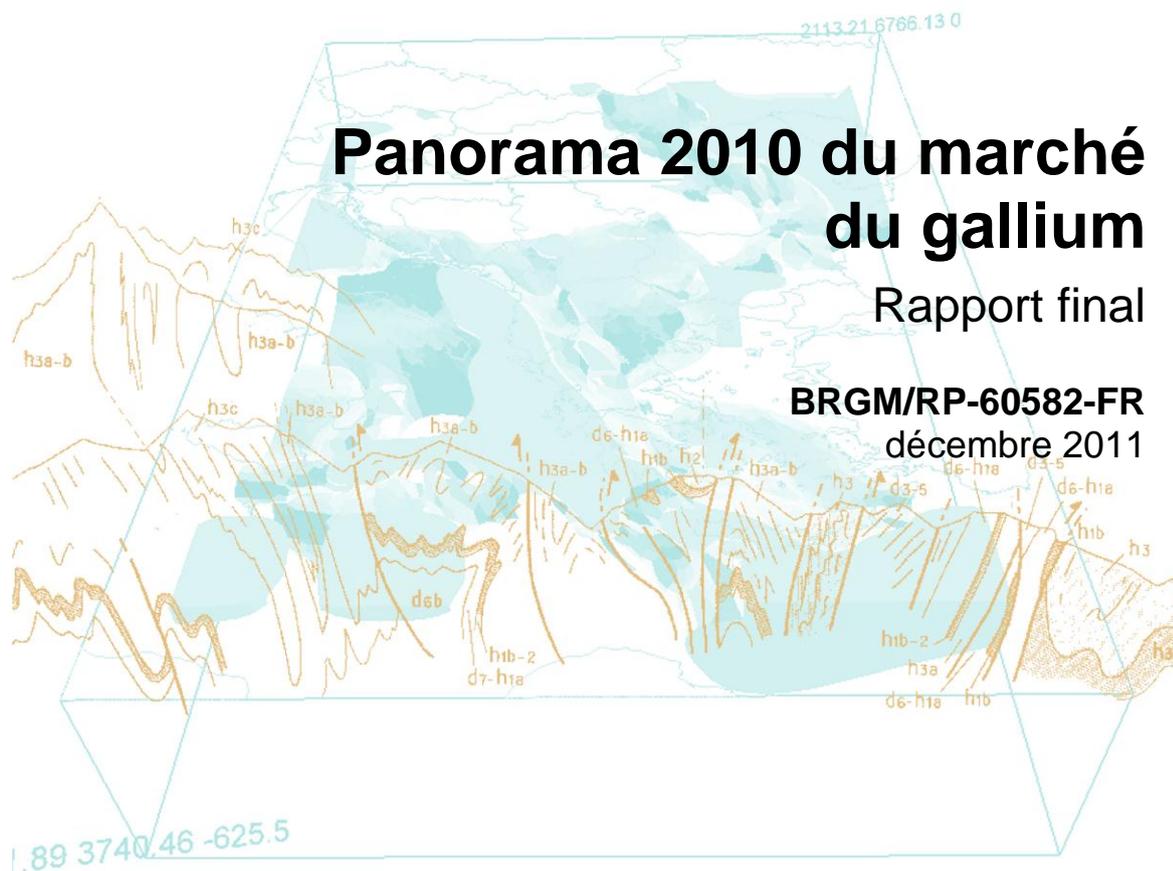


Document public



Panorama 2010 du marché du gallium

Rapport final

BRGM/RP-60582-FR
décembre 2011



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Panorama 2010 du marché du gallium

Rapport final

BRGM/RP-60582-FR
décembre 2011

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2010 RESA01

**Christmann P., Angel J.-M., Bailly L., Barthélémy F., Benhamou G., Billa M.,
Gentilhomme P., Hocquard C., Maldan F., Martel-Jantin B., Monthel J.,
Compagnie Européenne d'Intelligence Stratégique (CEIS)**

Vérificateur :

Nom : J.-F. Labbé

Date : 5 décembre 2011

Signature :

Approbateur :

Nom : C. Braux

Date : 5 décembre 2011

Signature :

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

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



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots clés : Gallium, Stratégie économique, Stratégie des matières premières, Économie, Matières premières minérales, Industrie, Politiques publiques.

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

Christmann P., Angel J.-M., Bailly L., Barthélémy F., Benhamou G., Billa M., Gentilhomme P., Hocquard C., Maldan F., Martel-Jantin B., Monthel J, Compagnie Européenne d'Intelligence Stratégique (CEIS) (2011) - Panorama mondial 2010 du gallium. Rapport final. BRGM/RP-60582-FR, 53 p., 8 fig., 10 tabl.

© BRGM, 2011, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le gallium : Des réserves importantes, un marché modeste, une ressource critique pour de nombreuses filières de haute technologie. Une filière dominée par la Chine.

Un élément indispensable dans le domaine des semi-conducteurs

Le gallium est utilisé à 95 % sous forme d'arséniure de gallium (AsGa) et de nitrure de gallium (GaN) pour la fabrication des semi-conducteurs. Il est indispensable pour la production des cellules photovoltaïques à couche mince, et l'éclairage basse-énergie à base de diodes électroluminescentes LED. L'industrie du verre, les alliages métalliques, les piles à hydrogène, etc. nécessitent également du gallium. L'industrie de la téléphonie mobile absorbe à elle seule 70 % de l'arséniure de gallium.

Une ressource abondante, mais pauvre, pour un marché modeste ... et critique pour l'économie des pays occidentaux

Le gallium, issu de la métallurgie de l'aluminium, n'est pas un métal rare et ne forme pas de gisement. Il est extrait à partir de la bauxite qui en contient à peine 30 à 80 g/t. La quantité de gallium disponible dans les réserves mondiales (bauxite) est estimée à 1,6 Mt, pour un marché mondial d'environ 100 t/an. La récupération du gallium contenu dans les cendres de charbon pourrait atteindre plusieurs millions de tonnes de métal.

La métallurgie du gallium, une technologie de pointe

L'extraction du gallium brut (99,99 % de pureté, 4N) lors de la production d'alumine et sa purification à 99,9999 % (6N), voire à 99,99999 % (7N) nécessitent un savoir-faire industriel de très haute technologie protégé. La purification à 7N est indispensable pour la production complexe des galettes d'arséniure (AsGa) pour l'industrie des circuits intégrés et du nitrure de gallium (GaN) pour les applications optoélectroniques.

Une production très éclatée, une filière à dominante chinoise et japonaise

L'offre mondiale de gallium, primaire ou secondaire (issue du recyclage) est répartie sur plusieurs pays. La Chine représente une part croissante de la production de l'offre primaire (> de 40 %), aux côtés du Japon, de l'Australie, du Kazakhstan, de la Russie et quelques autres pays. Le raffinage du gallium provient de sociétés chinoises, japonaises, britanniques, américaines et allemandes, et la production d'AsGa pour l'électronique et l'informatique est dominée par le Japon.

Une offre et une demande équilibrées, mais des risques de pénurie transitoire

Le bilan offre-demande en gallium est globalement équilibré. Mais le gallium est sujet à des crises : lorsque la demande est brutale et forte (boum des téléphones portables - fin décennie 90), il fallut un délai pour une production en adéquation avec la demande.

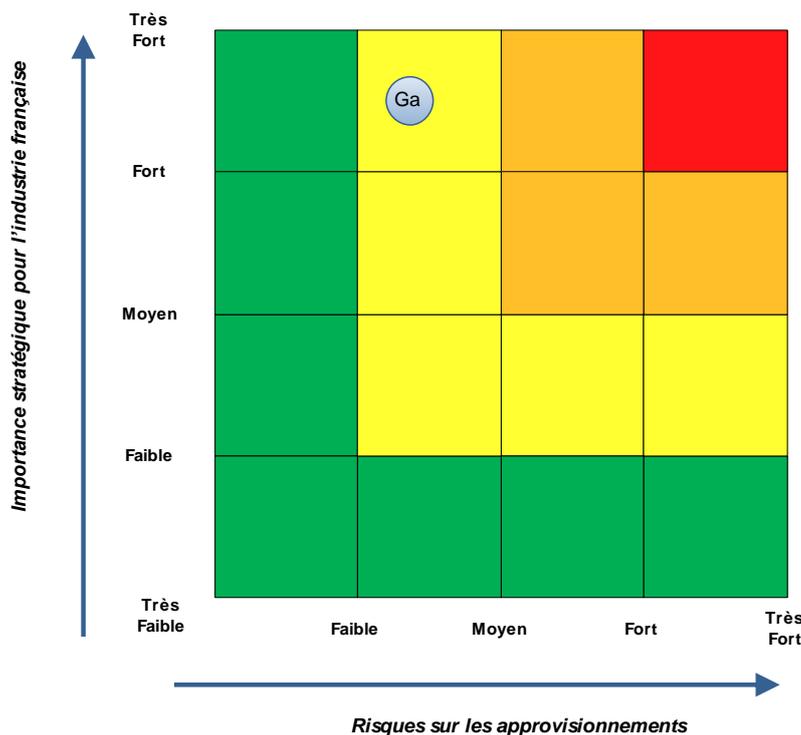
Une importance stratégique pour les industries françaises, un risque moyen sur les approvisionnements

Utilisé dans de nombreux secteurs stratégiques de l'industrie française, le gallium est incontournable pour au moins 20 à 30 ans, de nouveaux usages du gallium sont appelés à se développer. L'abondance et la répartition de la ressource ne posent pas à long terme de problème majeur d'approvisionnements. Il est à souligner que le centre de gravité du marché des approvisionnements en gallium se déplace progressivement vers la Chine, ce qui pourrait modifier ces équilibres.

Situation de la filière gallium en France

La France a été un producteur de gallium métal sur le site Metaleurop de Noyelles-Godault (fermé en 2003), et un fournisseur de gallium raffiné sur le site GEO de Salindres (Gard, fermé en 2006).

**ÉVALUATION DES RISQUES SUR LA FILIÈRE GALLIUM
(Synthèse)**



- Zone à forte criticité, actions conservatoires prises 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)
- Zone à faible criticité. Veille annuelle pour détecter l'émergence éventuelle de facteurs de risque

Sommaire

1 Introduction	9
1.1 TERMINOLOGIE UTILISÉE	9
1.2 CONDITIONS ET LIMITES DE RÉALISATION DE CETTE ÉTUDE	10
2 Le gallium	13
3 Usages	15
3.1 USAGES ET CONSOMMATION	15
3.1.1 Le marché de L'arséniure de gallium.....	17
3.1.2 Le marché de l'alliage CIGS (cuivre indium gallium sélénium).....	18
3.1.3 LED et laser bleu : nitrure de gallium (GaN)	18
3.1.4 Lecteurs HD-DVD (Blu-Ray).....	19
3.1.5 Transistor hyperfréquence.....	20
3.2 PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES USAGES À LONG TERME (HORIZON 2030)	20
3.3 SUBSTITUTION ET RECYCLAGE.....	21
3.4 LES PRIX ET LES MARCHÉS DU GALLIUM : ÉVOLUTION ET SPÉCIFICITÉS.....	21
4 La filière industrielle	23
4.1 RESSOURCES EN GALLIUM.....	23
4.1.1 Abondance du gallium dans l'écorce terrestre	23
4.1.2 La ressource	23
4.2 PRODUCTION	25
4.2.1 Du minerai au gallium brut : les étapes de la transformation	25
4.3 DU MÉTAL AU PRODUIT FINI : ÉTAPES AVAL DE LA FILIÈRE	32
4.4 LES ACTEURS FRANÇAIS.....	35
4.4.1 Principaux acteurs industriels français mettant en oeuvre du gallium	35
4.4.2 Approvisionnement en gallium de l'industrie française.....	35
4.4.3 Évaluation de la criticité pour les industries stratégiques	36
4.4.4 Autres perceptions exprimées par des industriels français	36
4.4.5 Évaluation de la criticité (moyenne des perceptions des industriels rencontrés).....	36

4.5 AUTRES ACTEURS EUROPÉENS.....	37
4.5.1 Les principaux acteurs dans le reste du monde.....	39
5 Analyse de la vulnérabilité des filières françaises et européennes.....	43
5.1 QUE PEUVENT FAIRE LES PAYS OCCIDENTAUX?.....	43
6 Stratégies des autres pays	45
7 Conclusions : préconisations et leviers pour l'action	47
7.1 SYNTHÈSE DES CRITICITÉS ET ACTIONS POSSIBLES	47
7.2 LE PROBLÈME STATISTIQUE	47
8 Bibliographie	49

Liste des figures

Figure 1 - Principaux domaines d'utilisation industrielle du gallium.	15
Figure 2 - Production mondiale (t de gallium brut) et prix du gallium 7N aux États-Unis entre 2003 et 2009 (\$ US courants/kg de gallium) - Source des données : USGS [1].	22
Figure 3 - Localisation des gisements français de bauxite.....	25
Figure 4 - La filière industrielle du gallium produit à partir de la bauxite.	28
Figure 5 - Filière bauxite : schéma d'extraction du gallium brut des liqueurs d'aluminate du procédé Bayer.	31
Figure 6 - Principaux acteurs français de la filière du gallium. Relations avec les acteurs internationaux de l'industrie du gallium (Source : Etude CEIS).	34

Liste des tableaux

Tableau 1 - Principales utilisations du gallium.	17
Tableau 2 - Firmes leaders dans la détention de brevets liés aux diodes électroluminescentes.	19
Tableau 3 - Prévision des besoins de gallium à l'horizon 2030 lié aux seules technologies innovantes.	20

Tableau 4 - Abondance du gallium dans l'écorce terrestre comparée à quelques métaux plus usuels - Source : [5].	23
Tableau 5 - Statistiques mondiales de production de bauxite, en kilotonnes - Source: USGS [1].	24
Tableau 6 - Principaux producteurs mondiaux de gallium brut : Ga 3N et 4N. (Situation en 2001, d'après Roskill).	27
Tableau 7 - Les principaux pays producteurs de gallium brut, données 2001 (source : [2]).	29
Tableau 8 - Principaux producteurs mondiaux de gallium raffiné.	33
Tableau 9 – France : utilisateurs industriels du gallium et de ses dérivés.	35
Tableau 10 - Provenance du gallium importé par le JApon en 2001 (tonnes).	40
Tableau 11 - Criticités liées au gallium.	48

1 Introduction

Cette étude a été réalisée suite à la commande adressée au BRGM par le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, datée du 4 janvier 2010.

1.1 TERMINOLOGIE UTILISÉE

- **Criticité** : cette étude vise notamment à déterminer les facteurs de criticité pouvant impacter la sécurité des approvisionnements nécessaires aux industries français utilisant la/les matières premières minérales étudiées. 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

- **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.
- **Pureté d'un métal** : elle est exprimée par la lettre N, précédée par un chiffre qui représente le nombre de 9 dans le pourcentage de pureté d'un métal. Le dernier chiffre, s'il est différent de 9, ne compte pas. Ainsi du gallium de pureté 4N titre 99,99% de Ga, du gallium de pureté 6 N titre 99,9999 %.
- **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 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 géochimie, géophysique.

Note : les références bibliographiques sont indiquées par un chiffre entre crochets, par exemple [7]. Elles sont détaillées à la fin de ce rapport.

1.2 CONDITIONS ET LIMITES DE RÉALISATION DE CETTE ÉTUDE

Cette étude a été réalisée en janvier et février 2010 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 pour l'identification et l'analyse de la filière industrielle française. La complexité, l'opacité d'une filière économiquement et technologiquement très sensible, la rareté de la documentation ainsi que le temps limité disponible pour réaliser cette étude en conditionnent le contenu. Celui-ci, basé sur les meilleurs efforts et l'expérience des auteurs du BRGM ainsi que des intervenants de CEIS, représente une photographie d'une industrie française et globale en évolution rapide et constante, notamment du fait des mutations industrielles profondes que rend possible la maîtrise des technologies mettant en œuvre le gallium.

L'évaluation des criticités présentées dans ce rapport doit être considérée comme forcément subjective, puisqu'elle est basée sur l'expérience et la vision du secteur des auteurs de ces évaluations. Elle est basée sur l'évaluation des risques pouvant affecter la sécurité des approvisionnements aux différents stades de la filière industrielle du gallium, Cette vision peut être très limitée dans le cas d'un industriel situé très en aval de la filière qui lie, tout en amont, la connaissance de la géologie et de la minéralogie, à l'extrême aval de la filière comportant par exemple la fin de vie de l'ordinateur portable qui a permis la rédaction de ce rapport, et du gallium qu'il contient, notamment dans ses circuits intégrés et dans ses diodes photoluminescentes.

La filière industrielle de production du gallium à partir de la bauxite représente 95 % de la production mondiale de gallium. Représentée par la figure 5, cette filière comporte :

- l'exploitation minière de la bauxite,
- l'extraction du gallium brut lors de la production d'alumine à partir de la bauxite,

- le raffinage du gallium en métal de haute pureté,
- la production de galettes d'arséniure de gallium (AsGa) ou de nitrure de gallium (GaN),
- utilisation du gallium métal, de l'AsGa et du GaN pour la production d'une vaste gamme d'applications,
- le recyclage des déchets de production de l'AsGa et du GaN (recyclage primaire).

Les acteurs industriels changent tout au long de cette filière où il n'y a pas d'intégration verticale poussée. Il faut ajouter à ces acteurs les courtiers et négociants qui créent les liens commerciaux entre les différents acteurs de la filière.

Le cloisonnement de la filière contribue à expliquer les différentes perceptions de criticité exprimées par les acteurs de la filière.

2 Le gallium

Le gallium fût découvert en 1875 par le chimiste français Paul-Émile Lecoq de Boisbaudran. C'est un métal du groupe IIIb (B-Al-Ga-In-Th) de la classification périodique des éléments. Il est voisin de l'aluminium et du zinc avec lesquels il est souvent associé. Ses composés stables sont trivalent (Ga^{3+}). Il a la particularité de présenter un point de fusion très bas (moins de 30 °C).

Principales caractéristiques du gallium :

- Symbole : Ga
- N° atomique : 31
- Masse atomique : 69,72
- Densité : 5,9
- Température de fusion : 29,8°C
- Température d'ébullition : 2403°C
- Abondance dans la croûte terrestre : 19 ppm

Il n'existe pas de statistiques sur la production et le commerce international du gallium. Selon l'USGS [1], la production primaire mondiale de gallium brut¹ était de 78 t de Ga en 2009, en chute de 30 % par rapport à 2008 (111 t). Les seules statistiques un peu détaillées concernent les capacités de production des usines pouvant produire du gallium brut ou purifié, la capacité de production semblant parfois excéder nettement la demande estimée du marché. Le gallium est un sous-produit de divers types de matières premières minérales primaires, la principale source de gallium aujourd'hui utilisé étant la bauxite, le gallium étant alors extrait lors de la production de l'alumine, première étape de la transformation de la bauxite en aluminium. Très peu d'opérateurs industriels disposent de la technologie d'extraction, puis de purification du gallium. Leurs secrets industriels sont très bien gardés, la filière du gallium étant fort peu transparente.

Ce rapport a été produit à partir de l'importante documentation technique dont dispose le BRGM, incluant notamment :

- les bases de données et rapports publics de l'United States Geological Survey ;
- les bases de données commerciales produites par le Raw Materials Group et le Metals Economics Group ;
- l'étude spécialisée sur le gallium produite par Roskill (7^{ème} édition, 2002) [2].

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

¹ Avant raffinage à divers degrés de pureté

3 Usages

Le gallium à une vaste gamme d'applications, schématisée par la figure 1 ci-dessous, couvrant un grand nombre de domaines industriels porteurs de croissance, notamment dans le domaine de l'électronique, du développement des circuits électroniques à hautes performances, de l'éclairage à très basse consommation et du développement de l'utilisation de l'énergie solaire (photovoltaïque).

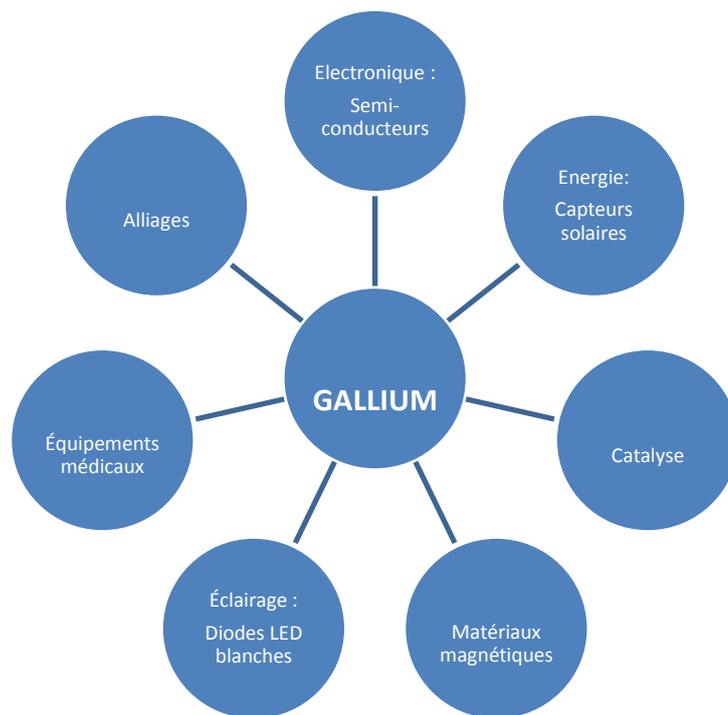


Figure 1 - Principaux domaines d'utilisation industrielle du gallium.

3.1 USAGES ET CONSOMMATION

Le gallium est utilisé pour des applications électroniques et non-électroniques.

Plusieurs composés principaux de gallium ont des applications spécifiques :

- l'**arséniure de gallium** (AsGa), l'arséniure de gallium-aluminium (AsGaAl) qui sont utilisés dans la fabrication des composants semi-conducteurs pour l'industrie électronique et les télécommunications (transistors et circuits intégrés) ;
- les **nitrides de gallium** (GaN) qui sont principalement pour la fabrication des LEDs (diodes émettrices de lumière) ;
- les **phosphures de gallium** (et les phosphures complexes de gallium, aluminium et indium) qui sont utilisés pour la fabrication des composants optoélectroniques et des circuits intégrés ;

- **l'alliage cobalt - indium - gallium et sélénium (CIGS)** utilisé pour les technologies photovoltaïques dites « à couches minces ».

Ces applications absorbent 95 % de la production mondiale de gallium.

Les 5 % restants permettent de couvrir sous des formes diverses les besoins d'applications non-électroniques : alliages à bas point de fusion, thermométrie.

Applications électroniques

Optoélectronique (GaN)

- LED en lumière visible (écrans plats),
- LED infra-rouge,
- Diodes laser (CD, DVD),
- Photo détecteurs (interrupteurs de communication optique).

Électronique (AsGa)

- Circuits intégrés, microprocesseurs, puces WiFi et communications sans fil,
- Dopant de lasers,
- Micro-ondes,
- Ultra hautes fréquences,
- Cellules photovoltaïques.

L'arséniure de gallium (AsGa) constitue le substrat privilégié des composants actifs hyperfréquences, notamment pour les communications sans fil (puces Wifi). 70 % de l'AsGa est aujourd'hui utilisé dans l'industrie de la téléphonie mobile.

Les puces en AsGa présentent un avantage d'importance par rapport aux puces en silicium : les électrons y voyagent beaucoup plus rapidement. Dans l'industrie électronique de défense, l'AsGa est aussi intéressant dans le sens où il résiste aux radiations. Les puces AsGa sont des éléments très importants pour les composants des avions de combat et des missiles.

En France, Alcatel l'utilise pour la fabrication des lasers semi-conducteurs, des lasers miniaturisés, des circuits intégrés photoniques, et des modulateurs.

Applications non-électroniques (alliages/chimie, 10 % de la consommation)

- Alliages pour fusibles,
- Catalyse,
- Cire de fartage de ski,

- Plombages dentaires,
- Stockage d'énergie (lié aux technologies à base d'hydrogène, comme les piles à hydrogènes),
- Thermométrie des hautes températures

	Filière	Application	
Ga	Ga métal		Le « crude Ga » (4N), sous-produit des raffineries d'alumine (95 %) et de zinc (5%), est la matière première qui est ensuite raffinée en « refined Ga » (7N).
GaAs 90%	semi-conducteur	Electronique avec internet mobile	GaAs substrats, pureté : 7N, pour puce haute fréquence pour internet en fréquence radio
		Radar automobile	radar de sécurité automobile
GaN 5%	Opto électronique	LED (diodes électroluminescentes)	<ul style="list-style-type: none"> « Ultra-bright LED's » pour phares de voiture, Feux de signalisation tricolore. Avec luminophores de terres rares (GaN :Er = lumière verte et GaN :Eu : lumière rouge). « False white LED » : luminophores jaunes <i>Evolution</i>: « Thru White LED » diode à lumière blanche
		Laser DVD haute définition	Diodes lasers bleu-violet (405 nm) pour le stockage optique des DVD enregistreur de haute densité.

Tableau 1 - Principales utilisations du gallium.

3.1.1 Le marché de L'arséniure de gallium

En 2008, la croissance de l'industrie de l'arséniure de gallium a baissé de 6% et s'est contracté encore en 2009, sous l'effet de la crise économique mondiale qui a ralenti la consommation de circuits intégrés. Le marché devrait croître sur une base de 4% par an à partir de 2013 pour atteindre 4,5 milliards de \$.

La fonderie de AsGa est dominée par les États Unis (TriQuint Semiconductor) et Taïwan (Win Semiconductor et Advanced Wireless Semiconductor Corp. Ou AWSC), TriQuint et Win Semiconductor dominent complètement le marché, puisqu'à eux deux ils représentaient 77 % des activités mondiales de fonderie d'arséniure de gallium en 2008, dans un marché en croissance de 27 % par rapport à 2007, et d'une valeur estimée à 311 millions de dollars [3].

Les puces en AsGa présentent un avantage d'importance par rapport aux puces en silicium : les électrons y voyagent beaucoup plus rapidement. Dans l'industrie électronique de défense, l'AsGa est aussi intéressant dans le sens où il résiste aux radiations. Les puces AsGa sont des éléments très importants pour les composants des avions de combat et des missiles. Le domaine des communications sans fil est la principale application des circuits intégrés utilisant l'AsGa.

Les panneaux solaires en AsGa sont également plus performants que ceux en silicium. Les puces RFID contiennent de l'AsGa. Par ailleurs, 70 % de l'AsGa est aujourd'hui utilisé dans l'industrie de la téléphonie mobile. La consommation d'AsGa est en croissance constante, de l'ordre de 15 % par an.

3.1.2 Le marché de l'alliage CIGS (cuivre indium gallium sélénium)

La demande en gallium pour le marché du photovoltaïque, avec la production de modules CIGS, est attendue en forte hausse dans les pays développés. L'efficacité de la conversion de 10% n'est pas la meilleure, mais l'avantage du CIGS est une énergie verte sans émissions, une production massive aisée et flexible, une faible maintenance. Le risque mentionné est la disponibilité de l'indium à long terme, qui fait que les constructeurs japonais ont tendance à privilégier la technologie CdTe (cadmium-tellure).

Pour produire 1 gigawatt de puissance, la quantité de gallium nécessaire dans les cellules photovoltaïques CIGS est estimée à 4 tonnes de gallium (le composé CIGS contient 10 % de Ga).

Leur fabrication massive a débuté, permettant un rapide démarrage de la demande en 2010. Vers 2013, sur la base de 3 à 5 % du marché photovoltaïque produit avec la technologie CIGS. Elle consommera alors 10 t/an de gallium, **soit 5 % de la demande totale** (200 t en incluant le recyclage²). Mais selon le Metal Bulletin, la croissance de la demande serait plus élevée, à 35t,

3.1.3 LED et laser bleu : nitrure de gallium (GaN)

Diodes électroluminescentes (LED)

Le nitrure de gallium émet une lumière bleue intense quand il est traversé par un courant électrique, ce qui en fait une diode électroluminescente (ou LED pour « Light Emitting Diode »).

Le nitrure de Gallium (GaN) permet de fabriquer des diodes électroluminescentes émettant une lumière blanche « naturelle », à très longue durée de vie, consommant seulement une fraction de l'énergie consommée par les ampoules traditionnelles à filament de tungstène ou par les lampes fluorescentes de basse consommation actuelles (qui contiennent du mercure !). Avec, à terme, une économie d'énergie électrique considérable. En effet, une telle lampe-diode ne consommera que 20 % de l'équivalent d'une lampe à incandescence.

Osram-Siemens a commercialisé une LED de « vraie » lumière blanche qui égale l'efficacité d'une ampoule à incandescence à filament de W de 75 W pour seulement 13 W. Mais c'est encore très cher, et de ce fait les LED ne vont remplacer massivement les ampoules à incandescence que dans quelques années. La transition est cependant engagée. Elle a commencé avec les signaux de circulation, et progresse maintenant rapidement dans les phares d'automobiles, les éclairages de magasins, etc. On en est encore qu'au tout début de ces applications.

² La production secondaire de gallium est importante et estimée à 60 t/an. Il ne s'agit pas de recyclage de produits en fin de vie, mais du recyclage des chutes neuves (new scrap) issues de la fabrication des galettes de GaAs (« wafers »). Ce recyclage se réalise en boucle quasi fermée (« closed-loop »).

Première auto « tout LED », l'Audi R8 Sport dispose d'un ensemble d'éclairages extérieurs composés de 54 diodes lumineuses LED.

La Chine est devenue rapidement la région à plus forte croissance pour l'industrie de l'éclairage optoélectronique à base de semi-conducteurs. Le montant des produits LED élaborés en Chine devrait atteindre 15 milliards de \$ en 2010,

Le marché de la microélectronique à base de composés GaN est attendu en forte croissance, de 98 % par an. Les LEDS sont présentes dans les téléphones, ordinateurs, PDA et autres appareils portables, et maintenant dans les télévisions et moniteurs à affichage par cristaux liquides (LCD) à rétro-éclairage LED.

Normalement le GaN croit par croissance épitaxiale sur des substrats (wafer) en saphir, mais Cambridge a réussi à obtenir du GaN sur un substrat de silicium, diminuant leur coût de production de 50%.

1	Philips/Lumileds	Netherlands/U.S.
2	Osram/Siemens	Germany
3	GE/Gelcore	U.S.
4	United Epitaxy/Epistar	Taiwan
5	Xerox	U.S.
5	Oki	Japan
7	Eastman Kodak	U.S.
8	HP	U.S.
8	Para Light Electronics	Taiwan
10	Hon Hai Precision	Taiwan
11	IBM	U.S.
11	Lite On Electronics	Taiwan
13	Samsung	Korea
14	Nichia	Japan
15	Cree	U.S.

Tableau 2 - Firmes leaders dans la détention de brevets liés aux diodes électroluminescentes.

3.1.4 Lecteurs HD-DVD (Blu-Ray)

Le GaN entre dans la fabrication des nouveaux lasers bleue-violet à longueur d'onde plus courte (Blu-Ray), qui permettent une plus grande précision de gravure et donc, de stocker beaucoup plus d'informations (25 GO) que sur un DVD conventionnel (4,7 GO). Le gallium est la clef de cette technologie.

Les anciens DVD utilisent un laser rouge, d'une longueur d'onde de 650 nanomètres, le Blu-Ray utilise un laser bleu de 405 nanomètres, donc plus « fin », permettant d'enregistrer davantage de données sur une surface identique.

3.1.5 Transistor hyperfréquence

Des transistors de 65 watts de puissance (bande Ku entre 12 et 18 GHz) en GaN (au lieu de AsGa) sont produits par Toshiba pour la fabrication de satellites et de radars haute définition.

3.2 PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES USAGES À LONG TERME (HORIZON 2030)

L'étude du Fraunhofer Institut [1], qui ne porte que sur les nouvelles filières industrielles de haute technologie, a identifié 3 filières de haute technologie qui devraient fortement doper la consommation de gallium à l'horizon de 2030 :

- par rapport à la production mondiale 2006, le besoin en gallium devrait croître de 35 % (+ 134 t) suite à la banalisation de l'éclairage utilisant des diodes photoluminescentes LED,
- le développement continu de l'utilisation de circuits intégrés de haute performance (microprocesseurs, mémoires...) devrait entraîner une hausse de la consommation de gallium de 191 t/an, soit 93 % de plus que l'ensemble de la consommation mondiale de 2006,
- enfin, les besoins liés au développement rapide de panneaux solaires couchent minces CIGS devrait, à l'horizon 2030, nécessiter 250 t/an de gallium supplémentaire.

Anticipation des besoins en gallium à l'horizon 2030 liés aux seules technologies innovantes				
Source des données: Angerer et al. [4]				
Technologie	Consommation de gallium en 2006 (en t.)	Consommation de gallium en 2030 (en t.)	Besoin en gallium supplémentaire (en t.)	Besoin en gallium supplémentaire, exprimé en % par rapport à la production mondiale 2006
LED blanches (éclairage)	9	143	134	35%
Circuits intégrés de haute performance	18	209	191	93%
Cellules photovoltaïques à couches minces (CIGS)	1	251	250	153%
Total	28	603	575	481%
Production mondiale de gallium en 2006 :(t.)	99			

Tableau 3 - Prévision des besoins de gallium à l'horizon 2030 lié aux seules technologies innovantes.

CRITICITÉ LIÉE À LA DEMANDE

3

En tout, par rapport à la production mondiale 2006, ce sont 575 t/an de gallium supplémentaire qu'il faudra produire, soit environ cinq fois plus que la production 2006. Il n'y a pas de problèmes de ressources de gallium, ces besoins peuvent être largement couverts à condition que soit réalisés les investissements privés dans le développement de nouvelles capacités de séparation et de raffinage du gallium.

Il y a un risque que ces investissements soient essentiellement réalisés par des opérateurs chinois afin d'assurer la mainmise de ce pays sur les industries de haute technologie consommatrices de gallium. Ce scénario est d'autant plus réaliste que la Chine est déjà un gros importateur de bauxite, et un gros producteur de charbon, deux sources de gallium.

Encadré 1 - Criticité liée à l'offre.

3.3 SUBSTITUTION ET RECYCLAGE

Aux Etats-Unis, selon l'USGS [1] il n'y a pas de recyclage de gallium à partir de ses diverses applications. Les déchets de la production du gallium brut, raffiné ou de la production des galettes de AsGa ou GaN sont recyclés (recyclage primaire). Ce recyclage primaire joue un rôle important dans la production de gallium.

Selon Angerer *et al.* [4], les nouvelles technologies qui vont, d'ici 2030, stimuler la demande en gallium, n'offrent que très peu de perspectives de recyclage.

Les possibilités ponctuelles de substitution du gallium dans une application déterminée sont mentionnées dans le texte ci-dessous. D'une manière générale l'utilisation des métaux rares tels que le gallium se développe rapidement à cause de leurs propriétés physiques et/ou chimiques spécifiques permettant le développement d'applications très innovantes et apportant des bénéfices sur le plan de la protection des ressources naturelles et de l'environnement en général telles que la réduction de la consommation d'énergie. Le gallium est l'un des moteurs essentiels du développement de l'informatique moderne, des réseaux de télécommunications et des systèmes modernes de défense. Aucune substitution à grande échelle n'est envisageable.

3.4 LES PRIX ET LES MARCHÉS DU GALLIUM : ÉVOLUTION ET SPÉCIFICITÉS

Depuis 2003 les prix du gallium oscillent dans une fourchette comprise entre 400 et 600 \$/kg (figure 3), reflétant largement l'état du marché des microprocesseurs et des circuits électroniques intégrés. Depuis 2006, la production de gallium brut et les prix sont bien corrélés et suivent l'évolution du marché des microprocesseurs, la chute de

la production et les prix constatés en 2009 traduisant le ralentissement du marché des composants électroniques, lui-même lié à la crise économique internationale.

Toutefois, le marché gallium peut subir des crises conjoncturelles, lorsqu'une nouvelle demande induite par une technologie se développant rapidement est trop brutale et forte, car il faut un certain temps pour que la production se mette en adéquation avec cette demande. En 2001, en pleine phase de développement très rapide du marché du téléphone portable, le prix du gallium a atteint jusqu'à 2 700 \$/kg sur le marché spot, jusqu'à ce que l'offre s'adapte à nouveau à la demande.

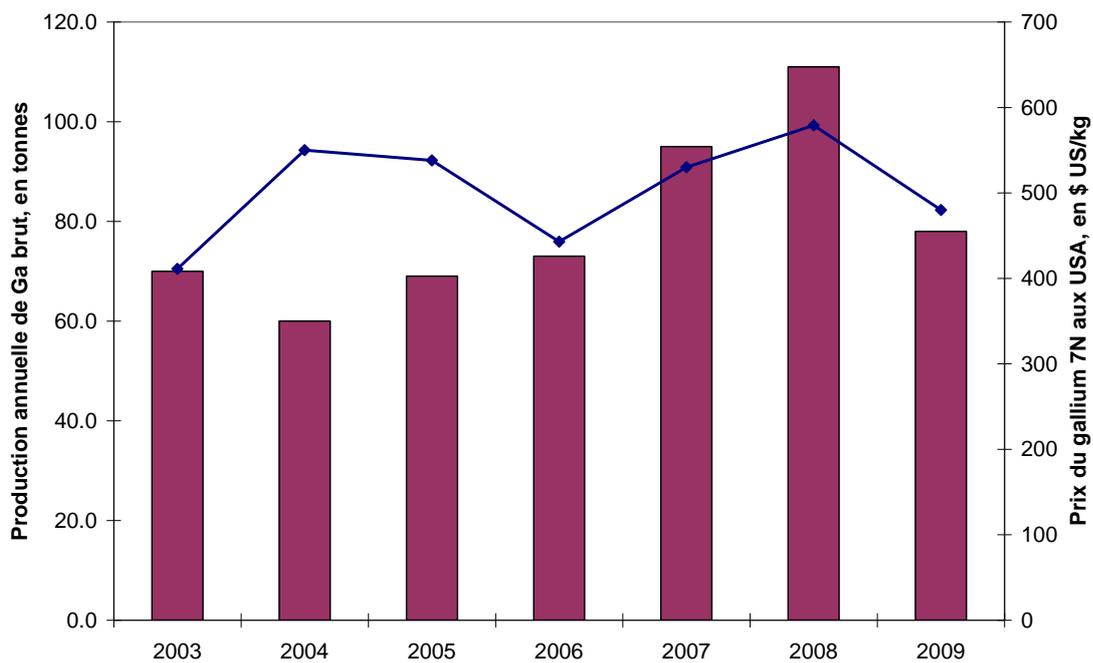


Figure 2 - Production mondiale (t de gallium brut) et prix du gallium 7N aux États-Unis entre 2003 et 2009 (\$ US courants/kg de gallium) - Source des données : USGS [1].

4 La filière industrielle

4.1 RESSOURCES EN GALLIUM

4.1.1 Abondance du gallium dans l'écorce terrestre

Par ordre d'abondance dans l'écorce terrestre le gallium est relativement abondant : l'écorce terrestre en contient 19 parts par million en moyenne, ce qui est comparable au lithium et près du double de la teneur en plomb (10 ppm, tableau 4). Cependant le gallium ne forme pas de concentrations économiquement exploitables.

		Teneur moyenne dans l'écorce terrestre
	Ga (Gallium)	19 ppm
Autres métaux	Cu (Cuivre)	68 ppm
	Co (Cobalt)	30 ppm
	Pb (Plomb)	10 ppm
	Ag (Argent)	0,08 ppm
	Au (Or)	0,004 ppm

Tableau 4 - Abondance du gallium dans l'écorce terrestre comparée à quelques métaux plus usuels - Source : [5].

4.1.2 La ressource

Minéraux et minerais de gallium

Les minéraux du gallium sont exceptionnels, et spécifiques à de rares gisements :

- Carnevallite Cu_3GaS_4 ,
- Gallite CuGaS_2 ,
- Gallobeudantite $\text{PbGa}_3[(\text{AsO}_4),(\text{SO}_4)]_2(\text{OH})_6$.

En contrepartie, en élément trace, le gallium est présent dans de nombreux autres minéraux dont quelques-uns constituent les seuls véritables porteurs d'intérêt économique :

- la plombo-jarosite du gisement d'Apex Mine aux États-Unis, en substitution du Fe, et à des teneurs de 1 100-3 500 g/t Ga,
- les hydroxydes d'alumine, principaux constituants des bauxites, avec des teneurs de l'ordre de 30-80 g/t,
- certaines sphalérites,
- certains silicates (néphéline, spodumène, lépidolite),
- certains phosphates,
- certains charbons.

La seule exploitation minière spécifique au gallium fut celle d'Apex Mine (Utah, Etats-Unis) qui produisait Ga et Ge à partir d'un minerai de Cu oxydé à goethite, limonite et jarosite. Elle a fermé en 1990 suite à l'effondrement des cours. Apex Mine est un gisement de type « Kipushi » : pipe bréchique de forme elliptique, recoupant un encaissant dolomitique. Le gisement est oxydé sur plus de 400 m de hauteur, et en profondeur, on décrit une minéralogie similaire à celle des gisements de Kipushi et Tsumbed, de la Copperbelt du Sud de l'Afrique.

Le gallium est essentiellement un sous-produit de la métallurgie de l'aluminium. Il est présent dans les bauxites à des concentrations comprises entre 30 et 100 g/t. Les bauxites du Surinam sont citées pour être parmi les plus riches (80 g/t Ga). La quantité de Ga disponible dans les réserves mondiales de bauxite est estimée à 1,6 Mt métal.

Sur la base d'une teneur moyenne de 50 g/t de Ga par tonne de bauxite, il aurait, en principe, été possible de produire 10 050 t de gallium en 2009, ce qui montre l'existence d'une marge très importante de ressources non utilisées. Par ailleurs la répartition géographique des ressources en bauxite est large, et ne pose pas de problème géopolitique particulier (tableau 5).

Pays	Production minière 2008 (kT)	Production minière 2009 (kT)	Réserves (kT)
États-Unis	ND	ND	20000
Australie	61,400	63,000	6,200,000
Brésil	22,000	28,000	1,900,000
Chine	35,000	37,000	750,000
Grèce	2,220	2,200	600,000
Guinée	18,500	16,800	7,400,000
Guyana	2,100	1,200	700,000
Inde	21,200	22,300	770,000
Jamaïque	14,000	8,000	2,000,000
Kazakhstan	4,900	4,900	360,000
Russie	6,300	3,300	200,000
Surinam	5,200	4,000	580,000
Venezuela	5,500	4,800	320,000
Vietnam	30	30	2,100,000
Autres pays	6,550	5,410	3,200,000
Total mondial (arrondi)	205,000	201,000	27,000,000

Tableau 5 - Statistiques mondiales de production de bauxite, en kilotonnes - Source: USGS [1].

Le gallium pourrait être également un sous-produit de l'industrie du zinc, mais sa récupération est onéreuse, et est abandonnée au profit des liqueurs d'aluminate.

Les ressources le plus importantes de Ga sont contenues dans les phosphates et les charbons. Quand le phosphore est produit par électrochimie à partir de phosphate, le gallium se retrouve dans les fumées. Il en est de même pour les cendres volantes des centrales électriques à charbon et dans les poussières des usines à gaz. Les

concentrations moyennes dans ces poussières sont comprises entre 100 et 1 000 g/t. Ces ressources ne sont pas exploitées actuellement, mais elles sont considérables, et représentent un potentiel de plusieurs millions de tonnes métal.

La France dispose de ressources en bauxite (figure 3) dans le Sud de la France dont l'exploitation historique par Péchiney est aujourd'hui abandonnée.

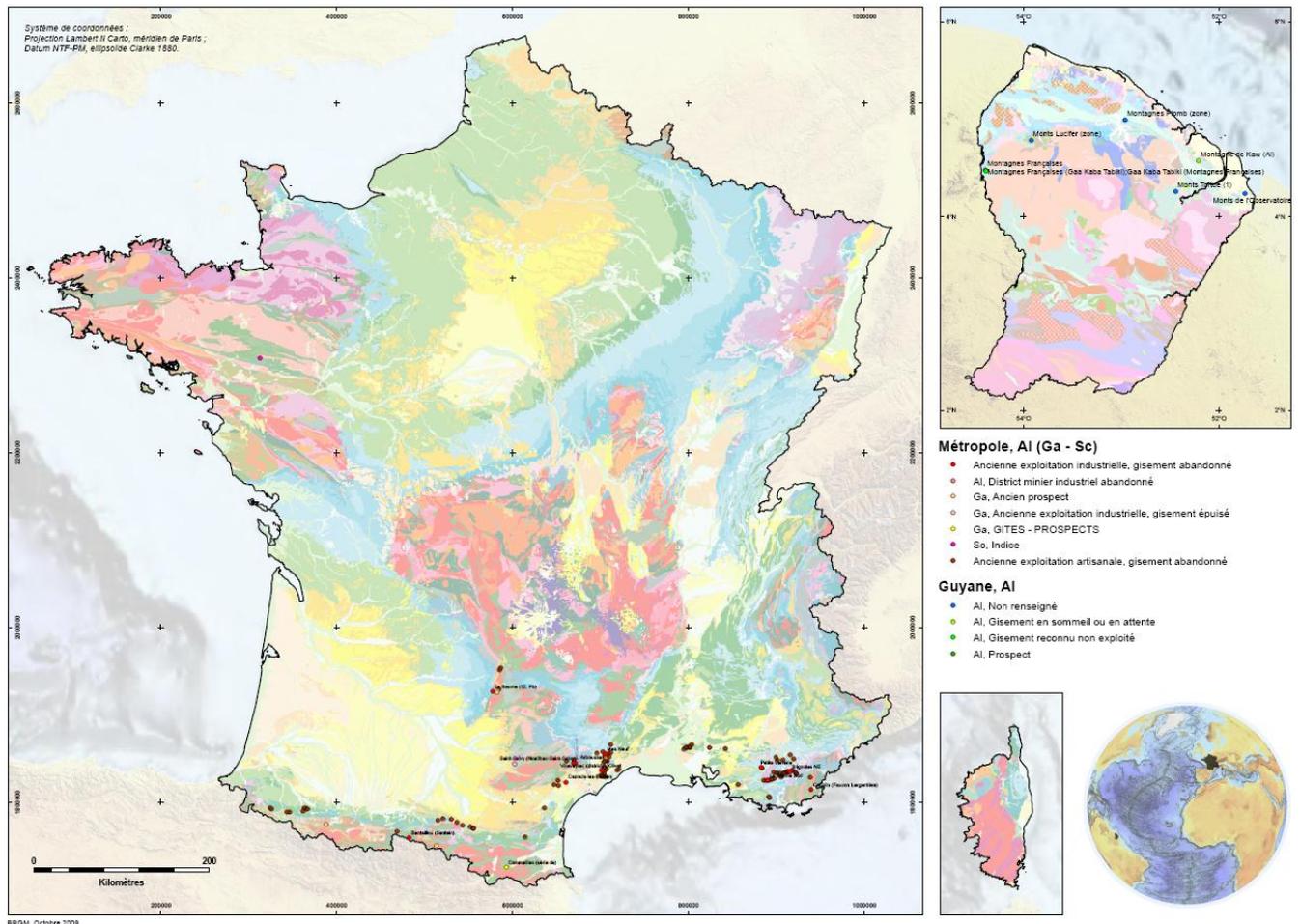


Figure 3 - Localisation des gisements français de bauxite.

4.2 PRODUCTION

4.2.1 Du minerai au gallium brut : les étapes de la transformation

À partir de la bauxite

Le diagramme de la figure 5, ci-dessous, indique les grandes étapes de fabrication des différentes applications mettant en œuvre le gallium à partir de l'exploitation minière de

la bauxite. La filière de traitement des bauxites représente 95 % de la production mondiale de gallium brut.

Cependant, d'autres méthodes d'extraction telle que la précipitation fractionnée ou l'électrolyse directe permettent également de récupérer du gallium à partir des liqueurs Bayer.

Le gallium est extrait lors de la production de l'alumine à partir de la bauxite grâce au procédé Bayer. Lors de l'attaque de la bauxite à la soude caustique en phase liquide les impuretés insolubles sont séparées et rejetées (« boues rouges »), le trihydroxyde d'aluminium est concentré et partiellement précipité dans la solution, puis calcinée à 1200° centigrades pour produire l'alumine. Au cours de ce procédé, la solution alcaline est progressivement enrichie en gallium, à partir d'un ratio initial Ga/Al d'environ 1/5 000 à environ 1/300. Divers procédés semblent exister pour l'extraction du gallium brut à partir de la liqueur de Bayer :

- l'extraction par solvant à partir des solutions de recirculation dans le procédé Bayer (organigramme simplifié de traitement : figure 6). C'est le procédé le plus économique,
- l'électrolyse avec une cathode au mercure produit une concentration encore plus grande, et la solution de gallate de sodium ainsi formée est ensuite électrolyse avec une cathode en acier inoxydable pour produire le gallium métallique.

Le gallium produit est dit brut, d'indice de qualité 3N : 99,9 % ou 4N : 99,99 %. Il est de pureté insuffisante pour être utilisé tel quel pour la production de AsGa ou de GaN, les applications électroniques et optoélectroniques nécessitant une pureté de 7N.

Le gallium brut doit donc être purifié et raffiné pour produire le gallium 6N ou 7N nécessaire à l'industrie de l'électronique. Le gallium purifié est ensuite transformé en AsGa ou GaN pour la production des différentes applications mettant en œuvre le gallium. Les résidus et déchets de gallium sont récupérés à toutes les étapes du cycle de fabrication et recyclés.

À partir des minerais de zinc

Dans la filière de production du zinc à partir du minerai sulfuré, où les procédés de raffinage hydro-métallurgiques ont largement remplacé la pyro-métallurgie ancienne et polluante, on récupère le gallium dans un précipité qui est fabriqué lors d'une étape de purification des solutions de sulfates de zinc primaires avant leur électrolyse.

Le précipité est alors purifié par une solution acide, puis mis en solution acide dans une seconde étape ; une extraction du gallium par solvant est réalisée. Au stade final, on récupère le gallium par électrolyse en milieu alcalin.

À partir des cendres de charbon ou des usines de gaz

Dans les cendres de charbon, ou dans les cendre volantes des usines de gaz, on peut récupérer du gallium après par attaque acide suivie d'une extraction par l'éther utilisé comme solvant.

À partir des déchets de fabrication des galettes d'AsGa/ AsN (recyclage primaire)

Pour les filières recyclage des déchets de fabrication des wafers au gallium, une attaque à l'acide nitrique 2N dissout 99 % gallium. En repassant en milieu chlorhydrique, on peut préparer le chlorure GaCl₃ qui est commercialisable comme premier concentré.

L'Australie, le Kazakhstan et la Russie sont les principaux pays producteurs de Ga primaire (tableau 6).

Pays	Producteur	Localisation	Capacité supposée
Australie	GEO Speciality Chemical	Alumine de Pinjarra (Alcoa)	100 t/an (p)
Kazakhstan	JSC Aluminium of Kazkhstan	Pavlodar	25 t/an (p)
Japon	Dowa mining	Akita City	
Ukraine	Nikolaev Alumina Plant	Nikolaev	10 t/an (p)
Chine	Great Wall Aluminium Corp	Henan	20 t/an (p)
	Shandong Al Corporation	Shandong	7 t/an (p)
	Shanghai Sumika	Shanghai	40 t/an (p)
Russie	Achinsk Alumina Combine	Krasnoïarsk	5 t/an (p)
	Bogositogork Aluminium plant	Leningrad	2 t/an (p)
	Pikalevo Al Plant, Glinozem	Pikalevo	5 t/an (p)
Hongrie	Ajka Alumina Co		15 t/an (p)
Allemagne	Recylex	Langelsheim	? (s)
Canada	Teck-Cominco	Trail	?
Norvège	Elkem		5 t/an (p)

p : production de gallium brut à partir de minerai primaire

s: production de gallium brut à partir de scrapes recyclés

*Tableau 6 - Principaux producteurs mondiaux de gallium brut : Ga 3N et 4N.
(Situation en 2001, d'après Roskill).*

La chaîne de production est faiblement intégrée, le cas le plus fréquent étant une dissociation des différents acteurs de la chaîne, une mauvaise connaissance de cette chaîne par les producteurs d'applications à base de gallium et une assez mauvaise remontée de l'information sur les besoins futurs de ses producteurs notamment vers les sociétés produisant le gallium brut, ce qui rend difficile l'anticipation des besoins et peut entraîner des goulots d'étranglement au niveau de l'offre [6] notamment à cause du temps nécessaire à la mise en place de nouvelles capacités de production.

La figure 5 représente les éléments de la filière industrielle du gallium basée sur l'extraction du gallium à partir de la bauxite. La figure 4, produite par CEIS dans le

cadre de son étude de la partie française de cette filière, détaille cette filière très évolutive.

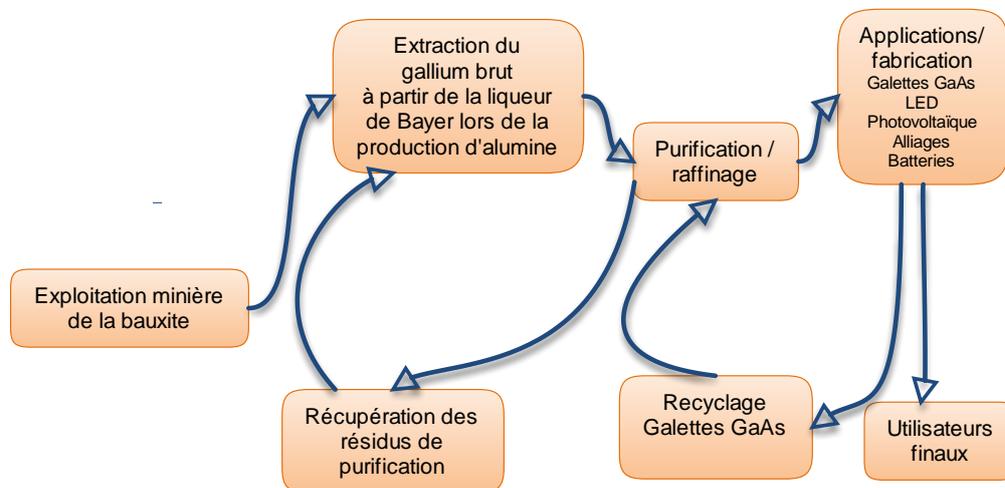


Figure 4 - La filière industrielle du gallium produit à partir de la bauxite.

L'offre tant de gallium brut que de gallium raffiné est difficile à apprécier avec précision.

Le gallium brut ou « crude Ga » : Ga 3N (99,9 %) ou 4N (99,99 %)

En 2008, les principaux producteurs de Ga brut furent [8] :

- la Chine : Aluminium Corporation of China (également connu sous le nom de Chalco/Chinalco),
- l'Allemagne : Recapture Metals Ltd/Mining & Chemical Products Limited,
- le Japon : Dowa Holdings,
- l'Ukraine : Mykolayivsky Hlynozemyy Zavod.

Une part croissante de la production de gallium primaire est issue de Chine (> 50 % de l'offre primaire [50 %]), Aluminium Corporation of China étant très vraisemblablement le premier producteur mondial. En 2004 la société annonça sur son site Internet³ produire 30 % du gallium primaire mondial et être ainsi le premier producteur.

Selon l'USGS [1], il n'y a pas eu de changement majeur en 2009.

La Hongrie, le Kazakhstan, la Russie et la Slovaquie jouent un rôle plus secondaire. Cette situation 2008/2009 est une évolution un changement considérable par rapport à 2001 (tableau 7), où les principaux producteurs de gallium primaire se situaient en Australie, au Kazakhstan et en Russie.

³ http://www.chalco.com.cn/zt/web/chalco_en_show.jsp?ColumnID=201

pays producteurs (1)	production Ga brut 2007, tonnes	production : remarques	minéraux produits	élaboration de concentrés marchands	métallurgie extractive
Chine (e)	30	sous-produit de Zn (en général, mine souterraine)	blende (sphalérite) locale et importée	extraction, broyage, concentration par flottation > concentré de blende ZnS, qui contient Ge, Ga, In, Cd, (Pb, Ag), Fe	Grillage et réduction en four continu (<i>Flash smelting</i> dominant, imperial smelting en forte régression) > Zn brut > Résidu oxydé contenant Zn, Ga, Ge (Ag, etc.) retraité à hie T° > Ga/Ge/Zn volatils sont condensés (poudre). Par attaque chimique > solution Zn renvoyée au four Zn > précipité Ga-Ge, attaqué par HCl. GeCl4 volatil est distillé, GaCl3.HCl soluble est électrolysé > Ga brut
		sous-produit de Al (bauxites) (en général, carrière à ciel ouvert)	boehmite gibbsite diaspore (bauxites locales et importées)	extraction, concassage, attaque à chaud des bauxites par NaOH (procédé Bayer) filtrage, refroidissement > précipitation de Al(OH)3, séparée par filtrage > 1/ gel d'alumine hydratée et 2/ solution caustique (200 g Ga/m3) qui peut être : - ou recyclée telle quelle : Ga est perdu, - ou neutralisée : Ga précipité, NaOH perdu - ou électrolysée sur mercure : alliage Ga-Hg brut à retraiter	Précipité redissous dans NaOH, puis électrolysé sur cellule à cathode Hg > métal impur, Redissolution alcaline par NaOH, puis électrolyse > Ga brut (> 99 %) Alliage Ga-Hg brut : redistillé et épuré.
Etats-Unis		Sous-produit des bauxites de l'Arkansas <i>Sous-produit des concentrés de zinc (Tennessee)</i>	bauxite locale + concentrés Zn locaux?		Produits marchands Ga métallique à diverses puretés Chlorure de gallium D'ou sont produits : GaAs et arséniures / phosphures mixtes Ga-In ; supraconducteurs Ga-V et Ni-Ga ; alliages Ga-In-Sn de verrière sous vide ; optique ; alliages avec Mg, Cd ou Ti. Les principaux transformateurs de Ga sont : Etats-Unis, Japon, Chine, Allemagne, Corée, Taiwan (+ Russie?, Kazakhstan?). Pays-Bas, Hong Kong, Philippines : surtout négoce d'intermédiaires et de déchets industriels
Japon	5 2 t en 2003	Le Japon importe des bauxites mais exporte l'alumine : source de Ga ?	bauxite importée + concentrés Zn importés?		
Hongrie	5 6 t en 2003		bauxite locale		
Canada			bauxite importée + concentrés Zn locaux?		
Allemagne		épuration de Ga brut importé	bauxite locale		
France (Pologne)		la capacité a excédé 5 t/an 0 120 t de réserves dans gisements de zinc non encore exploités (district de Silésie-Cracovie)	bauxite importée + concentrés Zn locaux?		
Australie		en sommeil / arrêté?	bauxite locale		
autres		Kazakhstan? Russie?			
total monde, t	40 2003 = 28 t				
RESERVES >	110 000	(> 2700 ans, statique) (450 ans, dynamique à + 10%/an)			Recyclage : dans vieux matériels, insignifiant ; dans déchets industriels de fabrication, > 25 %

Notes : Al aluminium, Ca calcium, Cd cadmium, NaNO3 nitrate de sodium, Na2SO4 sulfate de sodium, Nb niobium, NH3 ammoniac, Sn étain, Zn zinc, Zr zirconium.
(1) En gras, pays producteurs actifs en 2007. En maigre, pays producteurs divers connus au cours des 30 dernières années.

Tableau 7 - Les principaux pays producteurs de gallium brut, données 2001 (source : [2])

Cette évolution rapide de l'organisation du marché traduit le très grand dynamisme de l'industrie du gallium, étroitement liée à celle de l'électronique et de l'informatique moderne.

Le gallium raffiné ou « refined Ga » : Ga 7N (99,99999 %) à 9 N (99,9999999 %)

Les raffineurs achètent du Ga 3-4N pour le raffiner et produire du Ga 7-9N pour les consommateurs finaux de AsGa. En 2007, les plus importants producteurs furent [4] ...

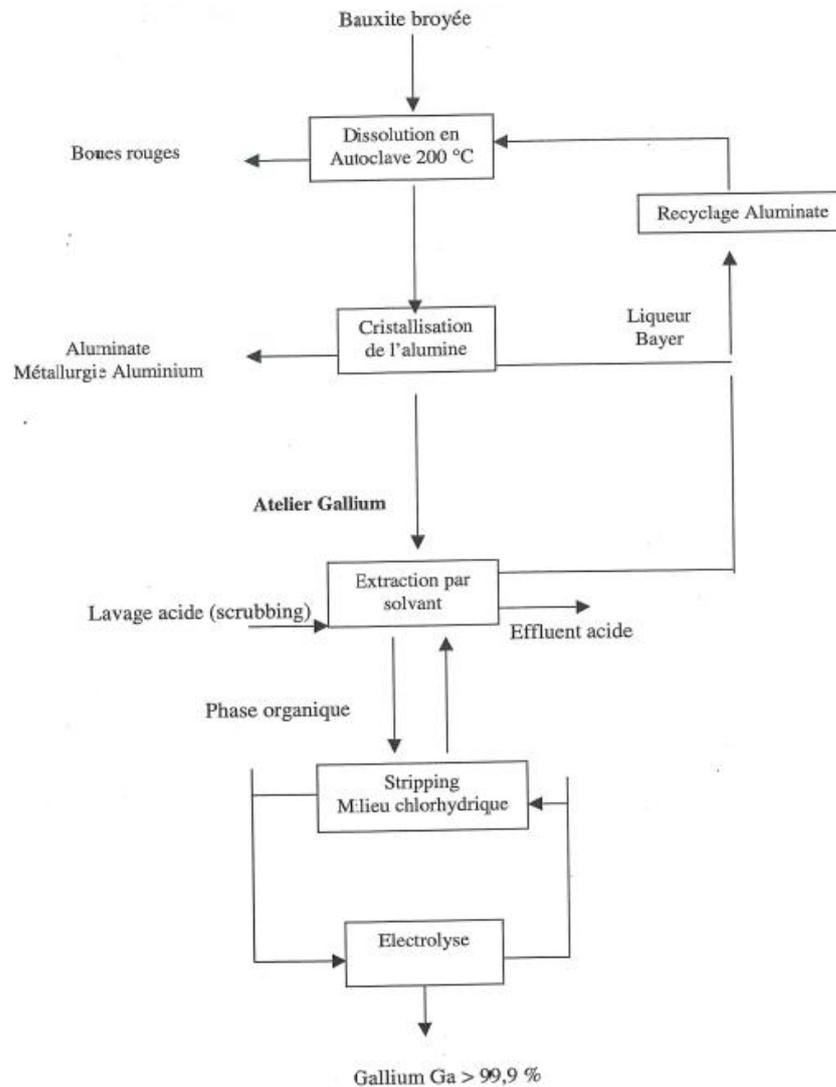


Figure 5 - Filière bauxite : schéma d'extraction du gallium brut des liqueurs d'aluminate du procédé Bayer.

En 2008, les principaux producteurs gallium raffiné (tableau 8) [8] furent la Chine, le Japon et les États-Unis. À noter que la France figurait parmi les leaders mondiaux de la production de gallium raffiné jusqu'à récemment. La vente de GEO Gallium en 2005

et la fermeture de l'usine gallium de Salindres a laissé la France sans capacité de production (voir p. 38 pour une présentation de la filière française du gallium).

CRITICITÉ LIÉES À LA RESSOURCE ET À LA PRODUCTION MINIÈRE

1

Le gallium est un sous-produit abondant dans les bauxites, avec des teneurs moyennes comprises entre 30 et 80 g/t de Ga. Les bauxites du Surinam sont citées pour être parmi les plus riches (80 g/t Ga). La quantité de Ga disponible dans les réserves mondiales de bauxite est estimée à 1,6 Mt métal, soit plus de 20.000 ans de consommation au niveau de 2009. Moins de 1% du gallium contenu dans la bauxite produite chaque année est actuellement récupéré. Il n'y a donc aucun problème de ressources.

CRITICITÉ LIÉE À LA PRODUCTION DE GALLIUM BRUT ET RAFFINÉ

3,5

La production du gallium est bien maîtrisée par plusieurs sociétés occidentales qui disposent de la technologie nécessaire pour développer de nouvelles capacités de production, au fur et à mesure de la croissance de la consommation de gallium.

Les capacités de production de gallium primaire disponibles en 2009 ont été largement sous utilisées. Estimées à 184 tonnes/ an elles n'ont été utilisées qu'à 42 % de leur capacité. Il semble donc y avoir une très bonne élasticité de la relation offre/ demande. L'augmentation rapide de la demande, anticipée d'ici 2030, devrait pouvoir être compensée par l'installation de capacités supplémentaires de production installées au niveau de nouvelles usines de production de l'alumine par le process Bayer.

Il faut cependant noter que la Chine est devenue le premier producteur mondial de gallium, assurant déjà plus de 50 % de la production mondiale, ce qui constitue un facteur de risque géopolitique.

4.3 DU MÉTAL AU PRODUIT FINI : ÉTAPES AVAL DE LA FILIÈRE

La récupération du gallium à partir des liqueurs du procédé Bayer, à partir d'autres sources primaires, ou de déchets, permet d'obtenir du gallium dont la pureté ne dépasse pas le stade 4N (99,99 %). Pour la plupart des applications avancées du

gallium, cette pureté doit atteindre au minimum un degré généralement de 7N (99,99999 %). Cette pureté peut atteindre le degré 9N (99,9999999 %)

Les raffineurs achètent du Gallium 3-4N pour le raffiner et produire du Ga 7-9N, vendu aux producteurs de galettes d'AsGa et de GaN. Si une pureté d'au moins 6N est requise pour la plupart des applications optoélectroniques, les applications électroniques requièrent du gallium de pureté 7 à 9N.

La plupart des impuretés dans le gallium brut résident à sa surface oxydée, ou sous forme dispersée dans le matériau. Par filtration sous vide du gallium mis à l'état liquide par chauffage, on peut le purifier. Plusieurs séquences de rinçage à l'acide chlorhydrique permettent l'élimination des impuretés métalliques pour la production de gallium 4N.

Les degrés de pureté supérieurs peuvent être obtenus par raffinage électrolytique en milieu alcalin. Les puretés 6N et 7N peuvent être obtenues par cristallisation fractionnée de gallium liquide ou par raffinage et électrolyse de trichlorure de gallium.

Le contrôle de la qualité du gallium de haute pureté se fait par analyse au spectromètre de masse.

Les tolérances pour la présence des impuretés est inférieure à 1 ppb autant pour le gallium que pour l'arsenic qui entre dans la fabrication de l'AsGa qui est utilisé dans l'industrie électronique.

La tolérance est < 5 ppb pour Pb, Hg, et Zn.

Pays	Producteur	Localisation	Capacité supposée	Production estimée
Allemagne	Geo gallium	Stade	30 t/an (p)	...
	PPM	Langelsheim	5(s)	5t/an
Chine	Emei Semiconductor Materials	Sichuan	2.5 (p)	2.5t/an
	Great Wall Aluminium Corp	Henan	20 t/an (p)	...
	Shandong Al Corporation	Shandong	7 t/an (p)	...
	Shanghai Sumika	Shanghai	40 t/an (p)	...
Etats-Unis	Eagle Picher	Quapak,OK	20(s)	18t/an
	Recapture Metals	Blanding, UT	20 t/an (s)	...
France	Geo gallium	Salindres	18 t/an (p)	...
Grande-Bretagne	Mining and Chemical Products Ltd	Wellinborough	>5(s)	...
Hongrie	Ajka Alumina Co	Ajka, Gyartelep	5 (s)	...
Japon	Dowa mining	Akita City	100 (p+s)	22t/an
	Nippon rare Metal Inc.	Yokohama	6 t/an (s)	...
	Rasa industries	Miyako/Sanbongi		...
	Sumitomo Chemical	Ehime	40 t/an (s)	...
Kazakhstan	JSC Aluminium of Kazkhstan	Pavlodar	25 t/an (p)	22,6t/an
Russie	Achinsk Alumina Plant	Achinsk	5 t/an (p)	0,5t/an
	Bogositogork Aluminium plant	Boksitogorsk	2 t/an (p)	1,4t/an
	Pikalevo Al Plant, Glinozem	Pikalevo	5 t/an (p)	5t/an
	Uralsky Aluminium Smelter	Kamensk-Uralsky	(p)	0,1t/an
Ukraine	Nikolaev Alumina Plant	Nikolaev	10 t/an (p)	3t/an

Tableau 8 - Principaux producteurs mondiaux de gallium raffiné.

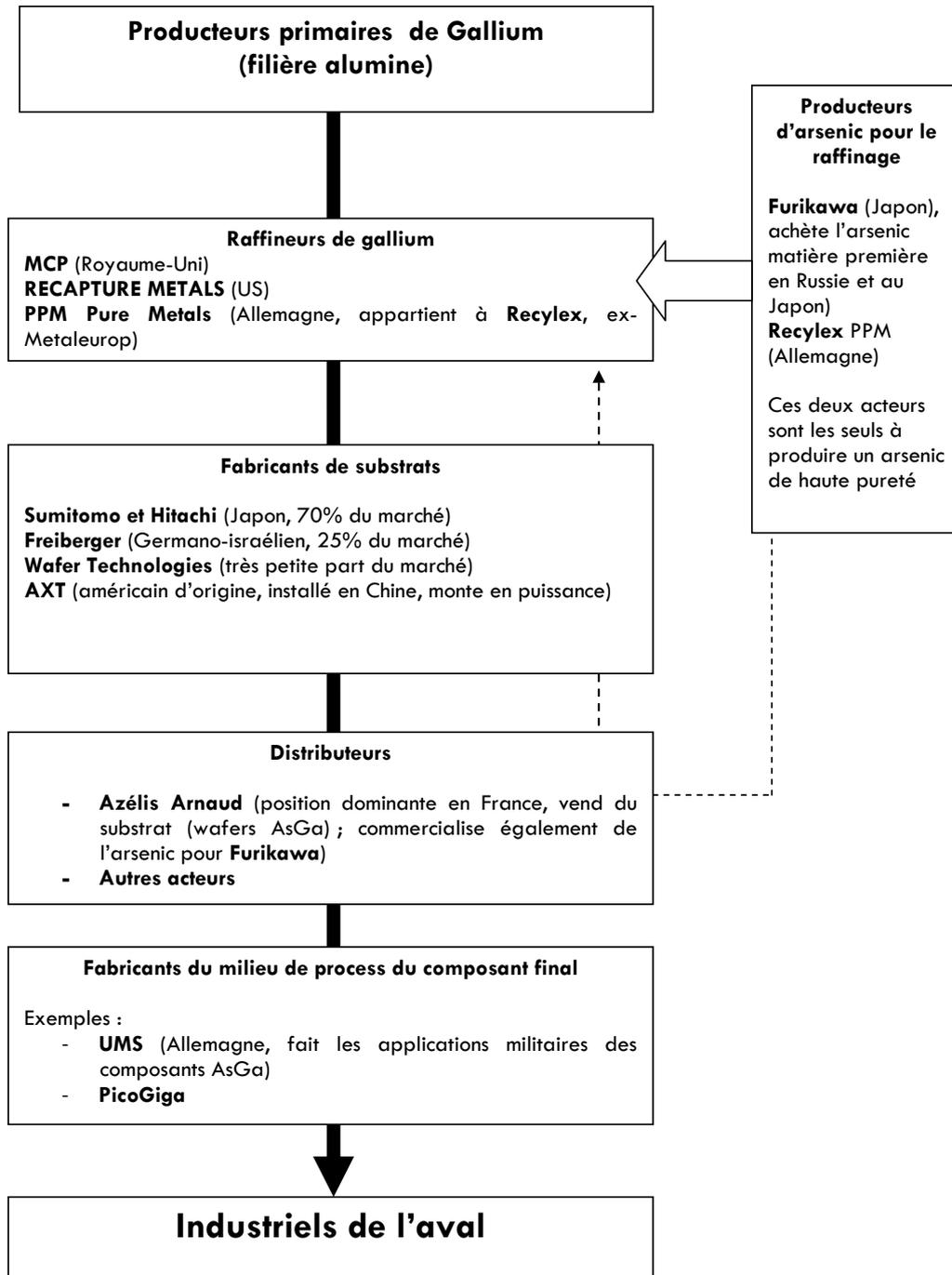


Figure 6 - Principaux acteurs français de la filière du gallium. Relations avec les acteurs internationaux du l'industrie du gallium (Source : Etude CEIS).

4.4 LES ACTEURS FRANÇAIS

Le tableau 9, ci-dessous, indique les principaux acteurs français de la filière industrielle du gallium. Il n'y a pas en France de production de gallium brut, de production de gallium purifié, ni de production d'AsGa ou de GaN.

<p>Fournisseur (non producteur) d'AsGa : Azélis Arnaud. L'essentiel de l'activité d'Azélis Arnaud liée au gallium concerne l'industrie du semi-conducteur.</p> <p>Électronicien : Thales Filiales Thales : Cyro, TR6, TAS, TOSA, TSA, UMS, TRT, TMI</p> <p>Équipementiers fibres optiques : Alcatel-Lucent</p> <p>Chimistes : Rhodia</p> <p>Centres de recherche CEA-LETI - CEA LITEN</p>
--

Tableau 9 – France : utilisateurs industriels du gallium et de ses dérivés.

4.4.1 Principaux acteurs industriels français mettant en œuvre du gallium

Alcatel, utilise le gallium dans la fabrication des lasers semi-conducteurs, des lasers miniaturisés, des circuits intégrés photoniques, et des modulateurs. Dans le domaine de la téléphonie mobile, le gallium est majeur. **Azélis Arnaud**, filiale du groupe européen Azélis qui lui-même résulte de la fusion en 2001 d'Arnaud (France) et de Novochem (Italie), est un revendeur d'AsGa, jouant un rôle important d'intermédiaire sur le marché français.

Le **CEA-LETI**, pour qui les usages du gallium, surtout dans le domaine des composants de circuits électroniques, sont nombreux.

SOITEC et sa filiale PICOGIGA, dont l'histoire est étroitement liée aux travaux CEA-LETI. PICOGIGA est spécialisée dans la production de galettes d'AsGa, et plus récemment de GaN par croissance épitaxiale,

4.4.2 Approvisionnement en gallium de l'industrie française

A partir de 1999, la France a pendant plusieurs années joué un rôle important dans la purification du gallium dans l'usine de d'alumine et d'aluminium de Salindres (Gard), qui a successivement appartenu à Pechiney, puis à Rhodia, qui a vendu l'activité gallium à GEO Gallium, filiale de la société américaine Geo Specialty Chemicals. En 1999, GEO Gallium y a installé un atelier de purification du Gallium. L'usine est aujourd'hui complètement arrêtée.

La société française **Recylex**, née des anciennes activités de métallurgie de MetalEurop et de la fonderie de Noyelles-Godault, a une filiale en Allemagne, PPM Pure Metals, qui produit de l'AsGa à partir du recyclage primaire de scraps de gallium (usine de Langelsheim). **Eramet**, de son côté, ne produit plus de gallium. Lorsque le centre de recherche appartenait à Metaleurop, du gallium était produit dans le cadre d'essais pilotes à Gardanne. Une petite quantité de gallium était produite à partir du minerai de zinc et des usines à zinc d'alors (exemple : Noyelles-Godault).

Les fournisseurs cités sont :

- Azélis Arnaud,
- MCP Group, un producteur de gallium brut et un raffineur belge de métaux rares.

4.4.3 Évaluation de la criticité pour les industries stratégiques

Certains font remarquer que le marché de l'arsenic est particulièrement problématique, mais rarement cité, alors qu'il est aussi critique que le gallium pour la production d'AsGa. L'arsenic « matière première » est avant tout produit en Russie et en Chine, avant d'être purifié au Japon et en Allemagne (voir schéma).

4.4.4 Autres perceptions exprimées par des industriels français

Pour certains, il est inutile de songer à rebâtir une filière gallium au niveau national. Il est indispensable que l'effort se porte au niveau européen, par le renforcement de Freiburger. Si cette société disparaît, « les Européens seront complètement dépendants des Japonais pour leurs fournitures d'AsGa », selon les interlocuteurs rencontrés au siège du groupe.

Il existait en France d'importantes capacités industrielles et de fortes compétences humaines dans la production de germanium et de gallium et également d'indium. La France ayant été, avec Noyelles-Godault, l'un des acteurs majeurs de cette filière. Si rien n'est fait pour inverser la tendance actuelle, ces compétences vont s'éteindre (départs à la retraite, etc.). Très peu de personnes seraient encore compétentes sur ces substances, et les industries n'ont aucune raison économique de maintenir de telles compétences.

4.4.5 Évaluation de la criticité (moyenne des perceptions des industriels rencontrés)

Importance stratégique du gallium

Le gallium est utilisé dans de nombreux secteurs stratégiques de l'industrie française : électronique (puces, wafers), énergie photovoltaïque (CIGS), stockage d'énergie... Les puces AsGa ont des applications très nombreuses, notamment en téléphonie mobile et RFID.

Selon certains industriels le gallium est « incontournable pour au moins 20 à 30 ans ». Il existe ainsi des substituts, mais qui ne seront pas disponibles avant quelques décennies. Les usages futurs du gallium sont appelés à se développer de manière importante, notamment par le biais des technologies nitrure de gallium (GaN). La croissance annuelle actuelle en AsGa est de l'ordre de 15 %.

L'importance stratégique du gallium pour les industries françaises est donc évaluée à fort/très fort.

Notation : 4,5

Risques sur les approvisionnements

Pour les principaux utilisateurs de technologies à base de gallium, les risques sur les approvisionnements en gallium ne semblent pas évidents. Les fournisseurs en AsGa sont certes peu nombreux, mais 25 % de la production mondiale provient d'Europe (Freiberger, Allemagne). Les autres acteurs majeurs (70 % du marché) sont tous japonais, ce qui ne présente pas un risque majeur pour les approvisionnements.

Toutefois, les industriels interrogés s'accordent à estimer que le centre de gravité du marché des approvisionnements en gallium se déplace vers la Chine, ce qui pourrait représenter à terme un risque plus important.

Enfin, le développement prévisible de l'industrie photovoltaïque laisse présager un impact sur la demande en gallium, et par conséquent sur son prix si l'offre ne s'adapte pas.

Les risques sur les approvisionnements en gallium pour les industries françaises sont donc évalués à moyen (actuellement) ou fort (avenir).

Notation : 3,5

4.5 AUTRES ACTEURS EUROPÉENS

Allemagne

Freiberger, représenté commercialement en France par Azélis Arnaud). Freiberger a été racheté en 1989 par les Israéliens (propriétaire M. Federman), qui ont aussi récupéré ensuite, avec l'accord du gouvernement allemand, les savoir-faire et machines de Wacher, qui avait arrêté en 1995 de produire de l'AsGa.

HEK GmbH : filiale du groupe MCP, basée à Lübeck, elle fournit plusieurs métaux rares dont du gallium en provenance d'autres membres du groupe.

PPM Pure Metals GmbH : ancienne filiale de Metaleurop SE, filiale actuelle de Recylex, la société produit depuis 2001 du gallium 4N et des composés de gallium

(oxydes de gallium(III) et chlorures de gallium (III) à partir de déchets issus de la fabrication de monocristaux de AsGa.

INGAL est une usine de production de gallium installée sur le site de l'usine de production d'alumine de la ville de Stade. Elle est, depuis 2006, codétenue à parts égales par le canadien Recapture Metals et le belge MCP Group. Sa capacité de production est de 35 t/an pour une production 2008 de 25 t de Ga brut (pureté 4N).

Grande Bretagne

Mining & Chemical Products Ltd (MCP) : cette société belge produit du Gallium 7N dans l'usine de Welliborough à partir de déchets et de gallium 4N importés de sa production de gallium brut de Stade (Allemagne) ainsi que de gallium venant de Russie, du Kazakhstan, de Chine et de Slovaquie. La capacité de production est de l'ordre de 5t/an. Le groupe possède plusieurs agences de commercialisation situées en Europe (Allemagne, Italie, Espagne) et deux aux Etats-Unis (Connecticut).

Epitaxial Products International : produit des poly-cristaux AsGa. Il fut le premier fournisseur européen de poly-cristaux épitaxiaux (wafers).

Hongrie

Ajika Alumina Co : la société est capable de produire 5t/an de gallium de qualité 4N à 7N à partir de liqueurs Bayer. Le Japon est la principale destination du gallium hongrois.

Norvège

L'usine d'alumine de Bremanger (Norvège) a une capacité de production de 5 t/an de gallium 3N.

Russie et Ukraine

Si 85 % du gallium primaire russe est un sous-produit du traitement de bauxites, 15 % est un sous-produit de l'exploitation de la néphéline et de l'apatite-néphéline de syénites, notamment de la Péninsule de Kola.

JSC Russian Aluminium (Rusal) / Gallium OSC: plus gros producteur d'aluminium russe ; le gallium est récupéré au combinat aluminier d'Achinsk et à la raffinerie ukrainienne de Nikolayev. La production 2008 est estimée entre 10 et 13 t. La raffinerie de Nikolayev traite des minerais provenant du Brésil, de Guinée et de Jamaïque

Bogsitogorsky Alumina plant : le gallium produit en 2001 (1,4t/an) est dérivé de l'exploitation des bauxites non métallurgiques des mines de Yuzhuralboksitruda et de Sevuralboksitruda.

Slovaquie

Une production de moins de 10 t/an de gallium proviendrait de la raffinerie d'alumine de Ziar.

4.5.1 Les principaux acteurs dans le reste du monde

Chine

En 2008, la capacité de production chinoise était estimée à 125 t/an, pour une production réelle de 90 t, soit 81% de la production mondiale calculée par l'USGS (voir fig. 3) et selon une déclaration publique de Beijing Jiya Semiconductor Material Co., Ltd, l'un des principaux producteurs chinois de gallium [9]. Il est impossible de vérifier ces chiffres, qui paraissent incohérents avec les autres chiffres cités dans ce rapport, ce qui souligne la très grande difficulté d'accéder à des informations fiables et vérifiables relatives aux métaux rares. Si les chiffres annoncés sont vrais, cela pourrait traduire le développement de surcapacités et des risques de dumping chinois sur le marché du gallium.

China Aluminium Corp. (Chalco) : plusieurs des 21 entreprises que contrôle ce groupement sont des producteurs de gallium. Parmi ces dernières on retrouve Great Wall Aluminium Corp. Shandong Aluminium Corp. Pingguo Aluminium Co. et la fonderie d'aluminium de Guizhou.

Beijing Jiya Semiconductor Material Co., Ltd, est l'un des plus grands producteurs de gallium en Chine.

Golden Harvest Ltd. a formé une co-entreprise avec MCP Group (Belgique), appelée **MCP Crystal** pour la production de gallium 4N (3 usines d'une capacité totale de 70 à 80 t/an) et une usine pour la production de gallium raffiné 6N et 7N.

Great Wall Aluminium Corp : en 2001, l'entreprise était un des fournisseurs de Sumitomo Chemicals (Japon) dont il avait acquis une licence technologique. En 2002, Tradium de Francfort signa un contrat d'approvisionnement à long terme avec l'entreprise pour la fourniture de gallium 4N et 7N.

Shandong Aluminium Corp : l'entreprise a une capacité de produire 8t/an de gallium 4N à 6N.

EMEI Semiconductor Materials : un producteur de gallium raffiné localisé à Emeishan, Sichuan. Capacité de 2,5t /an de métal de haute pureté (5N-7N).

Shanghai Sumika High Purity Metal Ltd. : possède une capacité de production de 40t/an de gallium de haute pureté ; lequel est vendu directement à Sumitomo (Ehime, Japon) pour raffinage plus élaboré.

Yunnan Luoping Zinc & Power Co.Ltd. : possède une capacité de production de gallium de 4 t/an, localisée dans la région de Luoping. D'autres capacités de

production existent à la mine de plomb-zinc de Yinshan, à l'usine chimique de Tanjin City n° 3 (metal, oxydes et chlorures), à l'usine de Chonquin Donfang (10 kg/an).

Inde

Avec le développement de raffinerie d'alumine, il existe une capacité de production d'environ 2,5 t/an répartie chez plusieurs producteurs (Hindalco, Nalco).

Japon

Plus généralement, sur le marché du gallium, ce sont les sociétés japonaises qui semblent le mieux organisées, car elles ont mis en place des filières intégrées.

Pour produire de l'AsGa, elles se sont étroitement associées à Furikawa, géant également japonais de la production d'arsenic (indispensable pour l'AsGa). Furikawa produit des poly-cristaux de AsGa et de GaP dans son usine de Iwaki, à partir de gallium importé et du recyclage de semi-conducteurs à AsGa.

Le Japon est le plus important consommateur de gallium mondial. Sur les 107 t consommées en 2002, 8 t provenaient d'une production primaire locale, 44 t provenant d'importations (tableau 10), et 55 t de recyclage de déchets.

Provenance	Pureté	2001
USA	4N	21 512
Kazakhstan	4N	11 104
Chine	4N	10 910
France	4-7N	9 661
Russie	4N	3 036
Hongrie	4N	2 800
Allemagne	4-7N	2 680
Ukraine	2-3N	1 219
Slovaquie	4N	171
Autres	4N	3 895
Total (tonnes) :		66 988

Tableau 10 - Provenance du gallium importé par le Japon en 2001 (tonnes).

Dowa Mining Co est la seule entreprise japonaise possédant une capacité de production primaire de gallium (8t/an soit 10% de la production mondiale). Il existe 6 entreprises principales qui fabriquent du gallium raffiné à partir de gallium brut et de scrapes : Dowa mining, Nichia Kagaku Kogyo, Rasa industries, Sumitomo Chemical, Sumitomo Metal mining et Yamanaka-Hutech. Ses capacités de production actuelles pourraient être supérieures à 170 t de gallium de haute pureté 6N (100 t en 2002). Les ressources primaires de l'usine d'Akita proviennent principalement de l'industrie de raffinage du zinc. L'industrie de raffinage de l'alumine devrait maintenant contribuer à cette production.

Furakawa Co. Ltd : Mimasu Semiconductor Industry Co : produit essentiellement à partir de produits recyclés.

Nippon rare Metal Inc. : recycle tous les produits composés de Ga. L'entreprise a une capacité de production de 500 kg/an de gallium métal 4N, 6N et 500 kg/an d'oxyde de gallium.

Rasa industries : recycle des déchets de poly-cristaux provenant dans ses usines de Miyako et de Sanbongi.

Sumitomo Chemical : possède une capacité de production de 60 t/an de gallium 6N à 7N. A également autorisé Great Wall Corp. (Chine) à utiliser son procédé industriel.

Kazakhstan

La société **ENRC** est une source importante de gallium. Sa production est stable depuis plusieurs années, de l'ordre de 18 à 20 t par an, produites par la raffinerie d'alumine de Pavlodar. La gamme de pureté des produits s'étend entre 3N et 5N, mais des capacités de production de gallium 7N sont rapportées.

USA

Les dernières statistiques sont celles publiées par l'USGS pour 2007 [11]. Les Etats-Unis n'ont aucune production de gallium brut. Ils importent environ 30 t de gallium brut par an. En 2001, avec les activités de Metalleurop, la France était le premier fournisseur de gallium brut des Etats-Unis.

Recapture Metals est le seul producteur américain de gallium métal, important acteur du recyclage primaire de déchets de production de l'AsGa. La société prétend à une capacité de production de 40 t par an de gallium de haute pureté. Elle détient également 50 % de l'usine de gallium de Stade, en Allemagne (voir ci-dessus).

De nombreuses entreprises sont engagées dans la production et/ou le développement d'applications à base de gallium :

- AsGa (Anadigics Inc., RF Micro Devices Inc., AXT Inc., Skyworks Solutions Inc., TriQuint Semiconductor Inc.) ;
- GaN (Hitachi Cable Ltd., Caracal Inc., Kyma Technologies Inc., Nitronex Corp., Pennsylvania State University's Electro-Optics Center, RF Micro Devices Inc., Sandia National Laboratories, Sony Corp., Toshiba Corp.) ;
- Applications photovoltaïques (EMCORE Corp., SolFocus Inc., WIN Semiconductors Corp.).

5 Analyse de la vulnérabilité des filières françaises et européennes

La vulnérabilité des filières françaises et européennes utilisatrices de gallium paraît moyenne. Le marché international du gallium (voir cas de la Chine) est assez opaque et il est très difficile de l'analyser en l'absence de données quantifiées fiables sur les capacités de production, les productions réelles et le commerce international du gallium. Ce problème d'opacité et de manque de statistique ne diffère pas des autres petits métaux.

S'il n'existe aucun problème lié à la ressource, il convient de noter que la Chine produirait déjà de l'ordre de 50 % à 80 % de la production mondiale de Ga. Ce développement d'un oligopole, avec la domination d'un seul pays producteur qui contrôlerait à terme la métallurgie et le raffinage du gallium est un facteur de risque vu l'énorme importance du gallium pour de nombreuses industries aval dans des domaines aussi vitaux pour l'avenir économique des pays occidentaux que l'énergie, l'informatique, les télécommunications ou la défense.

5.1 QUE PEUVENT FAIRE LES PAYS OCCIDENTAUX ?

Plusieurs choix stratégiques s'offrent aux pays occidentaux :

- faire ce qu'attend la Chine, c'est à dire *délocaliser leurs industries de pointe* pour produire en Chine, et fournir ainsi à la Chine leurs technologies dans de nombreux domaines que les pays occidentaux considèrent comme particulièrement porteurs de leur croissance future,
- *favoriser le développement de nouvelles capacités de production de gallium hors de Chine*. La Chine pourrait chercher à contrer cette stratégie en pratiquant un dumping sur le prix du gallium et de ses dérivés, ne rendent pas attractifs les investissements dans le développement de filières occidentales de production de gallium. Il ne faut pas oublier que la Chine dispose de plus de 3 000 milliards de dollars de réserves de change mobilisables au service de stratégies nationales, alors que les états occidentaux ont essentiellement à gérer des problèmes de déficit budgétaire et de dettes publiques !

La France dispose de plusieurs pôles de compétences techniques dans le domaine du gallium, aussi bien dans la métallurgie que dans le raffinage et la production d'AsGa et de GaN. Elle pourrait soutenir les capacités de raffinage existant en Europe à défaut de pouvoir protéger celles qui n'existent plus sur le territoire national.

6 Stratégies des autres pays

- **Chine** : Il n'y a pas d'acte politique déclaré concernant cette substance.
- **Corée du Sud** : existence de stocks stratégique de métaux, mais aucune confirmation de stockage pour le gallium.
- **Japon**: le JOGMEC gère un stock stratégique de petits métaux. Cependant le gallium ne figure pas sur la liste des produits stockés
- **USA** : en 2009, il n'y avait pas de stocks stratégiques de gallium, mais il existe de vifs débats à l'échelle nationale en vue de la création de tels stocks.
- **Europe** : il n'y a pas de stocks stratégiques de ressources minérales en Europe et ce n'est que depuis peu (Allemagne : 2007) que des pays européens ont commencé à se réintéresser aux problématiques liées à l'économie des matières premières minérales et à les considérer comme étant d'importance stratégique. La Commission Européenne est en train de préparer sa proposition de plan de mise en œuvre de l'Initiative Matières Premières [COM(2008) 699], qu'elle doit présenter au Conseil en novembre 2010. Un groupe de travail réunissant des représentants des Etats Membres, de l'industrie et des experts des matières premières minérales provenant notamment de services géologiques, dont le BRGM, est actuellement au travail pour développer des propositions qui seront disponibles en avril ou mai prochains.

7 Conclusions : préconisations et leviers pour l'action

7.1 SYNTHÈSE DES CRITICITÉS ET ACTIONS POSSIBLES

Le tableau 10 résume l'ensemble des criticités notées dans ce rapport, affectant les différents maillons de la filière d'approvisionnement de l'économie française en gallium.

Vu le caractère éminemment stratégique du gallium, essentiel à la fois pour le développement de nos industries les plus innovantes et pour la Défense nationale et européenne, un plan d'action français est absolument nécessaire. Ce plan d'actions, dont des éléments sont esquissés ci-dessous, doit être élaboré par les autorités publiques françaises, au niveau interministériel avec le concours des industries minières et métallurgiques françaises, d'industriels « aval » et de leurs instances représentatives, des organismes publics et des centres de recherche compétents (BRGM, IFREMER, Ecole des Mines de Paris, ENSG Nancy...)

7.2 LE PROBLÈME STATISTIQUE

Pour mesurer la dépendance d'un pays pour tel ou tel « métal stratégique » importé, la seule source de données provient des Douanes. Tout expert de l'Intelligence économique utilise ces données.

Toute matière marchande est munie d'un code relevant du Système Harmonisé (SH), appliqué dans le monde entier. *Exemple : le ferriobium porte le n° SH 72 02 93.* Cet outil est globalement bon et précis.

- Développer une veille économique active sur le gallium, vu les enjeux économiques liés à cette matière première, notamment en actualisant ce panorama annuellement.
- Maintenir en France et en Europe les compétences nécessaires à la production de gallium et de ses dérivés AsGa et GaN,
- Maintenir des outils de production de gallium brut et raffiné, donc une industrie de l'alumine (Stade en Allemagne).

RISQUES PESANT SUR LES APPROVISIONNEMENTS EN GALLIUM					IMPACTS ECONOMIQUES EN CAS DE TENSIONS SUR LES APPROVIS.
Quantités et concentration géographique des ressources et réserves	Concentration des exploitations minières	Restrictions au libre commerce de la matière première	Existence de problèmes environnementaux spécifiques à la filière	Concentration de la métallurgie	Criticité économique de la filière
1	1	1	1	4	4,5
Les sources géologiques de gallium sont nombreuses et géographiquement bien réparties, la ressource abondante	Les exploitations de bauxite, première source de gallium (95% de la production mondiale) sont géographiquement diversifiées	Une politique de restriction et de quotas n'aurait pas beaucoup d'effet car les sources d'importations sont nombreuses. Scénario improbable	Pas de problèmes spécifiques identifiés	Concentration importante de la production de gallium brut et raffiné en Chine. Risque de développement de monopole. Il reste des capacités européennes.	Le gallium est essentiel au développement de nombreux secteurs de l'économie porteurs de croissance (informatique, télécommunications, technologies « vertes » : énergie solaire) et dans les industries de défense

Tableau 11 - Criticités liées au gallium.

8 Bibliographie

- [1] **USGS** (2010) - Mineral Commodity Summaries 2010 - United States Geological Survey - Reston., Virginia – USA, <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2010/mcs2010.pdf>)
- [2] **Roskill** (2002) - The economics of gallium. 7th edition, 2002
- [3] **Microwave journal** (2009) - TriQuint and Win Tighten Grip on AsGa Foundry Market - [http://www.mwjjournal.com/article.asp?HH_ID=AR_7829]
- [4] **Angerer G, Erdmann L., Marscheider-Weidemann F., Scharp M., Lüllmann A., Handke V., Marwede M.** (2009) - Rohstoffe für Zukunftstechnologien - Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage - Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart (Germany)
- [5] **Wikipédia**, édition anglaise : http://en.wikipedia.org/wiki/Abundance_of_elements_in_Earth%27s_crust
- [6] **Mikolajczak C.** (2009) - Availability of indium and gallium - Indium Corporation – Utica (USA) - [<http://www.indium.com/techlibrary/whitepapers/availability-of-indium-and-gallium>]
- [7] **Riley G., Peters M.** (2008) - How to succeed as a AsGa foundry – Microwave engineering Europe – European Business Press – Brussels, Belgium
- [8] Vulcan T. - Gallium: A Slippery Metal – Hardassetsinvestor.com – Site d'informations en ligne - Information datée du 30 janvier 2009
- [9] **Metal Pages** (2009) - Gallium is on the way home Beijing Jiya – Information du 08/09/2009 - Service d'information en ligne [<http://www.metal-pages.com/news/story/41890/>]
- [10] **Metal Pages** (2009) - MCP in gallium JV with Golden Harvest Ltd – Information du 12/08/2009 - Service d'information en ligne [<http://www.metal-pages.com/news/story/41393/>]
- [11] **Jaskula B.W.** (2008) - 2007 Minerals Yearbook: Gallium - United States Geological Survey - Reston., Virginia – USA – [<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/gallium/myb1-2007-galli.pdf>]
- [12] **Metal Pages** (2010) - China to set up stockpiling system for minor metals in 2010 – Information du 02/02/2010 - Service d'information en ligne [<http://www.metal-pages.com/news/story/44774/>]

[13] Sufiy Blogspot - REE : Chinese rare earth expert calls for immediate stockpiling – Service d'information en ligne - [<http://sufiy.blogspot.com/2009/11/ree-chinese-rare-earth-expert-calls-for.html>]

[14] RareMetal Blog - Japan Plans Law to Boost Mine Investment to Compete With China - Service d'information en ligne – [<http://treo.typepad.com/raremetalblog/>], 20/02/2010



**Centre scientifique et technique
Service Ressources Minérales**

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34