



Les filières industrielles de Haute Technologie dépendent étroitement d'une large palette de métaux stratégiques : NTIC (Ta, Ge, In, Ga), superalliages (Re, Sc, Ta, Co), catalyse (Pt, Pd, Ru). Le BRGM, par son expérience et sa position de Service Géologique, a pour ambition de **fédérer la Recherche et le Développement autour de ces métaux** en considérant l'ensemble de leur cycle " du gisement au marché ".

Cette vocation intégratrice autour des métaux de l'avenir découle des compétences multidisciplinaires du BRGM, depuis la métallogénie, la minéralurgie et l'économie minérale, jusqu'aux aspects sociaux et environnementaux du développement durable.

Métallogénie

- ▣ Synthèses métallogéniques multi-échelles (du continent au gisement) : S.I.G. et cartes de prédictivité minière.
- ▣ Compréhension des processus de formation des gisements.
- ▣ Modélisation géologique des gisements non conventionnels en tant que nouvelles sources d'approvisionnement.
- ▣ Identification de nouveaux gisements associés aux résidus de traitements métallurgiques.
- ▣ Caractérisation minérale des minerais et spéciation ; identification de métaux valorisables.

➤ **Moyens analytiques de pointe au service de la métallogénie : analyses chimiques infra-traces, analyses chimiques in situ, isotopie, inclusions fluides, etc.**

Minéralurgie

- ▣ Expertise en procédés physiques de valorisation (broyage, gravimétrie classique et centrifuge, flottation, magnétisme) et R&D liée aux procédés de valorisation chimiques (hydrométallurgie, SX-EW).
- ▣ Expertise en biolixiviation des minerais et biotraitement des résidus solides (déchets métallurgiques, tailings, etc).
- ▣ Développement de logiciels de simulations de procédés (USIM-PAC), bilan matière (BILCO) et procédures d'échantillonnage (ECHANT).

➤ **Moyens : laboratoires (450 m²) et usine pilote (2 000 m²) pour broyage, flottation, biotechnologies, hydrométallurgie.**

Economie minérale

- ▣ Modélisations des comportements des marchés et prospective ; scénarii offre / demande.
- ▣ Cycles des métaux : dynamique des cycles, analyse des points de rupture. étude de risques par filière, impacts des innovations technologiques.

➤ **Analyses prospectives, anticipation des crises.**

Contact
metaux.hightech@brgm.fr

Y. Deschamps y.deschamps@brgm.fr

BRGM
3, avenue Claude Guillemin
BP 6009
45060 Orléans Cedex 2, France

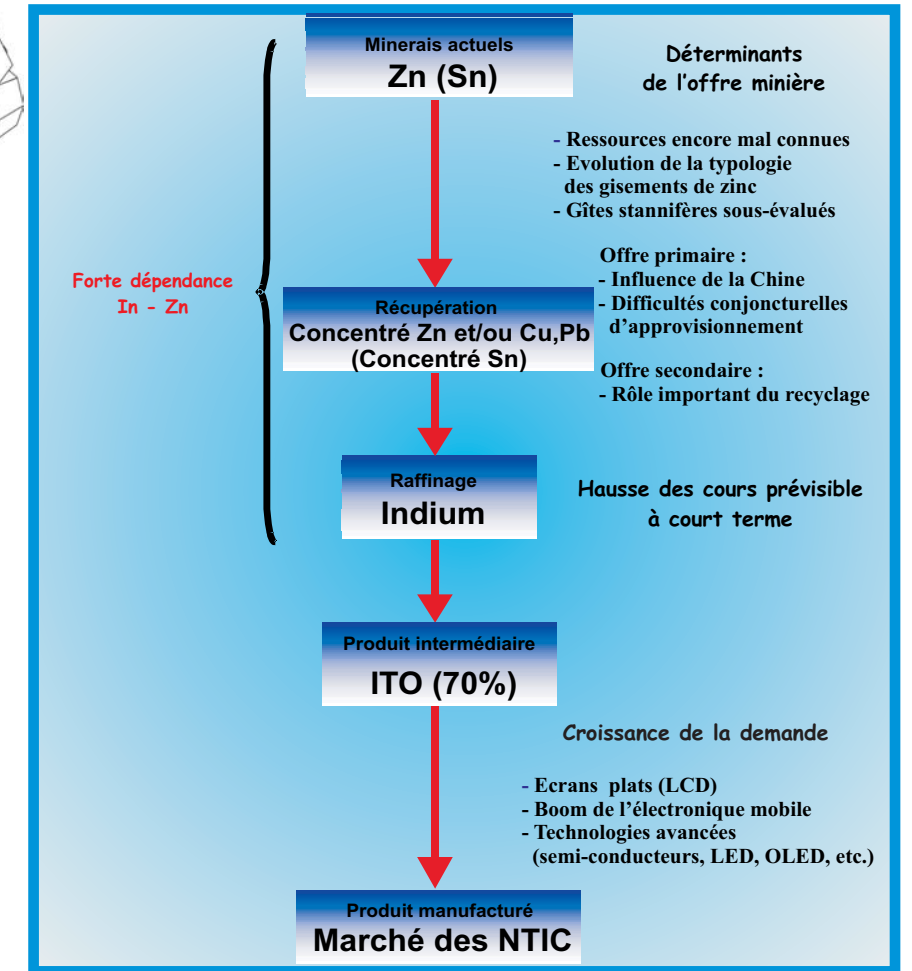
+33 (0)2 38 64 34 34



La filière industrielle des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC) dépend étroitement de l'approvisionnement en métaux stratégiques : **In, Ta, Ge, Ga, etc.**

L'indium connaît une demande croissante et devrait subir une hausse prochaine des cours. L'évolution en termes de production et de typologie des sources primaires du métal (minerais de zinc, étain) aura des impacts directs sur l'offre.

Une R&D focalisée sur le comportement géologique et/ou économique de l'indium fournira des éléments en réponse à la demande future de la filière NTIC.

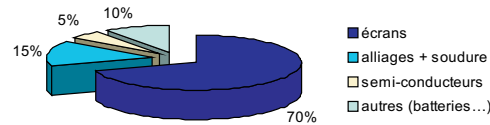


Les enjeux de l'indium dans la filière NTIC

DEMANDE

Des applications technologiques variées

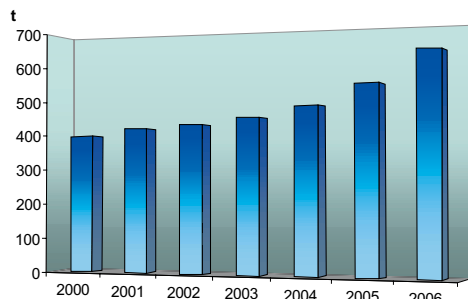
- Les applications technologiques de l'indium sont très diversifiées (électronique, fibre optique, télécommunication, etc.).
- La fabrication de l'ITO (oxyde d'indium et d'étain) pour les écrans plats, surtout à cristaux liquides (LCD), absorbe près de 70% de l'indium consommé.
- Le Japon est le principal pays consommateur, avec plus de 40% de la demande mondiale.



Consommation mondiale d'indium. Estimation : BRGM, 2003

Une demande soutenue, stimulée par les écrans plats

- Le "boom" du marché des appareils électroniques mobiles (téléphones, PDA) maintient une demande élevée (430 t In en 2002).
- D'autres technologies avancées devraient aussi stimuler la demande : semi-conducteurs (InP pour téléphonie de troisième génération), photodiodes (OLED, LED), etc.
- La technologie LCD, atteignant le stade de la diffusion massive, devrait permettre une croissance soutenue de la demande en indium à moyen terme.



Evolution de la demande mondiale d'indium (estimation BRGM, 2003)

Des prix en redressement

- Les prix spot de l'indium (3N) ont chuté de 45 % entre 2000 et 2002 jusqu'à 60-70 \$/kg, en raison de la crise du secteur de l'électronique et de l'augmentation de l'offre chinoise.
- Depuis fin 2002, on constate une certaine tendance à la hausse des cours, due à une baisse conjoncturelle de l'offre. La dynamique de cette hausse reste cependant difficile à anticiper.
- Le prix atteindra probablement 100 à 120 \$/kg à court terme, et certaines estimations envisagent 200 \$/kg à moyen terme.

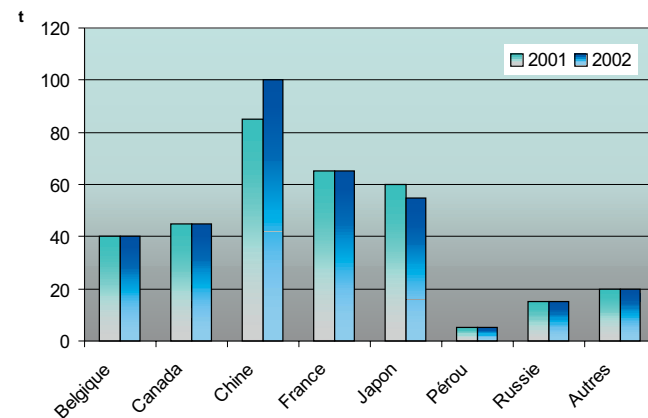
OFFRE

Une offre globale en difficulté conjoncturelle

- Depuis fin 2002, l'offre en métal primaire est perturbée par la fermeture en France de la raffinerie Metaleurop de Noyelles-Godault et celle de nombreuses petites mines de zinc chinoises.
- La production secondaire joue un rôle régulateur important, avec près de 40 % au Japon. Dans les grands pays consommateurs, le recyclage des chutes neuves de fabrication (surtout ITO), prend une importance croissante lorsque les cours s'élèvent.
- Si le cours du métal atteint 200 \$/kg, des investissements dans des lignes de récupération supplémentaires sont envisageables.

Une offre primaire dépendante de la production de zinc et de la Chine

- L'essentiel de l'indium primaire est actuellement récupéré comme sous-produit de la métallurgie du zinc. Une proportion mal connue d'indium est aussi issue de la métallurgie de l'étain (Chine, Russie).
- La production chinoise d'indium en sous produit du zinc a considérablement augmenté ces dernières années (25% de la production primaire mondiale).
- La fermeture de Noyelles-Godault a un impact fort sur le marché global de l'indium et place l'Europe en position d'incertitude.



Production primaire mondiale d'indium (t) (BRGM, 2002)

Des réserves abondantes mais encore mal connues

- Les ressources globales d'indium associées aux minerais de Zn, Cu et Sn sont abondantes mais difficilement quantifiables, surtout en terme de métal récupérable.
- Les réserves mondiales calculées à partir de celles du zinc sont suffisantes pour au moins 10 ans (USGS, 2001).
- Les potentialités de vastes zones du globe (continent africain, Amérique du Sud, Moyen Orient, Asie du SE) sont très mal connues.

Axes R&D en économie proposés par le BRGM

- Impact du marché du zinc (production, cours) sur l'offre d'indium, étude prospective : suivi des producteurs principaux par typologie géologique, tendance vers des gisements "propres" réputés pauvres en sous-produits, etc. ;
- Impact du marché de l'étain (production, cours) sur l'offre d'indium, étude prospective ;
- Enjeux de la production secondaire mondiale et étude des capacités du recyclage.

TPOLOGIE GÉOLOGIQUE DE LA RESSOURCE

Des sources actuelles tributaires de la typologie des gisements de zinc

- Il n'existe pas de gisement d'indium en tant que tel.
- Les gisements volcano-plutoniques polymétalliques, à zinc dominant et étain accessoire sont la principale source actuelle d'indium. D'expressions variées et souvent regroupés en provinces (Andes, Japon), ces gisements petits mais nombreux fournissent des concentrés riches en In.
- Les amas sulfurés syngénétiques représentent des sources peu nombreuses mais majeures, à fort potentiel - basse teneur, liées à des zones particulières à Sn-Cu "dopant" le minerai tout-venant en In. Les récupérations médiocres sont compensées par les cadences de production élevées. Les gros gisements connus (Canada, Russie), pour la plupart épuisés ou en voie d'épuisement sont de deux types :
 - Les amas sulfurés volcanogéniques (VMS) qui présentent un lourd passif environnemental sont progressivement abandonnés dans le monde occidental ;
 - Les amas sulfurés exhalatifs-sédimentaires (Sedex) sont a contrario une source de zinc en forte expansion, mais les gisements classiques sont traditionnellement pauvres en indium.

Statut

- ☆ En production
- ▽ Ancienne mine
- ◇ Prospect, projet
- Province inactive

Type de gisement

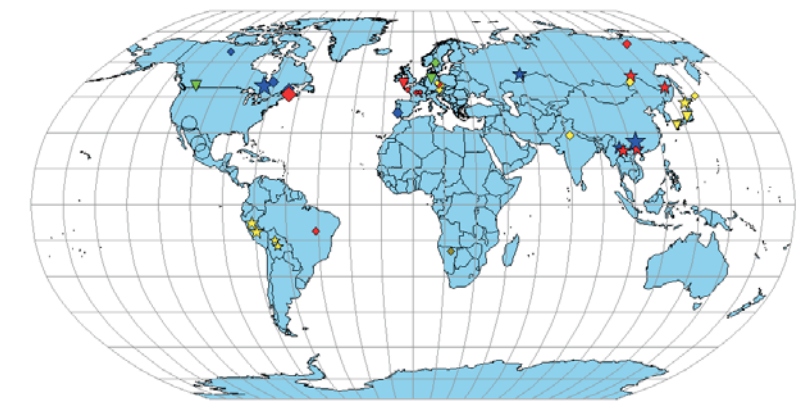
- amas sulfuré VMS
- amas sulfuré Sedex
- gisements volcano-plutoniques
- granites à Sn
- rhyolites à Sn
- résidus métallurgiques

Des ressources sous-évaluées associées aux gîtes stannifères

- Les granites spécialisés à étain et les gisements périgranitiques associés produisent des concentrés d'étain et de métaux de base riches en indium (valorisés en Chine et en Russie). Dans le monde occidental, ces gîtes sont actuellement abandonnés (Cornouailles) ou en attente (Mount Pleasant, Canada). A l'avenir, une reprise de la demande en étain pourrait entraîner l'entrée en production de gros gisements potentiellement favorables pour l'indium et modifier la répartition de l'offre.
- Le volcanisme rhyolitique stannifère, à cassitérite souvent fortement indifère reste a priori marginal en raison de ressources faibles et du caractère disséminé des minéralisations.

Typologie géologique	Sources traditionnelles et réserves actuelles Minéralisations à Zn - (Pb-Cu)			Ressources futures Minéralisations à Sn dominant	
	Amas sulfurés (VMS) à Cu-Sn	Amas sulfurés (Sedex) à Cu ou Sn	Gîtes volcano-plutoniques polymétalliques à Sn	Granites spécialisés et « porphyry » à Sn	Rhyolites à Sn type « Mexicain »
Production actuelle In	# 15 % Canada, Russie, Chine	0 % (Canada, Allemagne)	# 70 % (Andes, Japon, Chine)	# 15 % Chine, Russie Gisements futurs	0 %
Co-produits valorisables	Zn, Cu, Sn, (Ag, Pb)	Zn, Cu, Sn, (Ag, Pb)	Zn, Pb, Ag, Sn, W, Bi, Cu, Sb, As	Sn, Zn, Pb, Sb, (Ag, Cd, W, Cu, Mo, Bi)	(Sn) (W, Mo, Be, Li)
Porteurs de l'indium	sphalérite chalcoppyrite cassitérite (stannite)	sphalérite chalcoppyrite	sphalérite cassitérite chalcoppyrite (stannite)	sphalérite cassitérite chalcoppyrite (stannite)	cassitérite
Tonnage minéral	fort	fort	variable	variable	faible
Teneur	faible	faible	forte	forte	faible
Ressources en In contenu	élevées	élevées	variables	élevées	faibles
Filière de traitement	minerais sulfurés Zn et Zn-Pb-Cu	minerais sulfurés Zn et Zn-Pb-Cu	minerais sulfurés Zn et Zn-Pb-Cu	minerai Sn ou sulfuré Zn / Zn-Pb-Cu	minerai Sn
Investissement	élevé	élevé	variable	élevé	élevé
Durée de développement	longue	longue	variable	longue	longue

Typologie géologique des gisements d'indium (BRGM, 2003)



Répartition des gisements d'indium (BRGM, 2003)

Axes R&D en métallogénie - minéralurgie proposés par le BRGM

- Amélioration de la récupération : caractérisation des sites de l'indium dans les minerais à forte teneur ; optimisation des filières et procédés de traitement ;
- Sources conventionnelles : analyse et suivi de concentrés sélectifs sur des mines actives de typologies favorables ;
- Gisements d'indium alternatifs : caractérisation et potentialités des grands gîtes stannifères ;
- Sources non conventionnelles : évaluation des résidus de traitement métallurgique (i) de minéralisations zincifères polymétalliques (ex.: projet de Tsumeb, Namibie) ; (ii) de minéralisations à étain +/- polymétalliques.