</sup>De petites quantités de minéraux de tantale ont vraisemblablement été déstockées en 2007 à des moments stratégiques, mais elles ont probablement été entièrement consommées quasi-instantanément (Zogbi, 2009).

Tableau 9 : Volumes de tantale vendus à partir du stock stratégique américain entre 1998 et 2009 (compilation des « Mineral Commodity Summaries » de l'USGS ; [www.dnsc.dla.mil](http://www.dnsc.dla.mil)).

## 4.4 PROCÉDÉS DE PRODUCTION

### 4.4.1 Métallurgie du tantale

#### *Du minerai au concentré*

L'obtention d'un concentré à partir d'un minerai à microlite ((Na,Ca)<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>6</sub>(O,OH,F)) passe par une première phase de concassage dans des broyeurs à mâchoires, cônes et ou à impact. Ensuite, il est broyé dans des broyeurs à boulets ou a barre fonctionnant en circuit fermé avec des tamis vibrants et des classificateurs à spirales pour libérer le tantale. La pulpe est ensuite concentrée à environ 54 % de Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> par divers stades utilisant tour à tour des méthodes gravimétriques, de flottations sélectives, de séparations magnétique et électrostatique et parfois la purification par attaque acide (cas des oxydes de type A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>6</sub>). Ce procédé est également utilisé dans le traitement du minerai à pyrochlore (au sens strict) comme à Niobec (Canada) pour en concentrer le niobium.

Dans le cas de la tantalite (ou de la colombo-tantalite plus généralement), la concentration privilégie l'utilisation de méthodes gravitaires (tables à secousse, spirales et jigs). Ensuite, les concentrés séchés contenant autour de 6 % Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sont enrichis en cassitérite (non-magnétique) et en tantalite (paramagnétique) par séparation sous champs magnétique de haute intensité. Cette fraction paramagnétique est ensuite concentrée à 30 % Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> par grillage. Une flottation suivie d'un grillage de la fraction non-magnétique permettent d'en retirer les sulfures. Des méthodes classiques de pyrométallurgie sont ensuite appliquées pour séparer la fraction Sn de celle Ta (Fetherston, 2004 ; BGS, 2011).

Dans les gites résiduels en milieu latéritique le processus de flottation sera gêné par le Fe<sup>3+</sup> qui pseudomorphose les oxydes comme le pyrochlore. Ils présentent, cependant, l'avantage de connaître une libération naturelle *in situ* des minéraux lourds (dont ceux porteurs de tantale) du fait de l'altération, comme à Greenbushes (Australie) ou Mibra (Brésil) (Polak, 2009).

Le diagramme suivant présente les principales étapes permettant d'obtenir un concentré à partir des minerais à colombo-tantalite et à microlite.

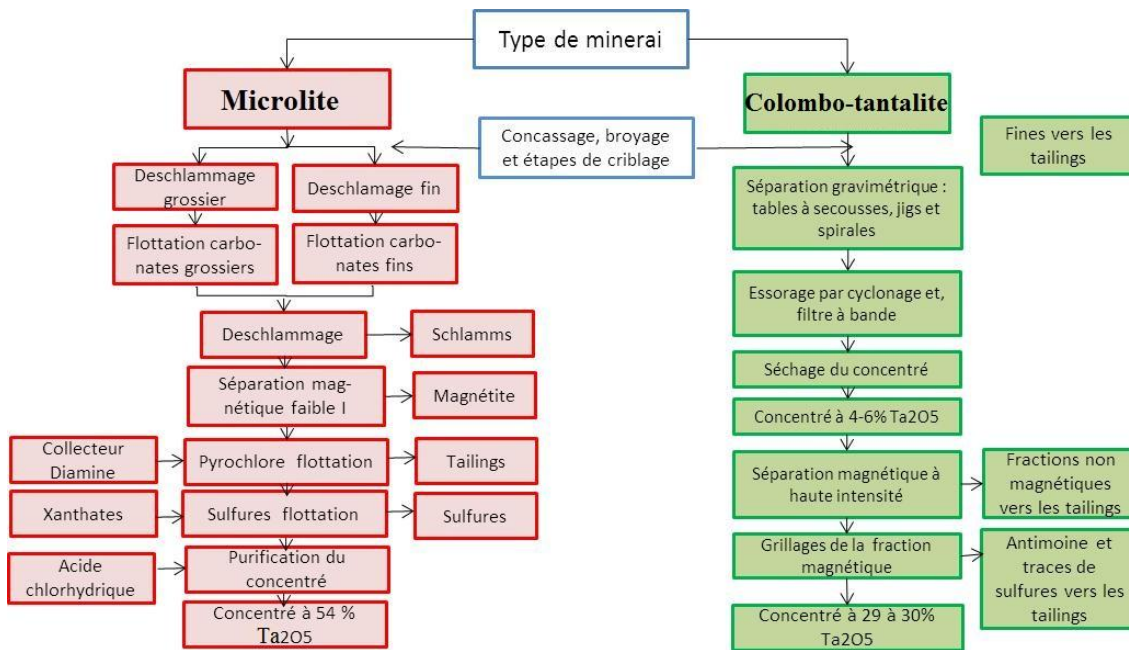


Figure 24 : Obtention de concentrés de tantale à partir de minerai à microlite (pyrochlore) et à colombo-tantalite (adapté d'après BGS, 2011).

Un concentré peut également être obtenu du traitement de scories d'étain, elles-mêmes issues de la pyrométallurgie de la cassitérite ( $\text{SnO}_2$ ). La teneur en Ta et Nb des scories dépend, bien sûr, de la minéralogie du minerai d'étain ainsi que des procédés de concentration mis en œuvre, ce qui permet de distinguer les scories riches (> 8-10 %  $\text{Ta}_2\text{O}_5 + \text{Nb}_2\text{O}_5$ ) des scories pauvres.

Les procédés de traitement des scories riches ont été développés par Thaisarco (Thaïlande) et Talison Minerals (dont la branche tantale s'appelle Global Advanced Minerals depuis 2010). Suite au traitement classique de l'étain, un passage au four électrique est ajouté pour produire une fonte plus riche en Sn qui sera, ensuite, coulée dans de l'eau pour sa fragmentation. Ce procédé permet d'atteindre des teneurs de 15 à 18 %  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  dans les scories de Thaisarco et de 30 % pour Talison. Celles-ci sont alors assimilables à un minerai classique et suivent la voie précédemment développée. Dans le cas des scories pauvres, un enrichissement préalable est réalisé en associant plusieurs étapes pyrométallurgiques et hydrométallurgiques afin d'obtenir un concentré synthétique (« syncon »). Elles suivent ensuite la voie classique (Polak, 2009).

### Du concentré au métal

Le tantale métal peut être obtenu à partir de trois composés majeurs : les fluorures, les oxydes et les chlorures. Le concentré mixte Ta-Nb est digéré par un mélange d'acides chlorhydrique et sulfurique. Le mélange est séparé par une méthode de séparation liquide qui permet d'extraire les métaux d'intérêt des impuretés (Fe, Mn, Sn et Ti) par l'ajout de cyclohexane, de MIBK (méthylisobutylcétone) ou TPB (tributyl phosphate).

L'échange d'ion est utilisé pour obtenir des solutions de très haute pureté. Il est habituellement réalisé en utilisant un extractant amine dans du kérosène.

Dans le cas du MIBK, la phase organique subit un lavage à l'acide sulfurique très concentré. Le niobium est alors extrait sous forme de complexe fluoroniobiate-acide fluorhydrique par addition d'eau ou d'acide sulfurique dilué et de fluorure de potassium. Cet extrait forme une phase aqueuse. Le tantale, sous forme de complexe fluorotantalate, reste dans la phase organique. La phase aqueuse est remise en contact avec le MIBK pour extraire les dernières traces de tantale puis redirigée vers le cycle d'extraction. Les deux composés peuvent être précipités sous forme d'hydroxydes par ajout de  $\text{NH}_3$ . Les hydroxydes résultants sont calcinés pour obtenir le pentoxyde.

Le passage par le stade fluoroniobiate-acide fluorhydrique ou de fluoroniobate de potassium est indispensable pour extraire de manière différentielle le tantale du mélange. Les oxydes sont obtenus par calcination, le tantale métal pur par fusion réductrice avec du sodium et le niobium métal pur, par réaction aluminothermique (Albrecht, 1989).

Le diagramme suivant présente les étapes qui permettent d'obtenir les produits semi-finis (métaux et pentoxydes) à partir de concentrés.

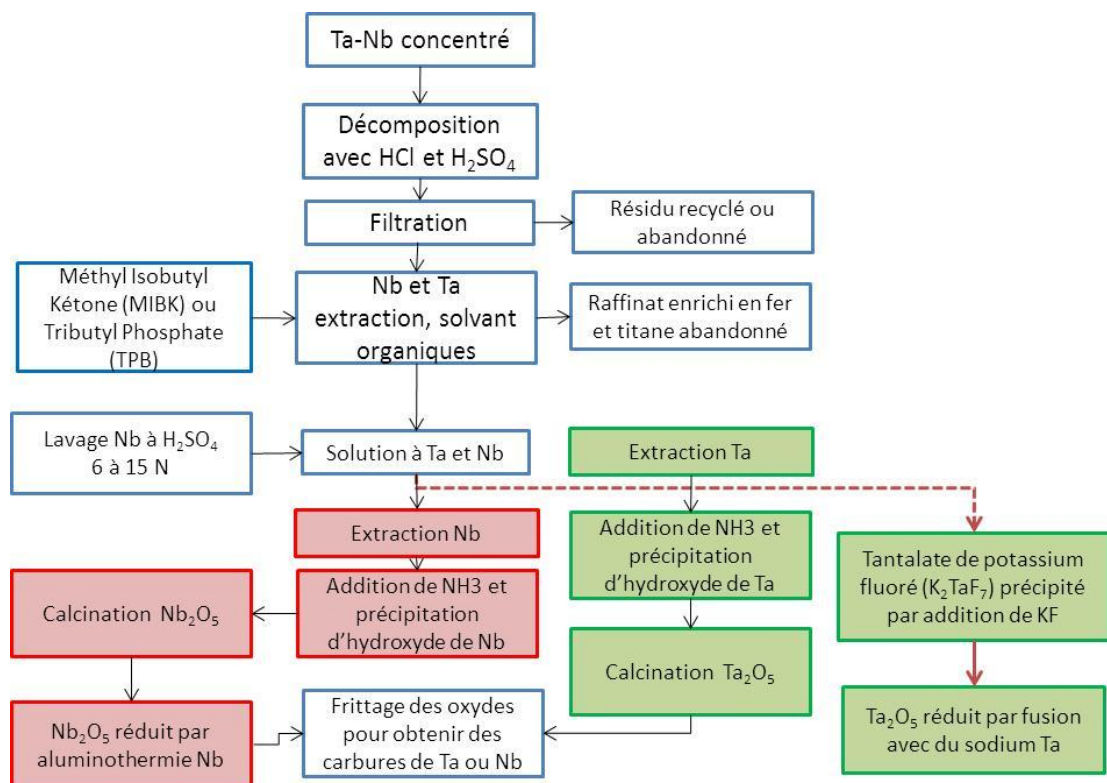


Figure 25 : Procédé simplifié pour obtenir le tantale et le niobium (pentoxydes et métaux) à partir des concentrés (d'après Albrecht, 1989 in BGS, 2011).

#### 4.4.2 Pollution et environnement

L'uranium et le thorium sont présents dans les minerais tantalifères. Ils ont une géochimie assez proche de celle du tantale et se retrouvent donc concentrés lors du traitement. Il existe, d'ailleurs, des pénalités (décotes) à l'achat du minerai en fonction de leur teneur en U et Th.

Le traitement de ces minerais engendre ainsi des déchets qui, bien que peu radioactifs et de faible volume, sont difficilement gérables (Polak, 2009).

Un groupe de travail, coordonné par la TIC, a été formé afin d'assister l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA) dans la définition de standards pour les minerais. Le groupe s'est penché sur la radioactivité des minerais, les dispositions à prendre lors de leur transport ainsi que sur l'exposition du personnel. La majorité des concentrés de tantale a une radioactivité allant jusqu'à 40 Bq/g. Depuis l'abaissement de la limite de classification des « Marchandises Radioactives Dangereuses » de l'AIEA de 70 à 10 Bq/g, la plupart des concentrés à Ta sont considérés comme dangereux et nécessitent un moyen de transport adapté (classe 7). Le TIC milite, cependant, pour une révision de cette valeur seuil (Wickens, TIC, 2004 ; Polak, 2009).

#### 4.5 RECYCLAGE

Le recyclage contribue en moyenne à hauteur de 20 % dans l'offre mondiale en tantale et représente entre 300 et 400 t de métal (TIC, 2012). Pour l'UNEP (2009), il représente 25 % de la consommation mondiale de matière première. Il existe, cependant, de grandes variations dans le taux de recyclage de ses principales applications.

Le tantale présent dans les chutes métalliques (rebuts de production) est relativement bien recyclé, notamment par le fait qu'elles sont facilement récupérables et concentrées. Elles sont retournées au fabricant qui peut alors les refondre. Les alliages et métaux recouverts d'une couche de tantale sont également bien recyclés (BGS, 2011 ; USGS, 2011). 100 à 110 t de carbure de tantale sont récupérée annuellement par l'industrie des outils de coupe qui recycle l'essentiel en interne, 60 à 70 t sont retournées aux transformateurs. Pour ces outils de découpe, le taux de retour est important (35 %) ; les carbures de tantale, tungstène et titane sont ainsi bien récupérés (Polak, 2009).

Cependant, la miniaturisation des composants électroniques rend la séparation de ses différents constituants difficile et onéreuse. L'usage du tantale pour les condensateurs est donc dispersif. Plus généralement, lorsque la concentration en tantale est faible, il est techniquement difficile de le recycler (UNEP, 2009). La filière de collecte se met toutefois en place. Pour l'ADEME, 800 000 téléphones portables aurait été collectés en France en 2008, ce qui représente un gisement de 200 à 300 kg de tantale (Monier *et al.*, 2010).

Les chutes de production de Firadec, constructeur français de condensateurs, sont confiées à un recycleur et selon le groupe, le tantale serait recyclé en Chine ou en Inde

pour entrer dans la fabrication de tôles pour des applications militaires (Monier *et al.*, 2010). En France, il n'existe pas de four de fusion sous vide permettant de recycler des chutes métalliques massives de tantale. Le recyclage y est donc assez limité, bien que l'ADEME a évalué un gisement collectable situé entre 50 et 100 t par an (Monier *et al.*, 2010) :

| Type de déchets                                  |                       | Quantité de déchets collectables en France (par an) | Gisement de tantale collectable (par an) |
|--|-----------------------|---|--|
| <b>Condensateurs (dont chutes de production)</b> | Ordinateurs portables | 5 100 000 unités                                    | 5 à 10 t                                 |
|  | Téléphones portables  | 20 000 000 unités                                   | 4 à 8 t                                  |
|  | Total                 | -   | 30 à 80 t                                |
| <b>Outils de coupe</b>                           |                       | -   | 12 à 13 t                                |
| <b>Matériel de chimie</b>                        |                       | -   | 3 à 5 t                                  |
| <b>Chutes de production</b>                      |                       | -   | -  |
| <b>TOTAL</b>                                     |                       | -   | <b>50 à 110 t</b>                        |

Tableau 10 : Evaluation du gisement de tantale collectable en France sur des données de 2008 (Monier *et al.*, ADEME, 2010).

#### 4.6 PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION

Si la consommation de tantale a connu une croissance régulière entre 1993 et 2008, marquée par un pic en 2001, cette dernière semble connaître une inflexion pour ces deux dernières années. Ceci pourrait marquer un début de saturation du marché avec la diminution de la demande des poudres de qualité électronique sur un marché de la téléphonie mobile qui commence à être saturé. L'évolution prévisible est à plus ou moins brève échéance l'atteinte d'un plateau de productivité situé entre 1 500 et 2 000 t/an.

Dans le cas de l'atteinte du plateau, avec une croissance moyenne de 6 à 9 %, la production actuelle complétée par la mise (ou remise) en production des gisements d'Abu Dabbab (Égypte), de Kanyika (Malawi), de Marrapino (Mozambique) et la reprise de la production à Wodgina (Australie) en avril 2011 devraient suffire à satisfaire la demande mondiale.

L'apport de tantale sur le marché a été soutenu ces dernières années par la production de l'Australie, du Canada et du Mozambique. Dès que les conditions économiques n'ont plus été aussi favorables, elles ont été mises à l'arrêt et le développement de grands projets, comme celui d'Abu Dabbab en Égypte, a été interrompu.

La diminution soudaine du cours du tantale peut s'expliquer par la conjonction de trois phénomènes :

- Des conditions économiques globales peu favorables (crise économique et financière de 2008-2009) ;

- La baisse de la demande en tantale pour les biens de consommation résultant du ralentissement économique ;
- L'arrivée massive dans le marché d'un minerai moins cher issu des exploitations artisanales africaines (région des Grands-Lacs majoritairement).

De nombreux projets sont en cours de développement pour le tantale seul ou, plus fréquemment, pour l'association Ta-Nb. Le tableau suivant dresse une liste des projets les plus prometteurs.

| Pays                        | Gisement   | Compagnie                              | Type de gisement                 | Capacité de production (t Ta/an)                          | Statut          | Ressources (Mt) | % Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | % Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
|-----------------------------|------------|--|----------------------------------|---|-----------------|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>Australie</b>            | Dubbo      | Australian Zirconia (Alkane Resources) | Granite per-alcalin              | 600 t Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , date de démarrage? | Pilote          | 73              | 0,03                             | 0,46                             |
| <b>Mozambique</b>           | Marropino  | Noventa                                | Pegmatite LCT                    | 233 t Ta, 2011  | En production   | 8,1             | 0,022                            | n.d.                             |
|                             | Morrua     | Noventa                                | Pegmatite LCT                    | 93 t Ta, 2012   | Faisabilité     | 7,8             | 0,049                            | n.d.                             |
| <b>Égypte</b>               | Abu Dabbab | Gippsland                              | Granite per-alumineux            | 2141 t Ta, 2013   | Faisabilité     | 44,4            | 0,025                            | n.d.                             |
|                             | Nuweibi    | Gippsland                              | Granite per-alumineux            | -   | Évaluation      | 98              | 0,014                            | 0,0095                           |
| <b>Malawi</b>               | Kanyika    | Globe Metals and Mining                | Carbonatite-syénite néphélinique | 200 tonnes Fe-Nb<br>149 t Ta,<br>2013                     | Faisabilité     | 21              | 0,018                            | 0,41                             |
| <b>Canada</b>               | Upper Fir  | Commerce Resources                     | Carbonatite-syénite néphélinique | n.d.  | Évaluation      | 36,4            | 0,019                            | 0,17                             |
|                             | Anita      | Les Minéraux Crevier                   | Carbonatite-syénite néphélinique | n.d.  | Évaluation      | 23,75           | 0,019                            | 0,186                            |
|                             | Crevier    | MDN Inc.                               | Carbonatite-syénite néphélinique | n.d.  | Évaluation      | 25,4            | 0,023                            | 0,2                              |
| <b>Kenya</b>                | Mrima Hill | Pacific Wildcat                        | Carbonatite-syénite néphélinique | n.d.  | Évaluation      | 105,3           | n.d.                             | 0,65                             |
| <b>Danemark (Groenland)</b> | Motzfeldt  | Ram Resources                          | Granite per-alcalin              | n.d.  | Évaluation      | 500             | 0,011-0,013                      | 0,13-0,1                         |
| <b>Arabie Saoudite</b>      | Ghurayyah  | Tertiary Minerals plc.                 | Granite per-alcalin              | 275 t Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , date de démarrage? | Pré-faisabilité | 400             | 0,024 %                          | 0,28 %                           |

Tableau 11 : Sélection de projets à Ta(-Nb) en développement (Moreno (JSI), 2011 ; BGS, 2011 ; Schwela, 2010 ; Roskill, 2009 ; sites web des compagnies).

La mine de Noventa à Marropino produit 70 t Ta/an et pourrait produire jusqu'à 223 t Ta/an à la fin de l'année. Noventa a dans la même région deux projets Morrua et Mutala qui devraient produire à court terme.



Global Advanced Metals a redémarré l'exploitation minière de Wodgina en avril 2011 avec une capacité de production de 260 t de Ta par an. En Égypte, la mise en production de la mine de d'Abu Dabbab est programmée par Gippsland Ltd pour 2013. Au Malawi, Globe Metal and Mining prévoit l'ouverture de Kanyika en 2013 et pense produire 200 t de ferro-niobium et 149 t de Ta par an. D'autres projets à potentiel important sont en cours de développement, comme à Upper Fir (Canada) ou Motzfeldt (Groenland) qui abrite des ressources gigantesques (500 million de tonnes à 0,1-0,13 %  $Ta_2O_5$  et 0,011-0,013 %  $Nb_2O_5$ ).

À partir des prévisions concernant la croissance de l'offre (développement de mines actuelle, mise en exploitation de nouveaux gisements) et de la demande, des projections ont été réalisées par le consultant JSI (Jacob Securities Inc.). Trois scénarios ont été proposés : une croissance faible de la demande (6 % par an), moyenne (9 % par an) et forte (12 % par an).

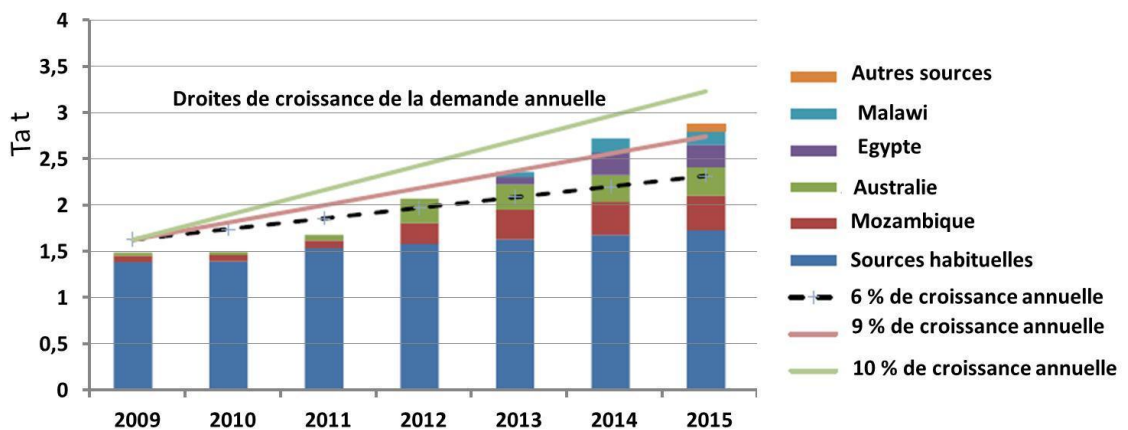


Figure 26 : Projection des prévisions de demande et de production sur les 4 prochaines années (Moreno (JSI), 2011).

Suivant ces simulations, l'augmentation de la production devrait permettre de satisfaire la demande en dessous d'un taux de croissance annuel de 9 %. Une demande excessive (> 10 % par an) pourrait entraîner une pénurie sur le marché que les capacités de production actuelles et envisagées pour les prochaines années ne pourront satisfaire.

Dans ce modèle, il y aurait à l'heure actuelle un déficit de tantale sur le marché, conséquence des fermetures en 2008-2009 des principales mines mondiales (Australie, Canada et Mozambique) ainsi que des restrictions accrues du commerce de tantale de conflit (Moreno, 2011).



## 5. Prix du tantale

Le tantale, métal mineur, n'est pas coté dans des grandes bourses telles que celle de Londres (London Metal Exchange). Les prix sont établis de manière confidentielle entre le producteur et le vendeur. Les valeurs du marché exposées dans la littérature sont basées sur des entretiens avec les acheteurs, vendeurs et des commerçants. Le prix varie selon la nature du produit fini, du contenu en tantale et de l'assiette du contrat. Le prix moyen des concentrés de tantale en 2011 est d'environ 265 \$/kg, de 530 \$/kg pour les oxydes et sels de tantale et de 660 \$/kg pour les poudres à usage dans les condensateurs.

Les prix sont très volatils et sont également influencés par l'offre et la demande au moment du contrat (Moreno L., 2011).

### 5.1 ÉVOLUTION RÉCENTE ET HISTORIQUE DES PRIX

Un aperçu de l'évolution des prix du tantale sur 70 ans permet de mettre en perspective deux facteurs contrôlant le prix du marché du tantale. Tout d'abord, l'utilisation croissante de ce métal pour les nouvelles technologies (électronique, superalliages, ...) de 8 % par an en moyenne explique la tendance haussière générale de son prix, aboutissant à des crises lorsque la demande s'est trouvée largement supérieure aux possibilités de production (1980 et 2000). Suite à l'éclatement de la bulle et au déstockage massif, un rééquilibrage s'en suit.

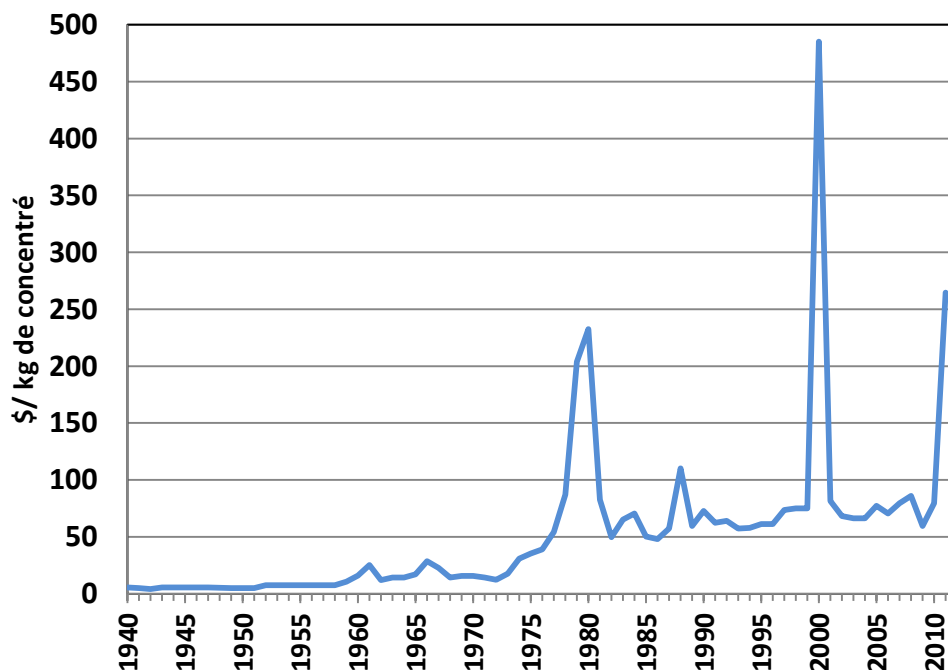


Figure 27 : Prix moyen annuel du tantale depuis 1940 en \$ courants calculé sur la base du kg de pentoxyde contenu dans les concentrés (Mineral Yearbook, USGS, 2011).

En 2000, le boom des NTIC, en particulier des téléphones portables, a entraîné une forte hausse de la demande mondiale en tantale de 35 %, contre une croissance moyenne de 8 % par an. Les sociétés minières, exploitant d'ores et déjà au maximum de leur capacité, se sont trouvées dans l'incapacité de suivre la demande. Les achats massifs qui s'en sont suivis, tant pour assurer la production que pour constituer des stocks de crainte de pénurie, ont rapidement asséché le marché, entraînant une flambée des prix (+ 600 % en quelques mois). Celle-ci a engendré des ruées d'exploitation artisanale du coltan dans la région des Grands Lacs d'Afrique Centrale, principalement à l'Est de la République Démocratique du Congo (RDC) et contribué aux guerres civiles du Kivu et aux affrontements entre le Rwanda et la RDC.

L'éclatement de la bulle internet a ensuite entraîné une brutale baisse de la demande, accompagnée du déstockage massif et de la chute des prix en résultant (Hocquard, 2007 ; Moreno, 2011).

Depuis 2002, les cours du tantale sont restés stables autour de 60 – 80 \$/kg avant de connaître une nouvelle flambée en 2010 et au début 2011, passant de 77 \$/kg Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> le 1<sup>er</sup> janvier 2011 à 292 \$/kg en mai et juin 2011 (+ 279 % en 18 mois). Cependant, avec l'éclatement de la crise des dettes souveraines en Europe à partir de juin-juillet, les cours du tantale ont suivi à la baisse ceux de la grande majorité des métaux.

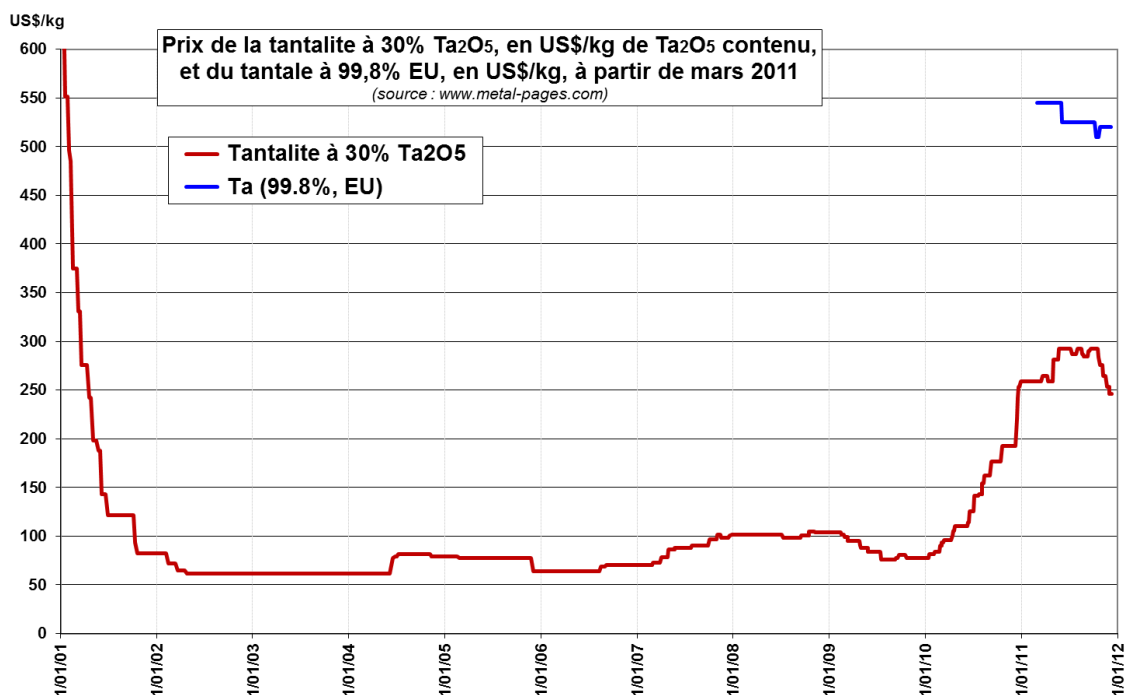


Figure 28 : Evolution du prix du concentré à 30 % Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et du tantale (99,8 % Ta) depuis janvier 2001 (source : www.metalpages.com).

## 5.2 PRÉVISIONS D'ÉVOLUTION DES PRIX

Dans le contexte actuel, il apparaît difficile d'annoncer une tendance précise pour l'avenir. Il faut remarquer que l'usage du tantale semble avoir atteint un niveau de maturité.

Une analyse plus fine permet de voir qu'une très faible baisse des cours, corollaire d'une demande atone ou de l'introduction d'un tantale moins cher venant des théâtres des conflits (RDC), peut induire de très forts impacts sur l'équilibre de l'économie des exploitations, à l'exemple ceux qui entraîneront la fermeture provisoire en 2008 de la mine de Wodgina et le retard sur les projets Égyptiens (Abu Dabbab, Nuweibi).

Enfin, le prix du marché est repassé à la hausse en 2011 avec la raréfaction relative du minerai induite par une plus faible production de l'Australie (premier producteur mondial), et ce, malgré la compensation du minerai « illégal » issu de la République Démocratique Congo, qui a été contrecarrée par la mise en place de la « loi Dodd-Franck » pour raréfier cette source (blood tantalum).

Mais il n'en demeure pas moins que malgré l'ouverture de nouvelles exploitations, la production soit juste et que les prix du tantale continuent à grimper régulièrement avec des périodes brutales de crises. C'est cette tendance qui semble se dessiner pour 2011. Mais elle pourrait être rattrapée par la récession mondiale en cours.

Le marché du tantale étant relativement petit, il est sujet à évoluer rapidement en fonction des aléas de l'offre et de la demande :

- L'offre : de nouveaux projets miniers peuvent influencer significativement l'offre mondiale et les prix ;
- La demande : de nouveaux produits qui requièrent du tantale pour leur fabrication peuvent influencer notablement la demande mondiale à la hausse et les prix.



## 6. Les acteurs industriels

### 6.1 LES PRODUCTEURS DE TANTALE

#### 6.1.1 Principaux exploitants

La principale mine au Brésil est celle de Volta Grande à Nazareno. Elle est détenue par la **CIF** (Companhia Industrial Fluminense), une filiale de l'AMG (Advanced Metallurgical Group). Une seconde, mine plus petite, localisée à Mamoré (Pitinga) est détenue par **Minsur**.

L'Australie est un important producteur, qui représente quelque 25% de la production mondiale. **Global Advanced Minerals** (anciennement Talison Minerals) exploite la mine de Wodgina et l'usine de traitement pour tantale de Greenbushes. Elles comptent parmi les plus importants gisements de tantalite. Plusieurs sociétés se sont succédées sur ces gisements. En 2000, l'ancien exploitant Sons of Gwalia a extrait et vendus environ 0,6 Mt de minerai de tantale, ce qui suggère qu'il contrôlait environ 40 % de l'approvisionnement primaire mondial.

En Amérique du Nord, le Canada est le principal producteur de tantale. Tantalum Mining Corporation (**Tanco**) est le propriétaire majoritaire de la mine du lac Manitoba et de Bernic Lake. Tanco est détenue par la société **Cabot Corp**, qui ouvre et ferme la mine en fonction des contraintes du marché. En 2001, Cabot a augmenté la production de Tanco pour compenser la baisse des expéditions en provenance d'Afrique.

En Afrique, deux types de production de tantale existent, l'exploitation artisanale et l'exploitation industrielle. Concernant l'exploitation artisanale, le minerai est recueilli par de collecteurs puis revendu à des commerçants contrôlés et exploités par les gouvernements de la République Démocratique du Congo et du Rwanda. Ensuite le matériau est revendu à des distributeurs internationaux de minerais tels qu'Umicore et A & M Metals. Une large part du minerai artisanal serait expédiée en Chine (Moreno, 2011). Des ventes de minerais sont aussi faites directement à des grands groupes comme Cabot. Au Mozambique, le principal gisement, Marropino, fait l'objet d'une exploitation industrielle par **Noventa Resources**. En Éthiopie, la mine de Kenticha est exploitée par la société Ethiopian Mineral Development Share Company (**EMDSC**).

La Chine possède de nombreuses mines en exploitation mais la majorité d'entre elles sont de petite taille. La plus grande mine et la plus productive est la mine de Yichun. Elle est exploitée par **Ningxia Non-Ferrous Metals**, un important producteur de tantale affiné. La mine de Nanjing est exploitée par Metalink International Corp, un producteur de tantale qui vend aussi de concentrés.

La société **Angus & Ross PLC** (Royaume-Uni) tente de développer des indices dans les comtés de Carlow et de Wexford en Irlande et au Groenland (Motzfeldt).

### 6.1.2 Principaux affineurs de tantale

Dans le monde, le nombre de compagnies qui affinent le tantale en produits chimique, lingots, carbure, poudre pour condensateurs, produits de haute qualité est limité. Les principaux affineurs sont listés dans le tableau suivant.

| Compagnie           | Pays                          |
|---------------------|-------------------------------|
| Cabot               | États-Unis*, Japon            |
| CIF                 | Brésil*                       |
| H.C. Starck         | Allemagne*, Thaïlande*, Japon |
| Heraeus             | Allemagne                     |
| Mitsui              | Japon*                        |
| Ningxia             | Chine*                        |
| Niotan              | États-Unis                    |
| Plansee             | Autriche                      |
| Silmet              | Estonie*                      |
| Solikamsk           | Russie*                       |
| Treibacher          | Autriche                      |
| Affilips            | Belgique*                     |
| Ulba                | Kazakhstan*                   |
| Conghua             | Chine *                       |
| Duoluoshan          | Chine *                       |
| F&X                 | Chine *                       |
| Fogang Jiata TaNbRe | Chine *                       |
| King-Tan            | Chine *                       |
| Ningxia Orient      | Chine *                       |
| Zhuzhou             | Chine *                       |
| Autres              | Chine *                       |

\* Traitent le minerai, mais pas les matériaux secondaires

Tableau 12 : Principaux affineurs de tantale dans le monde (Roskill, 2009).

Trois producteurs majeurs de tantale, **H.C. Starck GmbH** en Allemagne, **Cabot Corp** aux États-Unis et **Ningxia Non-Ferrous Metals Import and Export Corp** en Chine, consomment autour de 85 % des concentrés de tantale pour produire les matières affinées et des produits semi-finis pour différents marchés et clients, tels que Dell Inc., Airbus S.A.S., Sony Corp., etc.

Il n'y a pas de producteur français de tantale affiné.

### 6.1.3 Les principaux producteurs par continent

#### Europe

Il n'existe pas d'exploitation minière dédiée au tantale en Europe. Néanmoins, **Kaolins de Beauvoir**, filiale du groupe français Imerys, produit un concentré à Sn-Ta-Nb en co-



produit de l'exploitation du kaolin d'Échassières (03). Environ 55 t/an sont produites à une teneur de 10 % Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Roskill, 2009).

De plus, de nouvelles joint-ventures pour prospection minière sont en cours de négociation en Finlande. Solide Resources Ltd a formé une filiale afin de détenir 60 % des parts d'une entreprise minière de lithium-tantale en Espagne. Enfin, Imerys semble être très actif au Portugal. Les acteurs métallurgiques européens sont, quant à eux, plus nombreux.

**Advanced Metallurgical Group (AMG)** (Pays-Bas) ([www.amg-nv.com](http://www.amg-nv.com)) est une multinationale basée aux Pays-Bas. Sa division « Matériaux Avancés » produit des métaux et des complexes métalliques de spécialité tels que du ferrovanadium, des alliages ferronickel-molybdène, de l'antimoine ou encore des alliages à titane. Elle détient plusieurs filiales, dont la CIF au Brésil qui exploite la mine de Mibra (pegmatite de Volta Grande, État de Minas Gerais) pour le niobium, le tantale, l'étain, le lithium et des minéraux industriels (kaolin, feldspath, albite). Sa holding belge Sudamin produit du trioxyde d'antimoine à travers ses filiales françaises SICA et SCPL.

**Treibacher** (Autriche) ([www.treibacher.com](http://www.treibacher.com)) apparaît comme un spécialiste de la chimie et de la métallurgie. Cette société est localisée à Althofen en Autriche. Elle produit des métaux rares et des terres rares pour diverses applications. Des oxydes de tantale et des carbures de tantale sont également proposés dans son catalogue.

**Plansee** (Autriche) ([www.plansee.com](http://www.plansee.com)) est le leader du marché mondial des matériaux de haute performance produit par la métallurgie des poudres. Son siège social est localisé à Reutte en Autriche. La société produit une large gamme de produits, comme du molybdène, tungstène, niobium, tantale et chrome ainsi que leurs alliages.

**H.C. Starck** (Allemagne) ([www.hcstarck.com](http://www.hcstarck.com)) est un grand groupe international spécialisé dans les métaux réfractaires (molybdène, niobium et tantale) et les céramiques de pointes sous forme de poudre ou de produit fini. Son siège social est situé à Selb (Allemagne).

**Heraeus** (Allemagne) ([www.heraeus.com](http://www.heraeus.com)) est un groupe mondial qui travaille sur la haute technologie appliquée aux métaux précieux. Ses activités englobent les domaines des métaux précieux, des capteurs, des produits dentaires et médicaux, du verre de quartz et des sources d'éclairage de spécialité. Concernant le tantale ce groupe est spécialisé dans le plaquage sur métaux, la production de tantale de haute pureté (99,99 % Ta) et la production d'alliages. Son siège social est situé à Hanau (Allemagne).

**Silmet** (Estonie) ([www.silmet.ee](http://www.silmet.ee)) est située au Nord-Est de la République d'Estonie. Elle a commencé sa production de tantale métal en 2002 à partir des oxydes de Lovozero et de Pitinga. La Chine a fortement investi dans cette société.

## **Amériques**

**Cabot Corp** (États-Unis) ([www.cabot-corp.com](http://www.cabot-corp.com)) est un grand groupe chimique et métallurgique qui produit entre autre des poudres d'oxydes de qualité électronique, des superalliages et matériaux plaqués au tantale. Son siège social est localisé à Boston, Massachusetts. Sa branche Cabot Supermetals est l'un des principaux transformateurs mondiaux de tantale et de niobium. Il exploite également la mine de Tanco/Bernic Lake au Canada. Fin 2011, la branche Supermetals de Cabot Corp a été rachetée par l'australien Global Advanced Metals.

**Niotan Inc.** (États-Unis) ([www.niotan.com](http://www.niotan.com)) est le principal producteur occidental de poudre de tantale pour condensateurs. Son siège social et sa plus grosse unité de production sont localisés à Carson City (Nevada).

**CIF** (Brésil) ([www.cif.ind.br](http://www.cif.ind.br)) Companhia Industrial Fluminense est spécialisée dans les tablettes de poudre compressée d'alliages à base d'aluminium, dans la vente d'oxyde de tantale et de niobium. Son siège social est localisé à Volta Grande dans l'état de Minas Gerais où elle exploite la mine de Mibra. C'est une filiale de la multinationale basée aux Pays Bas AMG (Advanced Metallurgical Group, [www.amg-nv.com](http://www.amg-nv.com)).

**Minsur** (Pérou) ([www.minsur.com.pe](http://www.minsur.com.pe)) exploite, depuis fin 2008, la mine de Pitinga au Brésil (elle était auparavant exploitée par Mineração Taboca, division du groupe brésilien Paranapanema). À Pitinga, un concentré à 300 kg/t Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 30 kg/t Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> est produit, puis entre dans la fabrication d'un alliage ferro-Nb-Ta (45 % Nb, 5 % Ta). Minsur est, avant tout, le plus gros producteur d'étain du Pérou grâce à ses opérations à San Rafael.

## **CEI**

**Solikamsk** (Russie) Solikamsk Magnesium Works produit, à partir de la loparite de Lovozero, environ 60 t/an d'oxyde de tantale.

**Ulba Metallurgical Plant** (Kazakhstan) ([www.ulba.kz](http://www.ulba.kz)) produit une large gamme de produits à base de tantale : lingots, feuilles, copeaux, poudres, poudres pour condensateurs, fils et barres, alliages de Ta-W ou de Ta-Y. Il est détenu à 90 % par Kazatomprom, l'agence nucléaire nationale. En juin 2009, des rumeurs ont circulé concernant des négociations entre Kazatomprom et le brésilien CIF pour créer une joint-venture dédiée à l'exploitation minière du tantale. Elles semblent, cependant, abandonnées.

## **Asie**

**Mitsui** (Japon) ([www.mitsui-kinzoku.co.jp](http://www.mitsui-kinzoku.co.jp)) est un grand groupe offrant de nombreux services (ingénierie, électronique, matériaux pièces automobiles). C'est à travers sa division métaux rares que ce groupe vend des poudres d'oxyde de tantale de qualité électronique et des carbures de tantale. Son siège social est localisé à Tokyo.

**Ningxia** (Chine) ([www.nniec.com](http://www.nniec.com)) ou **Ningxia Non-ferrous Metals Smelter** commercialise de la poudre de tantale, des fils, des tubes et des barres d'alliages à base de tantale. Son siège social est localisé à Ningxia (Chine).

**Conghua** (Chine) ou **Conghua Tantalum & Niobium Smeltery (CTNS)** produit essentiellement de l'oxyde et de la poudre de tantale. Son siège social est à Conghua, province du Guangdong.

**Duoluoshan** (Chine) ou **Duoluoshan Sapphire Rare Metal Co. Ltd of Zhaoqing (DLS)** produit des tiges, des barres et des poudres de Ta métal ainsi que du Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de haute pureté.

**F&X** (Chine) ou **F&X Electro-Materials Limited** produit du fluorure de tantale et de potassium, plusieurs qualités de Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dont des oxydes de haute pureté (3N, 4N) pour des applications optiques et cristallières, des poudres et des barres de tantale de haute pureté (pour fabrication de fils et alliages) ainsi que plusieurs qualités de poudre pour condensateur (17k, 23k, 30k, 40k, 50k, 70k/80k, 100k+ ). Son siège social est à Jiangmen, province du Guangdong.

**Fogang Jiata Metals** (Chine) produit du fluorure de tantale et de potassium, et de l'oxyde de tantale.

**King-Tan** (Chine) ([www.king-tan.com](http://www.king-tan.com)) produit de la poudre, des barres et de l'oxyde de tantale ainsi que du carbure de tantale. Une de ses branches est dédiée à l'exploration et l'exploitation minière. King-Tan investit dans une mine de Ta-Na en Zambie. Son siège social est à Shishi, province du Yifeng.

**Ningxia Orient** (Chine) ([www.en.otic.com](http://www.en.otic.com)) produit du fluorure de tantale et de potassium, du chlorure de tantale, plusieurs qualités de Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, des poudres, des barres, des tubes et de lingots de tantale de haute pureté ainsi que plusieurs qualités de poudre pour condensateur et métallurgie. Son siège social est localisé à Shizuishan, province du Ningxia.

**Zhuzhou** (Chine) produit des feuilles, des fils, des lingots, des creusets, des tubes, des tiges et cibles de tantale. Son siège social est localisé à Zhuzhou, dans la Province du Hunan.

## **Océanie**

**Global Advanced Metals** (Australie) ([www.globaladvancedmetals.com](http://www.globaladvancedmetals.com)) est l'un des leaders mondiaux de la filière tantale, de la mine à la raffinerie. La société a été créée en 2010 à partir de la branche tantale de Talison Minerals qui exploitait les mines de Wodgina et de Greenbushes en Australie. En 2011, grâce à l'acquisition de la branche Supermetals de l'américain Cabot Corp., l'australien détient des capacités de transformation du minerai en une gamme de produits métallurgiques, comme des poudres de qualité condensateur, grâce à ses opérations de Boyertown (Pennsylvanie, États-Unis) et d'Aizu (Japon). En 2010, ces deux centres ont été les premiers à être

audités et être déclarés « conflict-free » par l'EICC (Coalition Citoyenne de l'Industrie Électronique).

## **Afrique**

**Noventa Resources** (Mozambique) ([www.noventa.net](http://www.noventa.net)) est une société minière basée au Mozambique. Elle exploite la mine de Marropino, détient les droits d'exploitation de Morrua et de Mutula ainsi que les droits d'exploration de Ginama et Gilé au Mozambique. Des travaux d'extension et de rénovation sont en cours sur le site de Marropino. Ils devraient permettre d'augmenter la capacité de production de l'usine de traitement de plus de 227 t/an Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en permettant d'acheminer sur le site du matériel de Mutula et de Morrua. La mine de Mutula devrait être mise en exploitation en 2012, celle de Morrua est attendue pour 2015.

**Gippsland Ltd** (Égypte) ([www.gippslandltd.com](http://www.gippslandltd.com)) est une compagnie australienne d'exploration avec un quartier général régional au Caire. Ses cibles principales sont les gisements égyptiens à étain, feldspath, tantale d'Abu-Dabbab et à tantale de Nuweibi. Elle détient également des permis d'exploration à Cu-Au en Érythrée (région d'Adobha), à Ni-Cu en Égypte (région de Wadi Allaqi) ainsi que 40 % d'intérêt dans le projet à étain d'Heemskirk en Tasmanie.

**EMDSC** (Ethiopie) (<http://www.emdsc.org.et>) Ethiopian Mineral Development Share Company est la compagnie étatique éthiopienne dédiée à la promotion du secteur minier du pays à travers l'exploration, l'évaluation et le développement de projet. Elle exploite principalement le gisement de Kenticha. La capacité de production du site est de 200 t/an de concentré à 45-60% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Elle produit également des minéraux industriels, comme du kaolin, du feldspath, du quartz et de la dolomie.

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

Vue l'étroitesse du marché, la filière aval de transformation du métal en produits semi-finis est extrêmement restreinte. Généralement, les producteurs de tantale travaillent directement sur les minerais ou assurent le recyclage du métal.

### **6.2.1 Les acteurs français**

Il n'y a pas de producteur de tantale affiné en France. Il est consommé principalement sous forme de tantale allié (superalliages) pour l'aéronautique, de tantale métal pour les missiles, les prothèses, les applications chirurgicales, et enfin du tantale sous forme de poudre d'oxyde pour l'optique et, très ponctuellement, pour l'électronique.

**Firadec** ([www.firadec.fr](http://www.firadec.fr)), du groupe Exxelia, est le seul fabricant français de condensateurs au tantale. Il exporte aujourd'hui plus de 45 % de sa production mais reste largement dépendant de l'importation de poudres de tantale. Elle produit une large gamme de condensateurs au tantale, gélifiés ou non. Elle est basée à Saint Nazaire (44).

La filiale française de l'américain Vishay, **Tantalum Capacitors**, produit également des condensateurs au tantale.

Les industriels français de l'aéronautique et de la défense sont consommateurs d'alliages au tantale, comme **Airbus, Safran, Thalès** (Alenia Space et Avionique), **EADS Astrium, Dassault, Sagem** ou encore **MBDA**.

**Mersen** ([www.mersen.com](http://www.mersen.com)) produit des équipements industriels et anticorrosion à base de tantale (échangeurs de chaleur, agitateurs, colonnes) dans son usine en Allemagne ainsi que des composés chimiques et pharmaceutiques tantalifères. Le groupe possède 56 sites de productions dans 40 pays.

**Sofradir** ([www.sofradir.com](http://www.sofradir.com)) est pionnier de la technologie de dépôt de couches ultra-fines par jet moléculaire (MBE, Molecular Beam Epitaxy). Il consomme donc vraisemblablement des cibles de pulvérisation au tantale.

## 6.2.2 Autres acteurs européens

Les principaux producteurs européens de tantale métal produisent généralement des produits semi-finis tantalifères, principalement sous forme de superalliages. C'est notamment le cas de l'allemand H.C. Starck, du hollandais Advanced Metallurgical Group ou encore de l'autrichien Plansee, déjà cités en 5.2.1.

**Affilips** (Belgique) ([www.kbmaffilips.com](http://www.kbmaffilips.com)), produit divers alliages de haute qualité dans trois usines métallurgiques aux Pays-Bas et en Belgique (Delfzijl, Oss (NL) et Tienen (B)) dont des superalliages de NiTa.

## 6.2.3 Les principaux acteurs dans le reste du monde

- **Les producteurs de condensateurs**

Un certain nombre de sociétés fabriquent des condensateurs à base de tantale. Les principales sont **AVX, Kemet** et **Vishay**, situés aux États-Unis et **NEC Tokin** au Japon. Les trois sociétés AVX, Kemet et NEC Tokin représentent à elles-seules environ les deux tiers du marché. Elles produisent une large gamme de condensateurs à base d'aluminium et de céramique grâce à des installations dans plusieurs pays.

D'autres fabricants importants sur le marché sont le japonais **Hitachi AIC** et le chinois **Ningxia Xingri Electronics**. Il y a eu des changements significatifs dans la structuration de ce secteur ces dernières années. Epcos a vendu son département condensateurs à Kemet en 2006. Au début de 2009, Nichicon, qui fabrique des condensateurs au Japon et en Chine, a acquis les activités des condensateurs de Fujitsu Media Devices. Fujitsu avait déjà produit des condensateurs au tantale, mais, au moment de la vente, il semblait avoir mis l'accent sur les condensateurs à aluminium. Nippon Chemi-Con s'est retiré du marché des condensateurs au tantale en 2005 en raison de la concurrence étrangère intense. En 2008, Vishay a acheté à Kemet sa branche « condensateurs à gel de tantale ».

- **Les producteurs de superalliages**

Les producteurs d'alliages à haute performance sont nombreux, mais la plupart sont petits et l'industrie est dominée par une poignée de sociétés : les américains d'**ATI Allegheny, ATI Allvac, Carpenter Technology, Special Metals and Haynes International** et l'allemand **Thyssen Krupp VDM**,.

Roskill (2009) estime que le marché des alliages à hautes performances, y compris les superalliages, est de l'ordre 0,14 à 0,15 Mt/an. Les États-Unis ont été traditionnellement le principal acteur pour ce marché, mais son hégémonie diminue au fil du temps, avec la croissance de l'industrie aérospatiale en Europe. Ils conservent néanmoins, de loin, la plus grande part du marché global.

L'industrie aérospatiale, en particulier l'industrie aérospatiale commerciale, est, et restera probablement le principal marché des superalliages contenant du tantale, qui représente environ 75% de la consommation totale.

Les turbines civiles et militaires sont fabriquées par un certain nombre d'entreprises mais le marché est néanmoins dominé par **Pratt & Whitney, General Electric, CFM** (une joint-venture entre General Electric et Snecma) et **Rolls-Royce**.

- **Les producteurs de composants pour filtres pour les ondes acoustiques de surface (SAW)**

Les principaux producteurs de composants SAW sont **Fujitsu** et **Matsushita Murata** (Japon) ainsi qu'**EPCOS** (Allemagne). EPCOS, grâce à sa filiale Crystal Technology de Palo Alto (Californie) est le plus grand producteur au monde.

La production et la consommation de LNB (Niobate de lithium) et LTA (Tantalate de lithium) sont concentrées au Japon et aux États-Unis.

- **Les producteurs de carbure de tantale**

Les producteurs de carbures de tantale sont présentés dans le tableau suivant (TIC, 2012 ; Roskill, 2009).

| Sociétés                       | Carbures binaires | Outils au carbure | Carbures mélangés | Carbures de Nb | Carbures de Ta |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|----------------|
| ABS Industrial Resources       | •                 | •                 | •                 | •              | •              |
| Advanced Material Japan        |                   |                   | •                 | •              | •              |
| Duoluoshan Sapphire Rare Metal |                   |                   |                   | •              | •              |
| H.C. Starck                    | •                 |                   | •                 | •              | •              |
| Jiujiang Tanbre Smelter        | •                 |                   | •                 | •              | •              |
| Mitsui Mining and Smelting     | •                 |                   | •                 | •              | •              |
| Ningxia Nonferrous Metals      | •                 |                   | •                 | •              | •              |
| Treibacher Industrie           | •                 |                   | •                 | •              | •              |
| Zhuzhou Cemented Carbide       | •                 |                   | •                 | •              | •              |

Tableau 13 : Principaux fournisseurs et fabricants de carbures cémentés (TIC, in Roskill, 2009).





## 7. Commerce extérieur de la France

Les tableaux suivants présentent les données françaises d'importations et d'exportations, en valeur (k€) et en volume (t), de composés tantalifères entre 2009 et 2011. Suivant la nomenclature combinée des Douanes françaises (NC8), 8 catégories de produits contenant du Ta ont été prises en compte (Le Kiosque-Portail des statistiques du Commerce extérieur, <http://lekiosque.finances.gouv.fr>) :

- 26159000 : Minerais de niobium, de tantale ou de vanadium et leurs concentrés ;
- 26209920 : Scories, cendres et résidus, contenant principalement du niobium ou du tantale ;
- 28499050 : Carbures d'Al, Cr, Mo, V, Ta et Ti de constitution chimique définie ou non ;
- 81032000 : Tantale sous forme brute, y compris les barres en tantale simplement obtenues par frittage; poudres de tantale ;
- 81033000 : Déchets et débris de tantale (sauf cendres et résidus contenant du tantale) ;
- 81039010 : Barres (autres que les barres simplement obtenues par frittage), profilés, fils, tôles, bandes et feuilles en tantale, n.d.a. ;
- 81039090 : Ouvrages en tantale, n.d.a. ;
- 85322100 : Condensateurs électrolytiques au tantale (autres que condensateurs de puissance).

Les données sur les 12 derniers mois et sur les deux années précédentes étant « non significatives » pour les scories, cendres et résidus à Nb-Ta, elles ne sont pas publiées et ne seront donc pas prises en compte dans le bilan total. Il est également à noter que ces chiffres excluent le matériel militaire où le tantale peut, cependant, être consommé.

Seul le poste des « Déchets et débris de tantale » est bénéficiaire pour la France avec des volumes et montants exportés supérieurs à ceux importés. Celui des « Ouvrages en tantale » l'était également en 2009 et 2010.

Le déficit engendré par les importations massives de composés tantalifères est croissant depuis 2009 : de 7,8 M€ en 2009, il a atteint 17,3 M€ en 2011, en hausse de 121 % en deux ans. Il est toutefois important de noter que les déficits engendrés par les importations de minerais (26159000) et de carbures (28499050) incluent d'autres éléments que le tantale (niobium, vanadium, aluminium, chrome, molybdène et titane).

|  | 2009          |             | 2010           |              | 2011           |              |
|--|---------------|-------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
|  | Valeur        | Masse       | Valeur         | Masse        | Valeur         | Masse        |
| <b>26159000</b> - Minerais de niobium, de tantale ou de vanadium et leurs concentrés             |               |             |                |              |                |              |
| <b>Exportations FAB</b>  |               |             |                |              |                |              |
| Corée du Sud   | 0             | 0           | 0              | 0            | 23             | 3            |
| Royaume-Uni  | 0             | 0           | 0              | 0            | 3              | 0            |
| Autriche   | 35            | 1           | 0              | 0            | 0              | 0            |
| Belgique   | 2             | 0           | 1              | 0            | 0              | 0            |
| Italie   | 0             | 0           | 38             | 0            | 0              | 0            |
| Autres pays  | 1             | 0           | 0              | 0            | 0              | 1            |
| <b>TOTAL</b>   | <b>38 k€</b>  | <b>1 t</b>  | <b>39 k€</b>   | <b>0 t</b>   | <b>26 k€</b>   | <b>4 t</b>   |
| <b>Importations CAF</b>  |               |             |                |              |                |              |
| Autriche   | 0             | 0           | 10             | 0            | 25             | 0            |
| Allemagne  | 32            | 1           | 33             | 0            | 15             | 0            |
| Chine  | 0             | 0           | 14             | 0            | 3              | 1            |
| Royaume-Uni  | 71            | 0           | 0              | 0            | 3              | 0            |
| Belgique   | 0             | 0           | 14             | 2            | 0              | 0            |
| Brésil   | 0             | 0           | 80             | 2            | 0              | 0            |
| Espagne  | 0             | 0           | 8              | 0            | 0              | 0            |
| Autres pays  | 0             | 0           | 3              | 0            | 2              | 0            |
| <b>TOTAL</b>   | <b>103 k€</b> | <b>1 t</b>  | <b>162 k€</b>  | <b>4 t</b>   | <b>48 k€</b>   | <b>1 t</b>   |
| <b>26209920</b> - Scories, cendres et résidus, contenant principalement du niobium ou du tantale |               |             |                |              |                |              |
| <i>Données non significatives sur les 12 derniers mois et sur les deux années précédentes</i>    |               |             |                |              |                |              |
| <b>28499050</b> - Carbures d'Al, Cr, Mo, V, Ta et Ti de constitution chimique définie ou non     |               |             |                |              |                |              |
| <b>Exportations FAB</b>  |               |             |                |              |                |              |
| Malaisie   | 134           | 11          | 165            | 11           | 375            | 22           |
| Afrique du Sud   | 0             | 0           | 4              | 0            | 16             | 1            |
| Allemagne  | 4             | 0           | 3              | 0            | 16             | 1            |
| Royaume-Uni  | 3             | 0           | 0              | 0            | 14             | 1            |
| Argentine  | 9             | 0           | 3              | 0            | 4              | 0            |
| Canada   | 6             | 0           | 0              | 0            | 0              | 0            |
| Finlande   | 0             | 0           | 4              | 0            | 0              | 0            |
| Pays-Bas   | 11            | 0           | 0              | 0            | 0              | 0            |
| Autres pays  | 5             | 0           | 0              | 0            | 14             | 0            |
| <b>TOTAL</b>   | <b>172 k€</b> | <b>11 t</b> | <b>179 k€</b>  | <b>11 t</b>  | <b>439 k€</b>  | <b>25 t</b>  |
| <b>Importations CAF</b>  |               |             |                |              |                |              |
| Afrique du Sud   | 741           | 39          | 1 550          | 88           | 1 639          | 101          |
| Chine  | 0             | 0           | 137            | 5            | 794            | 14           |
| Royaume-Uni  | 69            | 5           | 222            | 15           | 537            | 32           |
| Allemagne  | 125           | 4           | 188            | 6            | 44             | 1            |
| Autres pays  | 28            | 0           | 87             | 4            | 16             | 0            |
| <b>TOTAL</b>   | <b>963 k€</b> | <b>48 t</b> | <b>2184 k€</b> | <b>118 t</b> | <b>3030 k€</b> | <b>148 t</b> |

|   | 2009          |            | 2010           |            | 2011           |             |
|---|---------------|------------|----------------|------------|----------------|-------------|
|   | Valeur        | Masse      | Valeur         | Masse      | Valeur         | Masse       |
| <b>81032000</b> - Tantale sous forme brute, y.c. les barres en tantale simpl. obtenues par frittage; poudres de tantale |               |            |                |            |                |             |
| <b>Exportations FAB</b>   |               |            |                |            |                |             |
| Royaume-Uni   | 0             | 0          | 0              | 0          | 20             | 0           |
| Etats-Unis  | 0             | 0          | 0              | 0          | 3              | 0           |
| Pays-Bas  | 10            | 0          | 0              | 0          | 2              | 0           |
| Allemagne   | 1             | 0          | 0              | 0          | 0              | 0           |
| Belgique  | 4             | 0          | 0              | 0          | 0              | 0           |
| <b>TOTAL</b>  | <b>15 k€</b>  | <b>0 t</b> | <b>0 k€</b>    | <b>0 t</b> | <b>25 k€</b>   | <b>0 t</b>  |
| <b>Importations CAF</b>   |               |            |                |            |                |             |
| Etats-Unis  | 193           | 0          | 390            | 1          | 1 220          | 2           |
| Chine   | 0             | 0          | 365            | 1          | 493            | 1           |
| Allemagne   | 398           | 1          | 364            | 1          | 460            | 1           |
| Japon   | 137           | 2          | 163            | 2          | 305            | 1           |
| Kazakhstan  | 0             | 0          | 0              | 0          | 283            | 3           |
| Royaume-Uni   | 9             | 0          | 100            | 1          | 9              | 0           |
| Autres pays   | 25            | 0          | 4              | 0          | 125            | 7           |
| <b>TOTAL</b>  | <b>762 k€</b> | <b>3 t</b> | <b>1386 k€</b> | <b>6 t</b> | <b>2895 k€</b> | <b>15 t</b> |
| <b>81033000</b> - Déchets et débris de tantale (sauf cendres et résidus contenant du tantale)                           |               |            |                |            |                |             |
| <b>Exportations FAB</b>   |               |            |                |            |                |             |
| Allemagne   | 0             | 0          | 0              | 0          | 955            | 4           |
| Kazakhstan  | 166           | 3          | 118            | 2          | 461            | 2           |
| Royaume-Uni   | 24            | 0          | 6              | 0          | 114            | 1           |
| Etats-Unis  | 4             | 0          | 64             | 1          | 0              | 0           |
| Autres pays   | 2             | 0          | 0              | 0          | 0              | 0           |
| <b>TOTAL</b>  | <b>196 k€</b> | <b>3 t</b> | <b>188 k€</b>  | <b>3 t</b> | <b>1530 k€</b> | <b>7 t</b>  |
| <b>Importations CAF</b>   |               |            |                |            |                |             |
| Allemagne   | 4             | 0          | 168            | 2          | 210            | 1           |
| Etats-Unis  | 7             | 0          | 44             | 0          | 19             | 0           |
| Corée du Sud  | 13            | 0          | 0              | 0          | 0              | 0           |
| Luxembourg  | 25            | 0          | 0              | 0          | 0              | 0           |
| Retour France   | 0             | 0          | 14             | 0          | 0              | 0           |
| Autres pays   | 0             | 0          | 1              | 0          | 0              | 0           |
| <b>TOTAL</b>  | <b>49 k€</b>  | <b>0 t</b> | <b>227 k€</b>  | <b>2 t</b> | <b>229 k€</b>  | <b>1 t</b>  |

|   | 2009            |              | 2010            |               | 2011             |               |
|---|-----------------|--------------|-----------------|---------------|------------------|---------------|
|   | Valeur          | Masse        | Valeur          | Masse         | Valeur           | Masse         |
| <b>81039010 - Barres (autres que les barres simpl. obtenues par frittage), profilés, fils, tôles, bandes et feuilles en tantale, n.d.a.</b> |                 |              |                 |               |                  |               |
| <b>Exportations FAB</b>   |                 |              |                 |               |                  |               |
| Allemagne   | 323             | 1            | 67              | 0             | 292              | 2             |
| Belgique  | 5               | 0            | 7               | 0             | 8                | 0             |
| Royaume-Uni   | 10              | 0            | 9               | 0             | 4                | 0             |
| Italie  | 6               | 0            | 31              | 1             | 1                | 0             |
| Autriche  | 231             | 20           | 10              | 0             | 0                | 0             |
| Etats-Unis  | 1               | 0            | 65              | 0             | 0                | 0             |
| Luxembourg  | 2               | 0            | 8               | 0             | 0                | 0             |
| Autres pays   | 3               | 0            | 8               | 0             | 7                | 2             |
| <b>TOTAL</b>  | <b>581 k€</b>   | <b>21 t</b>  | <b>205 k€</b>   | <b>1 t</b>    | <b>312 k€</b>    | <b>4 t</b>    |
| <b>Importations CAF</b>   |                 |              |                 |               |                  |               |
| Etats-Unis  | 1 049           | 3            | 212             | 0             | 925              | 1             |
| Allemagne   | 15              | 3            | 124             | 1             | 145              | 0             |
| Autriche  | 43              | 0            | 78              | 0             | 125              | 0             |
| Royaume-Uni   | 108             | 0            | 127             | 0             | 102              | 0             |
| Chine   | 31              | 0            | 40              | 0             | 101              | 0             |
| Kazakhstan  | 581             | 4            | 517             | 3             | 30               | 0             |
| Japon   | 0               | 0            | 307             | 2             | 0                | 0             |
| Autres pays   | 15              | 0            | 42              | 0             | 38               | 2             |
| <b>TOTAL</b>  | <b>1842 k€</b>  | <b>10 t</b>  | <b>1447 k€</b>  | <b>6 t</b>    | <b>1466 k€</b>   | <b>3 t</b>    |
| <b>81039090 - Ouvrages en tantale, n.d.a.</b>   |                 |              |                 |               |                  |               |
| <b>Exportations FAB</b>   |                 |              |                 |               |                  |               |
| Etats-Unis  | 284             | 4            | 750             | 7             | 998              | 3             |
| Japon   | 37              | 0            | 0               | 0             | 812              | 5             |
| Royaume-Uni   | 363             | 1            | 1 463           | 5             | 350              | 1             |
| Kazakhstan  | 0               | 0            | 0               | 0             | 166              | 1             |
| Allemagne   | 208             | 1            | 60              | 0             | 154              | 0             |
| Italie  | 7               | 0            | 14              | 0             | 132              | 0             |
| Corée du Sud  | 111             | 1            | 152             | 1             | 111              | 1             |
| Espagne   | 24              | 0            | 35              | 0             | 30               | 0             |
| Chine   | 0               | 0            | 30              | 0             | 11               | 0             |
| Israël  | 184             | 2            | 0               | 0             | 10               | 0             |
| Singapour   | 39              | 0            | 14              | 0             | 2                | 0             |
| Maroc   | 0               | 0            | 20              | 0             | 1                | 0             |
| Bahreïn   | 33              | 2            | 0               | 0             | 0                | 0             |
| Autres pays   | 51              | 0            | 101             | 0             | 85               | 1             |
| <b>TOTAL</b>  | <b>1341 k€</b>  | <b>11 t</b>  | <b>2639 k€</b>  | <b>13 t</b>   | <b>2862 k€</b>   | <b>12 t</b>   |
| <b>Importations CAF</b>   |                 |              |                 |               |                  |               |
| Etats-Unis  | 169             | 1            | 211             | 2             | 3 600            | 12            |
| Kazakhstan  | 0               | 0            | 0               | 0             | 681              | 2             |
| Royaume-Uni   | 52              | 0            | 155             | 1             | 483              | 1             |
| Allemagne   | 446             | 5            | 295             | 2             | 295              | 3             |
| Autriche  | 54              | 0            | 115             | 3             | 116              | 0             |
| Chine   | 35              | 0            | 40              | 0             | 70               | 0             |
| Belgique  | 26              | 24           | 0               | 0             | 0                | 0             |
| Japon   | 0               | 0            | 66              | 0             | 0                | 0             |
| Autres pays   | 15              | 0            | 41              | 0             | 48               | 0             |
| <b>TOTAL</b>  | <b>797 k€</b>   | <b>30 t</b>  | <b>923 k€</b>   | <b>8 t</b>    | <b>5293 k€</b>   | <b>18 t</b>   |
| <b>Tantale total, produits, déchets, poudres, concentrés, ...</b>   |                 |              |                 |               |                  |               |
| <b>Exportations FAB</b>   | 8 163           | 104          | 10 746          | 97            | 14 264           | 179           |
| <b>Importations CAF</b>   | 16 014          | 152          | 20 717          | 237           | 31 580           | 300           |
| <b>FAB-CAF</b>  | <b>-7851 k€</b> | <b>-48 t</b> | <b>-9971 k€</b> | <b>-140 t</b> | <b>-17316 k€</b> | <b>-121 t</b> |

|  | 2009            |             | 2010            |             | 2011            |              |
|--|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|--------------|
|  | Valeur          | Masse       | Valeur          | Masse       | Valeur          | Masse        |
| <b>85322100 - Condensateurs électrolytiques au tantale (autres que condensateurs de puissance)</b> |                 |             |                 |             |                 |              |
| <b>Exportations FAB</b>  |                 |             |                 |             |                 |              |
| Allemagne  | 1 125           | 1           | 2 457           | 12          | 2 237           | 15           |
| Italie   | 1 642           | 1           | 1 126           | 2           | 1 841           | 2            |
| Royaume-Uni  | 868             | 2           | 862             | 2           | 1 050           | 4            |
| Etats-Unis   | 192             | 1           | 272             | 0           | 613             | 2            |
| Chine  | 27              | 0           | 254             | 0           | 550             | 3            |
| Egypte   | 1               | 0           | 1               | 0           | 416             | 21           |
| Inde   | 358             | 0           | 512             | 15          | 329             | 32           |
| Hong-Kong  | 39              | 1           | 122             | 1           | 265             | 7            |
| Espagne  | 122             | 0           | 370             | 0           | 245             | 1            |
| Singapour  | 44              | 0           | 44              | 1           | 188             | 4            |
| Nelle-Zélande  | 35              | 2           | 92              | 4           | 154             | 8            |
| Belgique   | 76              | 0           | 175             | 0           | 119             | 1            |
| E.A.U.   | 532             | 33          | 130             | 10          | 107             | 5            |
| Pays-Bas   | 36              | 0           | 102             | 0           | 77              | 0            |
| Autriche   | 6               | 0           | 69              | 0           | 68              | 0            |
| Irak   | 141             | 7           | 0               | 0           | 64              | 3            |
| Israël   | 51              | 1           | 73              | 3           | 63              | 8            |
| Suède  | 11              | 0           | 52              | 0           | 58              | 0            |
| Maroc  | 0               | 0           | 1               | 0           | 56              | 3            |
| Suisse   | 56              | 0           | 43              | 2           | 51              | 1            |
| Pologne  | 9               | 0           | 30              | 0           | 44              | 0            |
| Rép. Tchèque   | 2               | 0           | 5               | 0           | 43              | 0            |
| Grèce  | 5               | 0           | 42              | 0           | 37              | 0            |
| Finlande   | 18              | 0           | 68              | 0           | 32              | 0            |
| Japon  | 1               | 0           | 74              | 3           | 11              | 0            |
| Lituanie   | 0               | 0           | 76              | 1           | 9               | 0            |
| Australie  | 223             | 6           | 58              | 0           | 8               | 0            |
| Canada   | 4               | 0           | 79              | 5           | 5               | 0            |
| Taiwan   | 41              | 0           | 0               | 0           | 4               | 0            |
| Autres pays  | 155             | 2           | 307             | 8           | 326             | 7            |
| <b>TOTAL</b>   | <b>5820 k€</b>  | <b>57 t</b> | <b>7496 k€</b>  | <b>69 t</b> | <b>9070 k€</b>  | <b>127 t</b> |
| <b>Importations CAF</b>  |                 |             |                 |             |                 |              |
| Etats-Unis   | 2 156           | 12          | 2 179           | 15          | 4 734           | 16           |
| Allemagne  | 1 809           | 8           | 2 456           | 15          | 2 928           | 17           |
| Mexique  | 1 974           | 13          | 2 477           | 15          | 2 276           | 17           |
| Rép. Tchèque   | 888             | 6           | 1 677           | 8           | 2 131           | 16           |
| Chine  | 238             | 2           | 780             | 6           | 1 261           | 6            |
| Royaume-Uni  | 2 531           | 4           | 1 280           | 6           | 885             | 6            |
| Israël   | 467             | 4           | 865             | 6           | 830             | 8            |
| Retour France  | 635             | 3           | 500             | 1           | 785             | 3            |
| El Salvador  | 87              | 1           | 148             | 1           | 622             | 2            |
| Portugal   | 133             | 1           | 262             | 1           | 450             | 2            |
| Japon  | 146             | 2           | 545             | 4           | 428             | 4            |
| Slovénie   | 2               | 0           | 35              | 0           | 271             | 2            |
| Corée du Sud   | 52              | 0           | 179             | 1           | 192             | 1            |
| Italie   | 17              | 0           | 180             | 6           | 99              | 0            |
| Pays-Bas   | 93              | 0           | 213             | 0           | 96              | 3            |
| Autres pays  | 270             | 4           | 612             | 8           | 631             | 11           |
| <b>TOTAL</b>   | <b>11498 k€</b> | <b>60 t</b> | <b>14388 k€</b> | <b>93 t</b> | <b>18619 k€</b> | <b>114 t</b> |

\*CAF: Coût, Assurance, Fret : les importations en France sont valorisées avec les coûts d'acheminement (transport et assurance) jusqu'à la frontière française.

\*FAB: Franco à Bord : les exportations à partir de la France sont valorisées avec les coûts d'acheminement jusqu'à la frontière française

\*E.A.U. : Émirats Arabes Unis

Tableau 14: Données du Commerce Extérieur de la France sur les composés tantalifères entre 2009 et 2011 (<http://lekiosque.finances.gouv.fr>).



## 8. Criticité

La criticité du tantale est résumée comme suit (fig. 29)

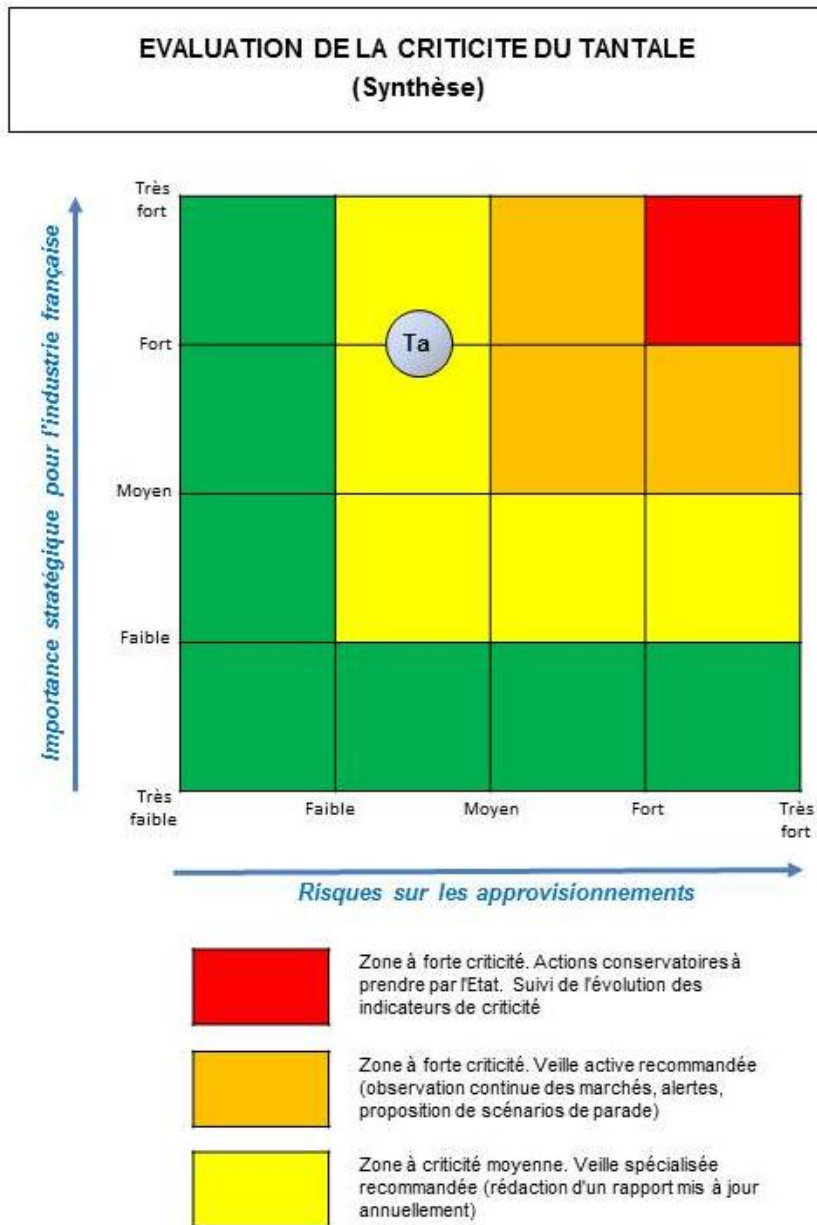


Figure 29 - Synthèse de la criticité du tantale



## 9. 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

**Albrecht W. W.** (1989), Production, properties and application of tantalum, niobium and their compounds, *in* Möller P., Cerny P Saupé F. (eds.) Lanthanides, tantalum and niobium. Berlin Heidelberg : Springer-Verlag.

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

**Aubert G.** (1969), Les coupoles granitiques de Montebbras et d'Echassières et la génèse de leurs minéralisations en étain, lithium, tungstène et béryllium. Mémoire BRGM n° 46, 2 vol, 347 p., 12 ann.

**Barthelmy D.** (2012), Mineralogy Database, disponible en ligne : <http://webmineral.com/>

**BGS** (2011), Niobium-Tantalum. British Geological Survey publication, Minerals UK, Centre for sustainable mineral development, disponible en ligne : <http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/home.html>

**Braun H.** (1999), Substance for front surface mirror. U.S. Patent 5,923,464, Issued on July 13, 1999

**BRGM** (1980), Inventaire minier du département de la Guyane : Bilan et perspectives au 31.12.1979, rapport BRGM/79-GUY-006, 140 p.

**Černý P.** (1989). Characteristics of pegmatites deposits of tantalum. In : Moller, Cerny et Saupé (eds) : Lanthanides, Tantalum et Niobium. Berlin Heidelberg, Spinger-Verlag

**Černý P, Ercit TS** (2005), The classification of granitic pegmatites revisited. Canadian Mineral, 43, 2005-2026

**Chauris L., Guigues J.** (1969), Gîtes minéraux de la France Volume I, Notices explicatives régionales des feuilles de la carte au 1/320 000, Massif Armoricaïn (Feuilles de Brest, Rennes et Nantes), Mémoires du BRGM n°74, 1969, 96 p., 4 cartes

**Conseil de Sécurité des Nations Unies** (2011), CS/10464, Le Conseil de Sécurité reconduit les sanctions imposées en République Démocratique du Congo jusqu'au 30 novembre 2012, 29/11/2011, [www.un.org/News/fr-press/docs/2011/CS10464.doc.htm](http://www.un.org/News/fr-press/docs/2011/CS10464.doc.htm)

**Cuchet S., Brugger J., Meisser N., Ansermet S., Chiappero P.J.** (2000), Les minéraux du filon Sainte Barbe, Les Montmins, Allier, (France), *in* Le règne Minéral n°33, Mai-Juin 2000.

**Cuney M. et Autran A.** (1987), Objectifs généraux du projet GPF Echassières N1 et résultats essentiels acquis par le forage de 900 m sur Ir granite albitique à topaze-lépidolite de Beauvoir. *Géologie de la France* 2-3, 7-23.

**Cuney M., Marignac C., Weisbrod A.** (1992) - The Beauvoir topaz-lépidolite albite granite (Massif Central, France); the disseminated magmatic Sn-LiTa-Nb-Be mineralization. *Economic Geology*; nov. 1992; v. 87; n° 7; p. 1766-1794; DOI: 10.2113/gsecongeo.87.7.1766.

**Fetherston J.M.** (2004), Tantalum in Western Australia. Perth, Geological Survey of Western Australia

**Graupner T., Melcher F., Gabler H.E., Sitnikova M., Bratz H., Bahr A.** (2010), Rare Earth Element geochemistry of columbite-group minerals : IA6ICP-MS data. *Mineralogical Magazine*, 74, 691-713.

**Heidrich N. (DNPM)** (2007), Tantalite, *in* Mineral Summary 2007, 3 p., disponible en ligne : <http://www.dnpm.gov.br>

**Henderson D. (Rittenhouse International Resources)** (2010), Tantalum, 4 p, accessible en ligne : [www.mmta.co.uk/uploaded\\_files/Tantalum%20-%20D%20Henderson%202010.pdf](http://www.mmta.co.uk/uploaded_files/Tantalum%20-%20D%20Henderson%202010.pdf)

**Hocquard C.** (2007), La crise du tantale de 2000, ses répercussions sur la mine artisanale et les conflits de la région des Grands lacs africains, BRGM, 6 p.

**IAMGOLD** (2009), Niobec niobium mine, Quebec. [www.iamgold.com](http://www.iamgold.com)

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

**Kerwein S. C.** (1996), Toxicity of tungsten, molybdenum, and tantalum and environmental and occupational laws associated with their manufacture, use, and disposal. Special Publication ARAED-SP-96002-US Army.

**Lagache M., Quemeneur J.** (1997), The Volta Grande pegmatites, Minas Gerais, Brazil : an example of rare-element granitic pegmatite exceptionally enriched in Lithium and Rubidium. *The Canadian Mineralogist*, 35, 153-165.

**Lulzac, Y.** (1986), Les minéralisations à étain, tantale et lithium de Tréguennec (Finistère). Rapport BRGM-86 DAM 011 OP4.

**Merceron T., Vieillard P., Fouillac A.M., Meunier A.** (1992), Hydrothermal alterations in the Echassières granitic cupola (Massif central, France). *Contrib. Mineral. Petrol.* 112, 279-292.



- Monier V. et al. (ADEME)** (2010), Étude du potentiel de recyclage de certains métaux rares, 1<sup>ère</sup> partie, 2010, 222 p, pp 118-125
- Moreno L.** (2011), Tantalum and Niobium Primer : Two Critical Metals, Jacob Securities Inc. publication, [www.pacificwildcat.com/ content/documents/409.pdf](http://www.pacificwildcat.com/content/documents/409.pdf)
- MRNF** (2012), Tantale : propriétés, usages et types de gisement, Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec, [www.mrn.gouv.qc.ca/mines/industrie/metaux/metaux-proprietes-tantale.jsp](http://www.mrn.gouv.qc.ca/mines/industrie/metaux/metaux-proprietes-tantale.jsp)
- OCDE** (2011), Guide OCDE sur le devoir de diligence pour des chaînes d'approvisionnement responsables en minerais provenant de zones de conflit ou à haut risque, 70 p., <http://www.oecd.org/dataoecd/62/33/46741124.pdf>
- Ohnenstetter, D. et Piantone, P.** (1992), Pyrochlore-group minerals in the Beauvoir peraluminous leucogranite, Massif Central, France. *Can. Mineral.* 30, 771-784.
- Papp, J.F.** (2011), Niobium (colombium) and Tantalum on line, USGS, Disponible : <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/niobium/> [accès décembre 2011]
- Polak C.** (2009), Métallurgie et recyclage du niobium et du tantale, *in* Techniques de l'ingénieur M 2365v2, juin 2009, 17 p.
- Rolls-Royce plc** (2009), Market outlook 2009 – Forecast 2009-2028, disponible en ligne : [www.rolls-royce.com/Images/brochure MarketOutlook2009\\_tcm92-14291.pdf](http://www.rolls-royce.com/Images/brochure_MarketOutlook2009_tcm92-14291.pdf)
- Rosen de A.** (1964), Contribution à l'étude géologique du massif granitique des Colettes, de ses minéralisations et de ses altérations (Echassières, Allier). Thèse 3ème cycle, Paris.
- Rosen de A.** (1966), Évolution continue d'un massif granitique et succession minérale: le Massif des Colettes (Echassières Allier) Deuxième partie filon, altérations et minéralisations. *Bull. Minéral.* 89, 155 - 176.
- Roskill Information Services** (2009), The Economics of Tantalum, 10th edition, 2009, 152 p., 1 annexe.
- Roskill Information Services** (2010), Rhenium market outlook to 2015, 8<sup>th</sup> edition, 2010, 131 p
- Schwela U.** (2010), The state of tantalum mining, *in* Mining Journal special publication : Tantalum, septembre 2010
- Selway J.B., Breaks F.W., Tindle A.G.** (2005), A review of Rare-Elements (Li-Cs-Ta) pegmatite exploration techniques for the Superior Province, Canada and large worldwide tantalum deposits. *Exploration and Mining Geology*, 14, 1-30.
- Sivaramakrishnan A.** (2011), Risk Assessment of the Availability of Tantalum and Niobium. *The IMRE Journal* Volume 5 (1), 13-41

**SPS Technologies** (1998), Superalloys Developed for Aerospace Fasteners, disponible en ligne : <http://www.spstech.com/aero>

**Tantalum-Niobium International Study Center** (2012) <http://tanb.org/>

**Tantalum-Niobium International Study Center** (2011), T.I.C. Statistics, *in* Tantalum-Niobium International Study Centre, Bulletin n° 145, mars 2011

**Tsukimoto S., Moriyama M., Murakami M.** (1961), Microstructure of amorphous tantalum nitride thin films. *Thin Solid Films* 460 (1-2): 222–226

**UNEP** (2009), Critical metals for sustainable technologies and their recycling potential, Sustainable innovation and technology transfer industrial sector studies, juillet 2009, 112 p, pp.26-28

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

**Wickens J.** (TIC, 2004), Developments in the tantalum market, Presentation by Judy Wickens, Secretary General of T.I.C, at Minor Metals 2004, <http://tanb.org/node/8>

**Zogbi D.M.** (2009), Tantalum supply chain faces unprecedented challenges, disponible en ligne : <http://goarticles.com/article/Tantalum-Supply-Chain-Faces-Unprecedented-Challenges/2100061/>



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