

L'indium (In) – éléments de criticité

		Sources
1 - USAGES ET CONSOMMATION		
1.1 - Principaux usages dans le Monde	<p>Usages de l'indium primaire en 2012:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ecrans plats (ITO pour LCD, plasma, OLED) 56% - Soudures 10% - Photovoltaïque en couches minces (CIGS, et ITO pour CdTe et Si-amorphe) 8% - Matériaux d'interface thermique 6% - Piles et batteries 5% - Alliages et composés 4% - Semi-conducteurs et LED 3% - Autres 8% <p>L'indium secondaire (recyclé) est principalement récupéré des chutes de fabrication ("new scrap") lors du processus de dépôt d'ITO (oxyde mixte d'indium-étain) sur les écrans plats et est réutilisé quasiment immédiatement pour la même application.</p>	<i>Indium Corporation (2013)</i>
1.2 - Principaux usages en Europe	Proportions spécifiques non disponibles (cf. répartition mondiale).	
1.3 - Principales applications dans les domaines de haute technologie	Conducteurs transparents pour les écrans plats ; semi-conducteurs (LED, diodes laser, photodétecteurs) ; alliages à bas points de fusion.	<i>Indium Corporation BRGM, 2012</i>
1.4 - Applications dans le domaine de l'énergie	Cellules photovoltaïques CIGS ; substrats dans les cellules photovoltaïques CdTe et silicium amorphe ; en remplacement du mercure dans les piles alcalines et zinc-carbone ; alliages Ag-In-Cd dans les barres de contrôle nucléaires.	<i>Indium Corporation BRGM, 2012</i>
1.5 - Consommation (2015)	1440 t In primaire et secondaire en 2015	<i>Indium Corporation, 2016</i>
1.6 - Perspectives d'évolution de la consommation mondiale	<p>Consommation d'indium portée par la demande en ITO pour les écrans plats. La technologie IGZO (oxyde de zinc gallium indium) devrait fournir une haute résolution et une finesse tactile tout en réduisant le coût énergétique. L'utilisation de l'indium dans le domaine de l'énergie devrait augmenter légèrement du fait de la croissance de la production photovoltaïque (75 GWc en 2016 contre 47 GWc en 2014) malgré l'utilisation proportionnellement moindre des technologies en couches minces par rapport à celles au silicium cristallin (6% en 2016 contre 17% en 2009).</p>	<i>Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, 2016 BRGM</i>
2 - PRODUCTION MONDIALE ET RESSOURCES		
2.1 - La substance est-elle un sous-produit	Oui, toujours	
2.2 - Métaux principaux dont la substance est un sous-produit ou co-produit	Zinc pour 95% ; cuivre, plomb et étain pour moins de 5%	
2.3 - Production minière mondiale (2016)	Il n'y a pas de mines d'indium, la production primaire est métallurgique, à partir de concentrés de zinc (plus rarement de cuivre, plomb ou étain). La teneur en indium varie selon les minerais et peut atteindre 1900 ppm. A titre d'information, la production minière de zinc en 2016 a été d'environ 12,8 Mt. Seules 35% des raffineries de zinc sont équipées pour récupérer l'indium.	<i>ILZSG, 2017 Roskill, 2010</i>
2.4 - Principaux pays producteurs miniers en 2016	A titre indicatif (cf. 2.3), les principaux pays producteurs de zinc en 2016 sont : Chine 40%, Pérou 10%, Australie 7%, Etats-Unis 6%, Mexique 6%, Inde 5%. <i>(Répartition donnée à titre indicatif et ne saurait refléter la production d'indium. Par exemple, les Etats-Unis n'ont pas produit d'indium en 2016)</i>	<i>ILZSG, 2017</i>
2.5 - Concentration géographique de la production minière	A titre indicatif (cf. 2.3 et 2.4), la production minière de zinc est modérément concentrée (IHH de 0,24 en 2016)	
2.6 – Variation sur 10 ans de la concentration de la production métallurgique mondiale	Cf. 2.7 à 2.10 <i>(étant donné l'absence de production minière d'indium stricto-sensu, l'analyse est ici faite sur la production métallurgique primaire)</i> En 10 ans (2005-2015), la Chine est passée de 61 à 46% tandis que la Corée du Sud a vu sa production augmenter de 18%. La concentration de la production métallurgique mondiale a peu évolué (IHH de 0,40 en 2005).	<i>WMD</i>
2.7 - Production métallurgique mondiale primaire	Estimée à 759 t en 2015	<i>USGS, 2017</i>
2.8 - Production métallurgique mondiale secondaire	Estimée à 610 t en 2013, mais il s'agit principalement de chutes de fabrication réutilisées en boucle courte (cf. 4.1)	<i>NREL, 2015 Indium Corporation, 2012</i>
2.9 - Principaux pays producteurs métallurgiques	<ul style="list-style-type: none"> - Production métallurgique primaire en 2015: Chine 46%, Corée du Sud 26%, Japon 9%, Canada 9%, France 5% - Production métallurgique secondaire en 2013: Japon 59%, Chine 25%, Belgique 8%, Corée du Sud 7% 	<i>USGS, 2017 NREL, 2015</i>
2.10 - Concentration géographique de la production métallurgique	<ul style="list-style-type: none"> - Production métallurgique primaire : concentration moyenne (IHH de 0,30 en 2015) - Production métallurgique secondaire : concentration modérément élevée (IHH de 0,43 en 2013) 	
2.11 - TCAM lissé sur 5 ans de la production métallurgique sur 30 ans (1985-2015)	+ 10,9% /an (In métal)	<i>USGS, 2017</i>
2.12 - TCAM lissé sur 2 ans de la production métallurgique sur 10 ans (2005-2015)	+ 5,1% /an (In métal)	<i>USGS, 2017</i>

Fiche de synthèse sur la criticité des métaux - L'indium - Août 2017

		Sources
2.13 - Réserves connues en 2017	L'indium étant toujours un sous-produit minoritaire, il n'y a pas d'évaluation normalisée des réserves ni des ressources. Werner, Mudd & Jowitt (2017) ont publié en 2017 une estimation des ressources sur la base des gisements de zinc, cuivre et étain dans lesquels des teneurs en indium sont connues et documentées ou supposées. Ils aboutissent à une estimation totale des ressources supposées de 380 kt d'indium contenu, dont 76 kt dans des gisements avec teneurs en indium documentées, 280 kt dans des gisements à teneurs en indium estimées, et 24 kt estimées dans d'anciens déchets miniers d'exploitations qui n'avaient pas valorisé l'indium. Ces ressources supposées de 380 kt correspondent à 500 ans de production au niveau de 2015, ou 65 ans avec une poursuite du taux de croissance à 5,1%/an.	Ore Geology Reviews, 2017 [1] NREL, 2015
2.14 - Evolution des réserves	Non disponible	
2.15 - Principaux pays détenteurs de réserves en 2017	Ressources présumées en indium : Australie 13% ; Canada 12% ; Russie 11% ; Chine 7% ; Pérou 7%	Ore Geology Reviews, 2017 [1]
2.16 - Concentration géographique des réserves minières	Concentration faible des ressources (IHH de 0,06)	
2.17 - Perspectives d'évolution de la production	La production d'indium devrait pouvoir répondre à une demande croissante à court-moyen terme. Sachant que seuls 35% des raffineries de zinc sont équipées d'une filière de récupération de l'indium, il serait en théorie possible d'en récupérer bien davantage, entre autres dans les déchets des raffineries de zinc non encore équipées.	
3 - SUBSTITUABILITE		
3.1 - Potentiel de substitution dans les principaux usages	- Ecrans plats : autres conducteurs transparents (oxydes de zinc ou d'étain plus ou moins dopés, moins chers mais moins performants), nano-tubes de carbone et nano-argent (plus chers) et conducteurs transparents organiques comme le PEDOT - Soudures : alliages bismuth-étain ou alliages à base de plomb (mais la tendance est davantage inverse, i.e de substituer le plomb par d'autres métaux pour des raisons de réglementations environnementales) -Cellules solaires CIGS : cellules CdTe ou cellules silicium amorphe.	BRGM USGS, 2016
4 - RECYCLAGE		
4.1 - Taux de recyclage	L'essentiel du recyclage est réalisé en boucle courte des chutes de fabrication ("new scraps") notamment au cours du procédé de pulvérisation de couches minces ITO. Durant ce processus, seulement 30% d'indium est déposé avec succès sur la cible. Il est donc théoriquement possible de recycler jusqu'à 70% d'indium, mais des pertes sont inévitables. En revanche, il n'y a quasiment aucun recyclage des déchets en fin de vie ("old scrap") (teneurs en indium dans les DEEE et les panneaux photovoltaïques très faibles et récupération non économique).	UNEP, 2011 Indium Corporation
5 - PRIX		
5.1 - Etablissement des prix	Pas de cotation publique sur les marchés boursiers. Prix établis par négociations directes de contrats entre producteurs primaires et transformateurs ou utilisateurs. Fourchettes de prix spot publiées quotidiennement par Argus Media	
5.2 - Prix moyen en 2017 (janvier à juillet 2017)	194 US\$/kg (In métal 99,99%)	Argus Media
5.3 - Ecart-type relatif des prix sur 1 an (août 2016 - juillet 2017)	+/-3,5 % (In métal 99,99%)	Argus Media
5.4 - Evolution du prix sur 1 an (moyenne août. 2016-juil.2017/moyenne août 2015-juil.2016)	- 20 % (In métal 99,99%)	Argus Media
5.5 - Evolution du prix depuis 2002-2003 (moyenne août.2016-juil.2017 / moyenne sur 2 ans 2002-2003)	+51 % (In métal 99,99%)	Metal Pages/Argus Media
5.6 - Ordre de grandeur de la valeur de marché de la production métallurgique annuelle	147 M US\$ (759 t (production primaire en 2015) x 194 000 \$/t (prix moyen janv.-juil. 2017))	
6 - RESTRICTIONS AU COMMERCE INTERNATIONAL, REGLEMENTATIONS		
6.1 - Restrictions au commerce international	Les taxes chinoises à l'exportation d'indium et de ses composés sont passées de 5 à 2% en 2014 puis ont été annulées en janvier 2017. De même, les quotas d'exportations (237 t en moyenne) ont été annulés en janvier 2017. La Chine devrait mettre en place des licences d'exportation à l'avenir. Certains produits contenant de l'indium sont taxés à 5,5% à l'importation par l'Union Européenne.	
6.2 - Réglementation REACH	Deux composés sont concernés par le règlement REACH : indium cake et triméthylindium. Six autres composés d'indium pourraient être enregistrés en 2018. L'usage du phosphore d'indium est également restreint	ECHA, 2017

		Sources
7 - PRODUCTION FRANCAISE ET RESSOURCES		
7.1 - Production minière française 2016	0	
7.2 - Production minière française historique	0	BRGM
7.3 - Part dans la production minière mondiale 2016	0%	
7.4 - Ressources évaluées en France métropolitaine	Quelques gisements connus pour d'autres métaux contiennent des concentrations répertoriées en indium : - Charrier (03) : ancien gîte à Cu-Sn ; - La Telhaie (56) : filon Pb-Zn ; - Vaulry (87) : Sn-W-Cu ; - La Villeder (56) : Sn Leurs ressources en indium n'ont pas été évaluées, mais elles sont probablement négligeables.	BRGM
7.5 - Production métallurgique française	9,7 t sur le premier semestre 2017, 0 t en 2016, 41 t en 2015 (cf. 8.2)	Nyrstar (www.nyrstar.com)
8 - LA FILIERE INDUSTRIELLE EN FRANCE		
8.1 - Entreprises minières françaises	0	
8.2 - Entreprises métallurgiques en France	Production actuelle : - Nyrstar (www.nyrstar.com) a mis en place une filière de raffinage de l'indium sur son site à Auby (59) en 2012. La production d'indium purifié à 99,998% avait cessé en novembre 2015 suite à un incendie sur la chaîne de récupération de l'indium. Il n'y a pas eu de production en 2016. La production a recommencé au cours du premier trimestre 2017. La capacité annuelle de production d'indium est de 72 t. Production passée : - Meraleurop-Nord , filiale du groupe Metaleurop SA, récupérait de l'indium dans son complexe métallurgique de Noyelles-Godault (59) qui a fermé en 2003. Elle a produit de 10 à 65 t d'indium par an entre 1994 et 2003.	Nyrstar (www.nyrstar.com) BRGM
8.3 - Entreprises de produits intermédiaires en France	- InPACT (www.inpactsemicon.com) fabrique entre autres des substrats de phosphore d'indium (InP) pouvant être dopés (Fe, Zn, Sn et S) pour les industries de la communication et de l'optique (LED, lasers, amplificateurs etc.). Siège à Moûtiers (73). - Soitec (www.soitec.com) produit notamment des semi-conducteurs à base de nitrure de gallium-indium (InGaN), de phosphore d'indium (InP) sur arséniure de gallium ou germanium (InPGeAs ou InPGeAs) servant dans les domaines de l'énergie solaire, la photonique, la radiofréquence etc. Basé à Bernin (38). - NEXCIS , fondé en 2008 comme spin-off de l'Institut de Recherche et Développement sur l'Energie Photovoltaïque (IRDEP, www.irdep.cnrs-bellevue.fr), avait cherché en 2010 à développer un pilote de production de modules photovoltaïques CIGS innovants à Rousset (13), mais a désormais fermé.	Sites des sociétés
8.4 - Industries françaises aval dépendantes de cette matière première	Industries liées au domaines de l'électronique et de l'énergie. Plus en aval, toutes activités économiques utilisant des écrans plats, même si ceux-ci ne sont pas fabriqués en France, et en particulier désormais l'essentiel du tertiaire.	
9 - COMMERCE EXTERIEUR ET CONSOMMATION FRANCAISE		
9.1 - Commerce extérieur français	Excédent commercial de 12 159 k€ en valeur en 2015 et de 26 t d'indium sous forme brute ou en poudres. Les très faibles chiffres 2016 (+ 7 k€ et volume équilibré) soulignent l'importance de Nyrstar sur le marché de l'indium en France, puisque ces chiffres sont liés à l'arrêt en 2016 de l'usine d'Auby (cf. 8.2).	Le Kiosque de Bercy
9.2 - Consommation française apparente en 2015 (production + imports - exports)	Production + imports - exports de 15 t brutes en 2015, mais chiffre peu significatif puisque basé sur des nomenclatures douanières regroupant des produits et composés dont les teneurs en In diffèrent fortement ou ne sont pas renseignées.	
9.3 - Recyclage en France	L'essentiel de la production secondaire d'indium s'effectuant lors de la fabrication des conducteurs transparents pour les écrans plats, il n'y a pas de filière de recyclage de l'indium. Cependant, l'accumulation des écrans plats usagés chaque année pourrait permettre la baisse des coûts du recyclage et donner lieu à la mise en place d'une filière de récupération de l'indium.	
10 - DIVERS		
10.1 - Panorama BRGM disponible ?	Non	
10.2 - Remarques spécifiques		

Acronymes : ECHA : European Chemicals Agency ; IHH : Indice d'Herfindahl-Hirschmann ; ILZSG : International Lead and Zinc Study Group ; NREL : National Renewable Energy Laboratory ; REACH : Registration, Evaluation and Authorization of Chemical ; TCAM : Taux de Croissance Annuel Moyen ; UNEP : Programme des Nations Unies pour l'Environnement ; USGS : United States Geological Survey ; WMD : World Mining Data (Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, Autriche)

Source [1] : Werner, T.T., et al. (2017, in press) - The world's by product and critical metal resources part III: A global assessment of indium. *Ore Geology Reviews*

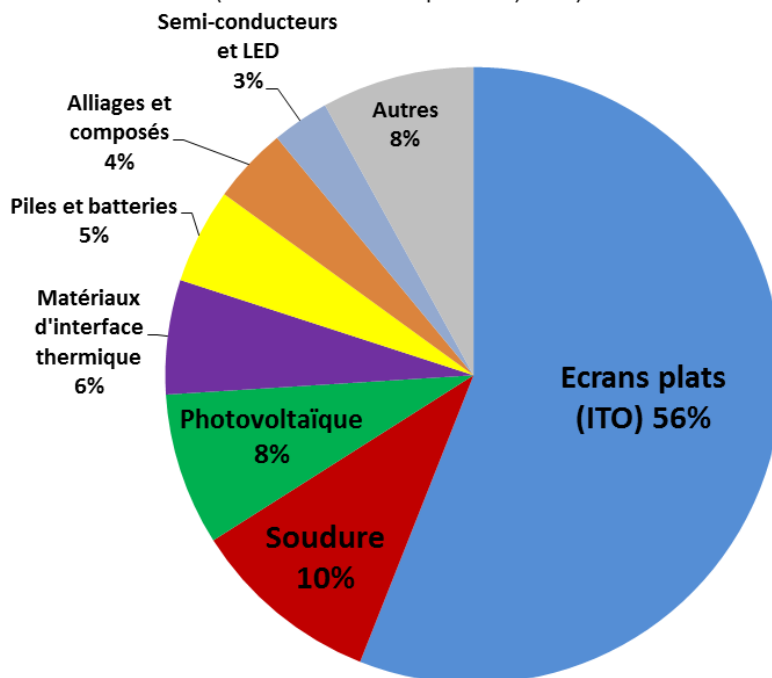
Note : Détails et explications sur l'obtention et la lecture des champs à consulter sur le rapport BRGM/RP-64269-FR

L'indium en graphiques

USAGES

Répartition des usages de l'indium primaire en 2012

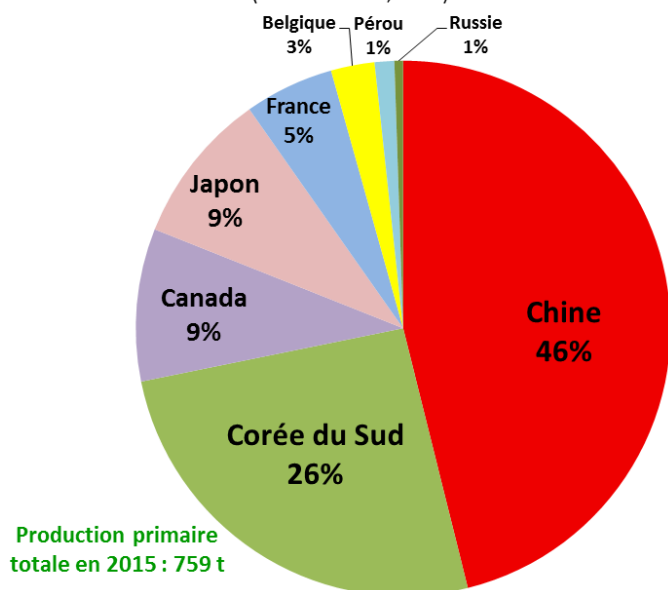
(source : Indium Corporation, 2013)



PRODUCTION ET RESERVES MONDIALES

Répartition de la production métallurgique mondiale primaire d'indium en 2015

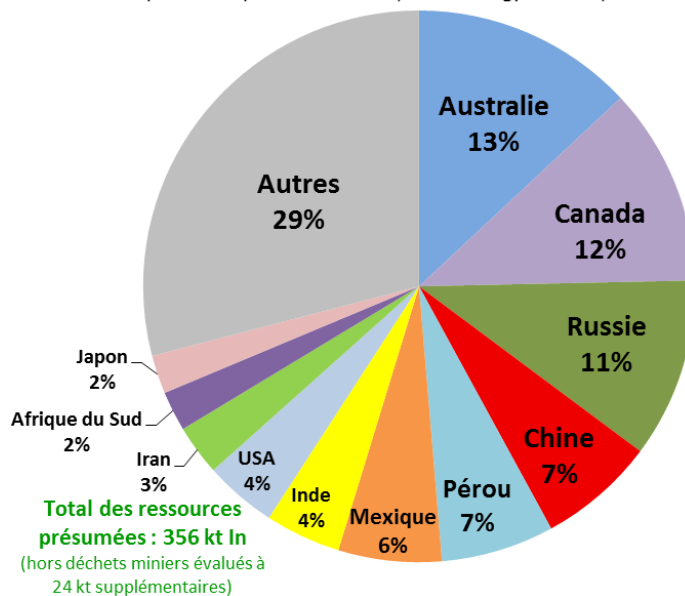
(Source : USGS, 2017)



Production primaire totale en 2015 : 759 t

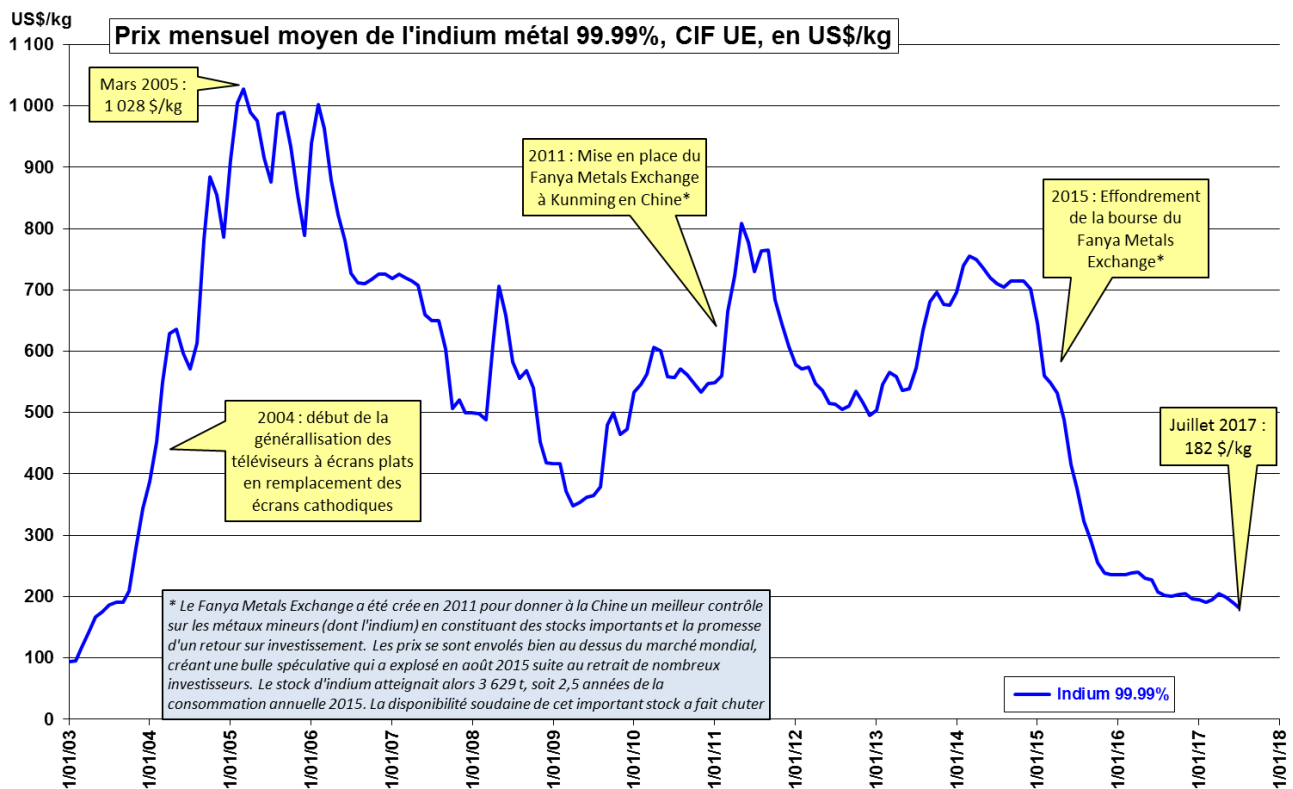
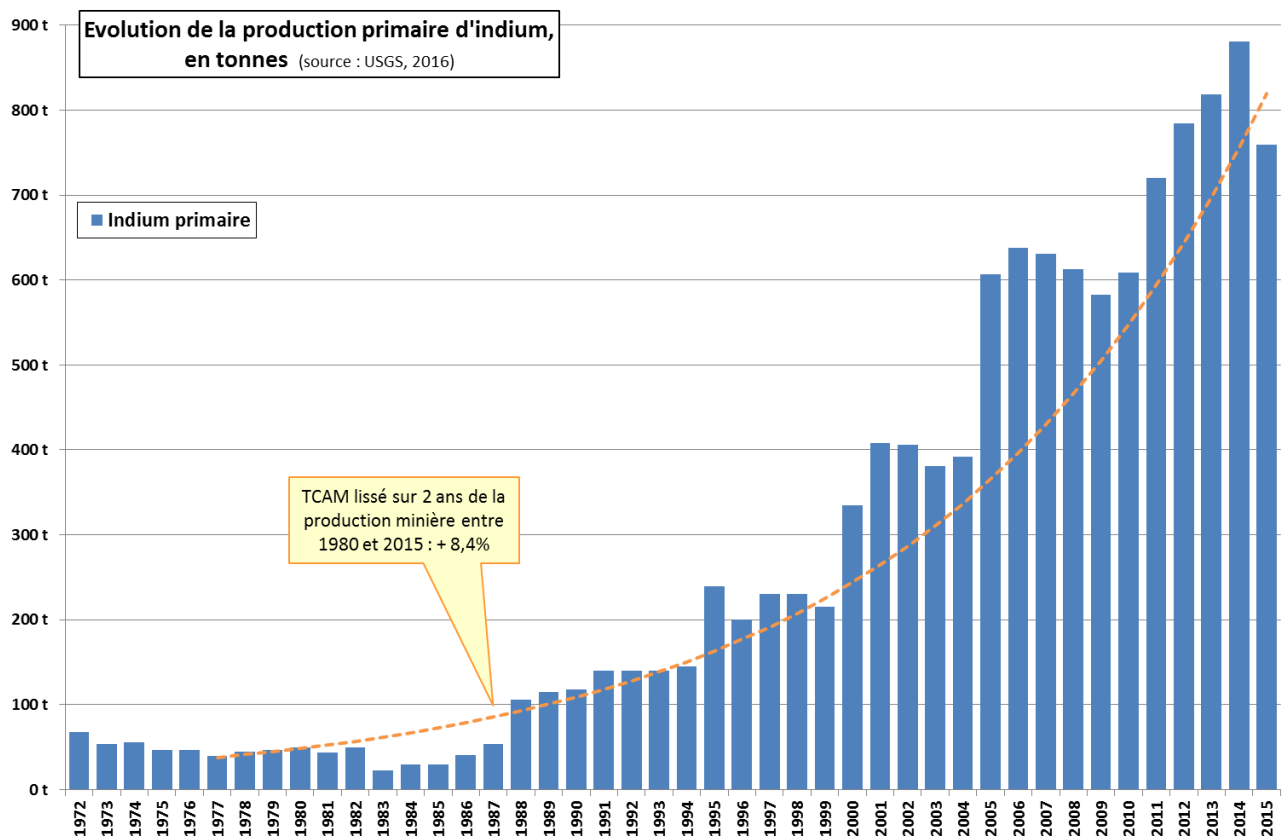
Répartition des ressources minières mondiales présumées d'indium en 2017

telles qu'évaluées par Werner et al., Ore Geology Reviews, 2017



Total des ressources présumées : 356 kt In
(hors déchets miniers évalués à 24 kt supplémentaires)

EVOLUTION DE LA PRODUCTION ET DES PRIX



COMMERCE EXTERIEUR DE LA FRANCE

Statistiques françaises d'import-export de produits bruts et intermédiaires d'indium

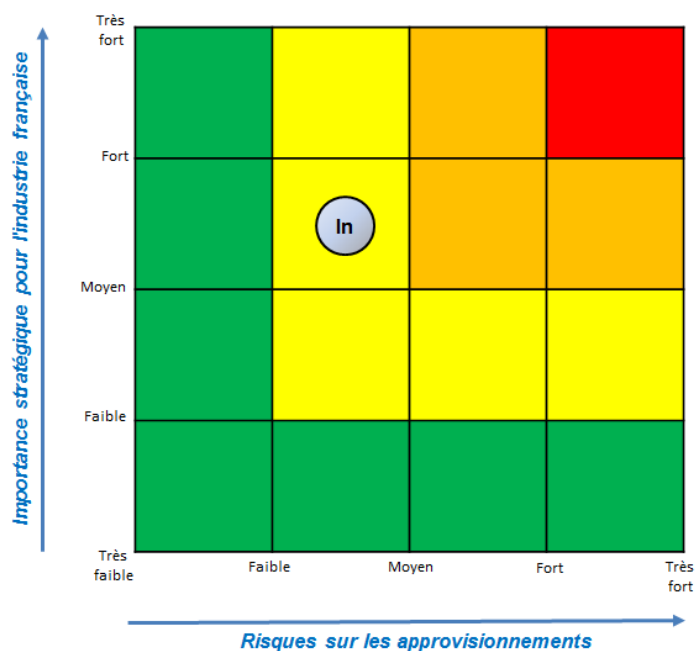
Données brutes de collecte, CAF-FAB hors matériel militaire. Source : <http://lekiosque.finances.gouv.fr>

	2015			2016			Evolution 2015-2016		Principaux partenaires en 2015* (% des tonnages)
	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.	En valeur	En masse	
81129281 - Indium sous forme brute; poudres d'indium									
Exportations	13 234 k€	38 t	348.3 €/kg	270 k€	1 t	270.0 €/kg	-98.0%	-97.4%	Etats-Unis 58%, Corée du sud 29%, Belgique 8% Allemagne 92%, Etats-Unis 8%
Importations	1 075 k€	12 t	89.6 €/kg	263 k€	1 t	263.0 €/kg	-75.5%	-91.7%	
Solde	12 159 k€	26 t		7 k€	0 t				

* L'usine Nyrstar a été en partie endommagée en 2015 et n'a pu produire en 2016. C'est pourquoi ce sont les répartitions 2015 qui ont été retenues ici.

NB : La nomenclature douanière NC8 n°81129281 est la seule spécifique à l'indium. L'indium apparaît aussi dans les nomenclatures n°81129970 - Ouvrages en gallium, en indium et en vanadium, n.d.a et n°81129221 - Déchets et débris de niobium, rhénium, gallium, indium, vanadium, germanium sauf cendres et résidus, mais la proportion d'indium concernée est inconnue et la quantité d'indium concernée ne peut pas en être déduite.

CRITICITE DU DE L'INDIUM



L'INDIUM, PROPRIETES

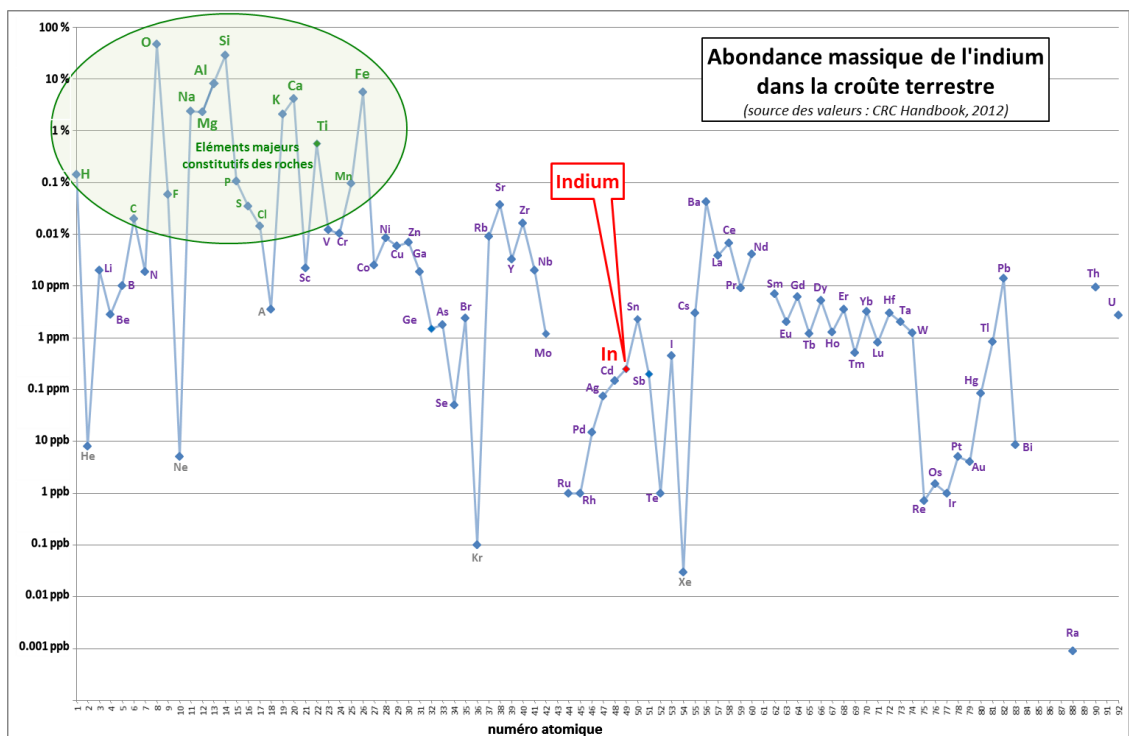
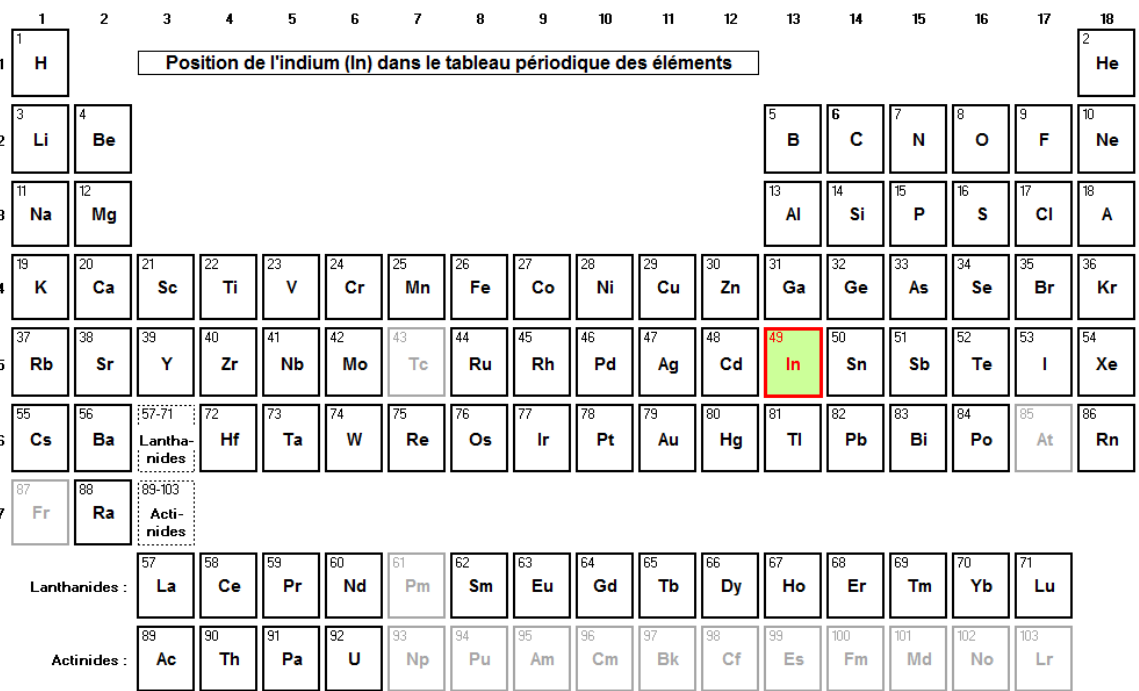
Quelques propriétés de l'indium

Numéro atomique : 49
 Masse atomique : 114,82
 Température de fusion : 156,6 °C
 Température d'ébullition : 2080 °C
 Densité : 7,3
 Dureté Mohs : 1,2
 Abondance naturelle : 0,05 à 0,25 ppm selon les auteurs

L'indium pur est un métal tendre, ductile et malléable, de couleur gris-blanc argenté. Il présente une chimie semblable à l'aluminium et au gallium.

Doté d'un point de fusion bas et d'une température d'ébullition plutôt élevée, l'indium garde ses propriétés plastiques à très basse température. Il est principalement utilisé sous forme d'ITO (Oxyde mixte indium-étain) dans les écrans plats, les alliages et soudures, les couches fines dans certains panneaux solaires etc.

En quantité raisonnable, l'indium ne semble pas dangereux pour la santé. Bien qu'il n'ait pas de fonction biologique connue, il pourrait favoriser l'assimilation par le corps de certains oligoéléments.



AVERTISSEMENT

Les informations, chiffres et graphiques figurant dans la présente "fiche de synthèse sur criticité" sont extraites de bases données construites à partir des meilleures sources ouvertes de données, internationalement reconnues. Certaines sont gratuites, d'autres ne sont accessibles que sur abonnement. Les sources utilisées sont précisées sur chaque fiche.

Il faut cependant savoir que de nombreux problèmes affectent la qualité des données disponibles sur l'industrie minérale mondiale et sur les nombreux maillons des chaînes de valeur qui en dépendent. Certains pays, parmi lesquels la Chine, aujourd'hui le principal producteur mondial de 28 matières premières minérales, ne publient guère de données statistiques relatives à leur industrie minérale, et les données qui sont publiées ne sont pas toujours vérifiables. Dans certains pays, des règles interdisent la publication de données de production ou de réserves lorsque cette publication pourrait divulguer des données considérées comme confidentielles par des entreprises productrices, dès lors que le nombre restreint de producteurs nationaux est restreint au point que la publication des données de production pourrait amener à dévoiler la stratégie industrielle de ces producteurs. C'est le cas par exemple aux États-Unis et en France. Toutes les entreprises n'ont pas non plus les mêmes obligations de rapportage de leurs activités, ces obligations étant très faibles ou nulles pour les entreprises non cotées en bourse, financées par des capitaux privés ("private equity"). Et tous les États n'imposent pas non plus les mêmes obligations de transparence aux entreprises établies sur leurs territoires.

Certaines données de production, consommation ou échanges proviennent des statistiques du commerce mondial, basées sur la nomenclature statistique internationale des produits définie par l'Organisation Mondiale des Douanes, et sur les déclarations d'importations et d'exportations fournies par les douanes de chaque pays, centralisées dans la base de données "Comtrade" des Nations Unies. Ces données sont cependant, elles aussi, délicates à utiliser ou à interpréter : certains chiffres relatifs aux exportations et aux importations mondiales ne se correspondent pas, certains pays ne fournissent pas leurs informations. De plus, ces données ne fournissent pas d'indications sur la consommation intérieure de minéraux et métaux produits à l'intérieur d'un même pays.

Cette situation complique les analyses pour certaines matières premières, notamment pour les métaux utilisés pour des applications de haute technologie. La fiabilité de certaines données peut être douteuse lorsque celles-ci proviennent de simples déclarations par les autorités de pays producteurs interrogés pour calculer le montant des réserves de telle ou telle matière première minérale.

L'existence d'un marché noir de certaines matières premières est également à prendre en compte. C'est probablement le cas d'une petite partie de la production chinoise, mais aussi des pays limitrophes (Birmanie, etc.).

Ces limitations peuvent cependant être parfois contournées en recoupant plusieurs sources d'information.

De même, les prix des métaux rares et des minéraux industriels ont des degrés de précision et de fiabilité divers. Seuls les métaux de base (Al, Cu, Ni, Pb, Sn, Zn, Co, Mo) et les métaux précieux (Au, Ag, Pt, Pd, Rh) font l'objet de cotations quotidiennes sur les marchés boursiers. Les autres métaux font l'objet de commercialisations dans le cadre de contrats de gré à gré entre producteurs et acheteurs, qui peuvent être des maisons de négoce. Les prix de transaction ne sont pas rendus publics. Des sources d'information spécialisées, accessibles uniquement sur abonnement, telles qu'Industrial Minerals (pour les minéraux industriels), Metal-Pages, Metal Bulletin ou Platts fournissent des fourchettes de prix de transactions pour une vaste gamme de matières premières minérales. L'évolution de ces prix, qui peuvent ne représenter qu'une faible partie du marché réel, est la principale source d'information sur l'évolution de l'offre et de la demande.

Ainsi malgré tout le soin que le BRGM peut apporter à l'utilisation et au traitement des données et des informations auxquelles il a accès, les chiffres doivent le plus souvent être considérés comme des ordres de grandeur. Ce sont les évolutions temporelles, les dynamiques qui traduisent le mieux les marchés et leurs évolutions. En cas d'enjeux économiques importants pour une entreprise, il est fortement recommandé de faire appel à une ou plusieurs expertises externes.

En tout état de cause le BRGM et le COMES déclinent toute responsabilité relative aux dommages directs ou indirects, quelle qu'en soit la nature, que pourrait subir un utilisateur des fiches du fait de décisions prises au vu de leur contenu. L'utilisation des informations fournies est de l'entière responsabilité des utilisateurs.