



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 m<sup>2</sup>) et usine pilote (2 000 m<sup>2</sup>) 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.**

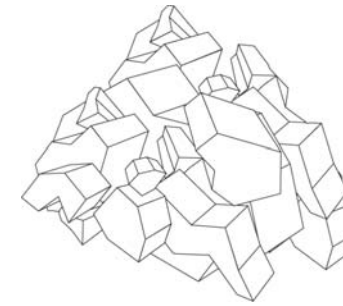
Contact  
[metaux.hightech@brgm.fr](mailto:metaux.hightech@brgm.fr)

Y. Deschamps [y.deschamps@brgm.fr](mailto:y.deschamps@brgm.fr)

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

+33 (0)2 38 64 34 34

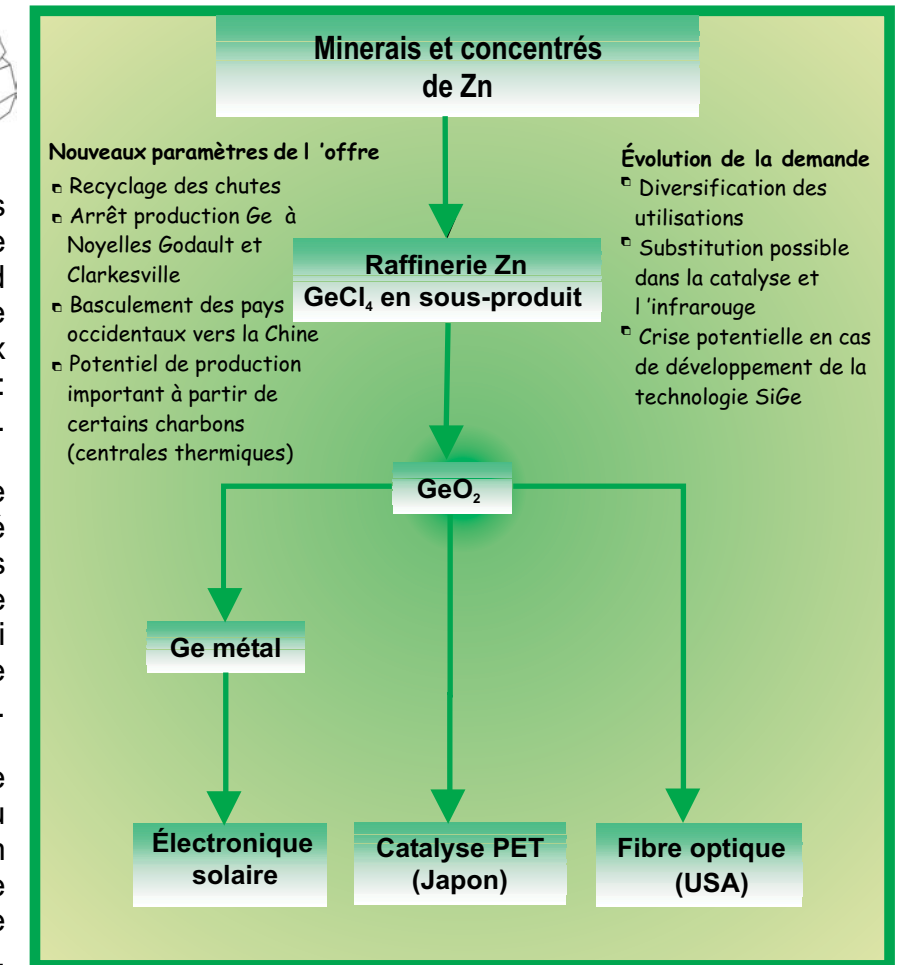
Juin 2003



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

La substitution de l'arséniure de gallium (AsGa) par le composé SiGe pour les microprocesseurs HF (applications sans fils) offre de nouvelles perspectives qui devraient stimuler la demande de Ge à moyen terme.

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

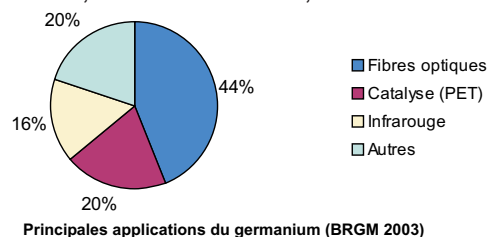


# Les enjeux du germanium dans la filière NTIC

## DEMANDE

### Des applications diversifiées, conduites par la fibre optique

- Globalement le principal secteur d'application est la fibre optique, utilisant le tétrachlorure de germanium.
- Au Japon, le secteur dominant est la catalyse pour la polymérisation du PET (bouteilles en plastique).
- Le développement des optiques infrarouges, avec lentilles à base de germanium est en croissance rapide.
- Une R&D très dynamique renouvelle constamment les utilisations : cellules solaires des satellites, diodes à lumière blanche, semi-conducteurs, etc.

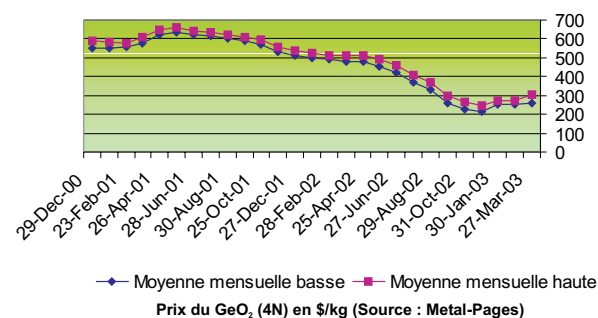


### Une consommation dépendante des NTIC

- La demande de Ge (entre 70 et 100 t par an) dépend étroitement du secteur des NTIC. Elle a subi de plein fouet le revers de 2001 : effondrement du marché des fibres optiques, suspension des grands programmes satellites.
- La diversité des applications permet de maintenir la demande (l'utilisation en catalyse a sauvé la mise) : croissance actuelle de 1 à 2% par an.
- La substitution de l'AsGa par SiGe dans les puces haute performance (applications sans fil) offre de nouvelles perspectives qui devraient stimuler la demande à moyen terme de Ge.

### Des prix toujours volatils

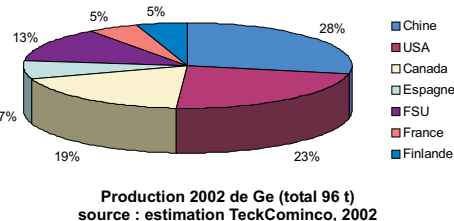
- Le prix de référence du GeO<sub>2</sub> a subi une forte baisse depuis 2001 pour s'établir en 2003 entre 270 et 320 \$/kg. Le prix du Ge métal (4N) reste aux alentours de 500 \$/kg.
- La volatilité des prix du Ge risque de s'accroître, malgré les effets compensateurs du recyclage et du stockage. Une légère hausse due à l'incidence du marché chinois et à un renouveau du marché PET japonais est perceptible à court terme.



## OFFRE

### Des ressources abondantes

- Ge est essentiellement un sous-produit des minerais de zinc ou de cuivre-zinc. Les ressources associées sont a priori importantes mais restent mal quantifiées et caractérisées.
- Des ressources majeures sont par ailleurs contenues dans certains charbons.
- Les scories issues de la métallurgie de certains gisements de zinc contiennent aussi des ressources dont la valorisation a débuté récemment.



### Production

- L'ordre de grandeur de la production totale annuelle est de 100 t Ge (hors CEI et Chine), dont 75 t d'offre primaire.
- En Chine et en CEI, il existe une production de GeO<sub>2</sub> à partir des cendres et poussières des centrales thermiques (mais peu de gisements secondaires de type scories ou cendres semblent économiques).
- La production secondaire est constituée essentiellement du recyclage des résidus de procédés (environ 25% du Ge consommé). Le recyclage des produits en fin de vie reste cantonné aux fibres optiques.

### Un basculement de la production primaire des pays occidentaux vers la Chine

- L'offre primaire connaît une baisse conjoncturelle avec la liquidation de Metaleurop (fin de la production de Ge de Noyelles Godault, d'environ 10 t/an) et l'arrêt de la mine de zinc de Gordonsville qui, via la raffinerie de Clarkesville de Pasmenco, alimentait le premier producteur mondial de germanium, Umicore.
- La production chinoise est en forte croissance (7 producteurs et des extensions prévues):

Pays	Compagnie	Capacités (t)	Origine
France	Metaleurop	(arrêt en 2003)	minerai Zn
Belgique	Umicore	50	minerai Zn
Finlande	OMG	20	scories (Big Hill, RDC)
Canada	Cominco	15	minerai Zn (Red Dog, EU)
Etats-Unis	Pasmenco	(arrêt en 2004)	arrêt de la mine de Gordonsville
Namibie	ZincOx	en projet	scories (Tsumeb)
Ukraine	ZTMK	faible	minerais Zn
Russie	Krasnoyarsk	15	cendres charbon (Russie)
Chine	Yunnan Huize	10	minerai Zn
	Yunnan Chihong Zn/Ge	20	minerai Zn
	Yunnan Lincang Xinyuan Ge Industry Co	5	minerai Zn
	Nanjing Germanium Plant	20	minerai Zn
	Shanghai Longtai Copper Industry	10	minerai Zn
	Shaoguan Huali Ent Co	5	minerai Zn
	Tongli Germanium	10	cendres charbon
Total	Capacité théorique de l'offre à court terme	180 t	

Principaux producteurs de Ge (BRGM 2003)

### Axes R&D en économie proposés par le BRGM

- Impacts du marché du Zn sur l'offre de Ge ; étude des potentialités d'exploitation du Ge des charbons.
- Analyse du cycle de vie du Ge : établissement de scénarios prédictifs du marché à moyen ou long terme ; impacts de nouvelles applications technologiques NTIC sur la demande.
- Impact du recyclage des déchets.

## TPOLOGIE GEOLOGIQUE DE LA RESSOURCE

### Deux grandes filières productrices actuelles : " zinc " et " charbon " pour lesquelles le germanium est un sous-produit :

- La filière " zinc " fournit environ 80 % de l'offre primaire mondiale de Ge, récupéré lors du raffinage de concentrés sulfurés de zinc. Une production nouvelle est liée au retraitement de scories à Lubumbashi (Rép. Démocratique du Congo). Celles de Tsumeb (Namibie) font l'objet d'une étude de faisabilité.
- La filière " charbon ", abandonnée dans le monde occidental, fournit en Chine une part croissante de l'offre primaire. Ge est concentré dans les cendres volantes de centrales thermiques à charbon dont les teneurs peuvent atteindre plusieurs % Ge. En extrême orient russe et chinois (Xilinhaote, Dazhai), plusieurs gisements de charbon exploités contiennent des parties très riches en Ge (jusqu'à 3000 g/t).

### Une évolution des sources d'approvisionnement :

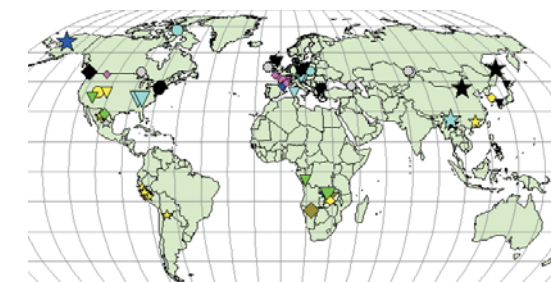
- Les ressources conventionnelles de la filière zinc sont aujourd'hui épuisées ou en déclin : Mississippi Valley Type (MVT) de type Gordonsville, Leadville Type Mineralisation (LTM, Leadville), type pipe sulfuré (MVT ou LTM) et filonien mésothermal de type St-Salvy ;
- Les ressources de la filière zinc actuelle sont liées notamment au développement d'amas sulfurés exhalatif-sédimentaires (Sedex) géants comme Red Dog, dont le gros tonnage compense la faible teneur ;
- Les scories du traitement métallurgique de minerais sulfurés de Zn-Ge (notamment le type pipe sulfuré) constituent des sources potentielles valorisables (Kipushi : scories stockées à Lubumbashi ; Tsumeb)
- Les bassins à charbons (s.l.) contiennent des ressources majeures pour l'avenir (Filière " charbon ") : il s'agit de concentrations de Ge (teneurs exceptionnellement élevées),

Filière	Filière « minerai sulfuré de zinc »				Filière « charbon »		
	Conventionnelles : épuisées et en déclin				Actuelles et futures		
Typologie géologique	Filonien mésothermal	Mississippi Valley Type (MVT)	Leadville Type Mineralisation (LTM)	MVT ou LTM de type pipe sulfuré	Sedex de type schistes (ou grès) noirs	Scories de la métallurgie des minerais de zinc	Sedex de type bassin à charbon
Production actuelle en Ge	~ 0%	20 %	20 %	15 %	20 %	5 %	20 %
Corps minéralisé	filon, veine	amas de sulfures stratabound ou discordant	amas de sulfures stratabound (mantos)	pipe sulfuré discordant	amas et disséminés de sulfures stratabound	tas de scories	couches de charbons
Substances principales, (sous-produits)	Zn, Ge (Pb, Ag, Sb)	Zn, Pb, Ag, (Ge, Ba, F)	Zn, Pb, Ag, Au (Ge, Cu)	Zn, Cu, Pb, Co (Ge, Ga, Mo, V, Ag)	Zn, Ag (Ge, In, Bi, Sb)	Ge, Ga, In, Co...	Ge, charbons (métaux variables selon substratum)
Porteurs du Ge	sphalérite	sphalérite	sphalérite probable	sulfures complexes Ge (rénérite,...) oxydés en surface	sphalérite monzeviczite polkovicite	indéterminé	vitrine micro-sulfures de zinc
Type de minerai	concentré Zn	concentré Zn	concentré Zn	concentré Zn minerais oxydés	concentré Zn	scories (slags)	cendres volantes des centrales thermiques
Teneur minerai en Ge	variable à forte	forte	Md.	forte	faible (80 ppm Ge dans concentré Zn)	forte	variable à forte (60 – 3000 ppm Ge)
Gîte de référence	St Salvy (France)	Gordonsville (USA)	Leadville (USA)	Tsumeb (Nam) Kipushi (RdC), Apex (USA)	Red Dog (Canada)	Lubumbashi Tsumeb	Extrême orient russe, Xilinhaote (Chine)
Réserves métal	variables	variables	variables	élevées	élevées	très élevées	très élevées

Typologie géologique des gisements de germanium (BRGM, 2003)

### Axes R&D en métallogénie - minéralogie proposés par le BRGM

- Caractérisation et évaluation du potentiel des ressources en Ge liées à la matière organique (charbons, schistes noirs, sables bitumineux) et des scories métallurgiques et cendres volantes.
- Optimisation des procédés et filières de traitement via la caractérisation minéralogique des porteurs de Ge.
- Impacts environnementaux : écotoxicité des minerais en fonction des filières productrices (zinc sulfuré à contaminants Cd+/-As, charbons à contaminants As, Hg).



Répartition des gisements de germanium (BRGM, 2003)