

## MAGNESIUM 2015

**MATIÈRES PREMIÈRES** : voir le chapitre oxyde de magnésium.

La teneur en magnésium de l'écorce terrestre est d'environ 2 %.

**Minerais** : le magnésium est abondant et bien réparti dans le monde, il est présent dans plus de 60 minéraux, dont les plus importants sont :

- la magnésite ou giobertite :  $MgCO_3$ ,
- la dolomite qui renferme de la dolomie  $(Ca,Mg)CO_3$ , avec une teneur de 38 % de MgO après calcination,
- la carnallite :  $KCl,MgCl_2,6H_2O$ , présente dans des gisements de potasse. Elle est utilisée, en particulier, comme source de magnésium dans les engrais,
- la kiesérite :  $MgSO_4,H_2O$ , utilisée dans l'industrie des engrais,
- la brucite :  $Mg(OH)_2$ ,
- l'olivine : silicate de magnésium et de fer avec une composition comprise entre celle de la forstérite ( $Mg_2SiO_4$ ) et celle de la fayalite ( $Fe_2SiO_4$ ). La qualité commercialisée comme source de magnésium renferme de 45 à 51 % de MgO et de 7 à 8 % de  $Fe_2O_3$ . Le principal producteur mondial est la Norvège.

Les gisements les plus exploités sont ceux de magnésite qui renferment également en faible teneur de la dolomite et de la sidérite, carbonate de fer,  $FeCO_3$ .

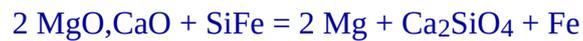
La teneur de l'eau de mer est en moyenne de  $1,3 \text{ kg/m}^3$  soit 0,13 %. Certaines mers ou lacs fermés en contiennent jusqu'à  $35 \text{ kg/m}^3$ . Par exemple, la teneur du Grand Lac Salé dans l'Utah, aux Etats-Unis, est, en masse, de 5 % en magnésium. Le magnésium est extrait sous forme de chlorure de magnésium  $MgCl_2$  et éventuellement transformé en oxyde MgO, en d'autres composés : hydroxyde, sulfate... ou en métal. Par exemple, aux États-Unis, en 2015, le magnésium extrait de l'eau de mer ou de saumures est à l'origine de 63 % de la production du pays. En 2014, dans le monde, la part provenant de l'eau de mer et des saumures est de 10,5 %.

**MÉTALLURGIE** : elle est réalisée selon 2 voies (nous remercions la société Morgo Magnesium Limited pour nous avoir autorisé un accès aux schémas reproduits sur leur site Internet : voir ci-dessous) :

- Par réduction thermique de MgO selon les procédés : Pidgeon, Bolzano ou Magnetherm. Le principal procédé utilisé est le procédé Pidgeon, employé pour toute la production chinoise.
- Par électrolyse, en sel fondu, de  $MgCl_2$  extrait de l'eau de mer ou de saumures selon les procédés : Dow, Norsk Hydro, IG Farben.

**Réduction thermique par le silicium** selon le procédé Pidgeon :

La dolomite est d'abord décarbonatée dans un four rotatif entre 1000 et 1200°C. Ensuite, après broyage, ajout de ferrosilicium (à 78 % de Si) comme agent réducteur et de fluorure de calcium, pressage et briquetage, la matière première est introduite dans un four à 1200°C, sous vide (avec une pression d'environ 100 Pa). Le chauffage est effectué extérieurement. En Chine, le gaz de chauffage est souvent issu de cokeries.



Le magnésium, à l'état de vapeur, est condensé, dans une chambre refroidie par circulation extérieure d'eau. La réduction dure environ 6 h.

**Électrolyse de MgCl<sub>2</sub>** : le procédé Dow est le procédé le plus ancien.

Mg<sup>2+</sup> contenu dans des solutions de chlorure de magnésium provenant soit d'eau de mer, soit de saumures, est précipité à l'aide de dolomie calcinée en Mg(OH)<sub>2</sub> qui est récupéré par filtration. L'hydroxyde est ensuite transformé en MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O par attaque chlorhydrique, puis déshydraté partiellement en MgCl<sub>2</sub>·1,5H<sub>2</sub>O ou totalement pour alimenter les cuves d'électrolyse.

L'électrolyte qui fond vers 720-780 °C a la composition suivante :

NaCl : 50-60 %      CaCl<sub>2</sub> : 15 %      MgCl<sub>2</sub> : 20-30 %

Les anodes sont en graphite. Dans le cas des cellules Dow, les anodes sont entourées par des cathodes en acier percées de déflecteurs dont la forme permet de guider le magnésium formé vers le pourtour de la cellule, à l'abri de l'oxydation. Le magnésium, liquide, surnage sur le mélange de sels fondu. La consommation énergétique est de 12 000 kWh/t, pour les cellules les plus modernes.

L'un des problèmes lié à la métallurgie du magnésium est l'utilisation l'hexafluorure de soufre SF<sub>6</sub>, servant à protéger le magnésium fondu de l'oxydation à l'air. L'hexafluorure de soufre est un gaz à effet de serre qui possède un potentiel de réchauffement global 22 800 fois plus important que le dioxyde de carbone (voir le chapitre gaz à effet de serre). Il est remplacé par du dodécafluoro-2-méthyl-3-pentanone ou par du dioxyde de soufre.

**PRODUCTIONS DE MAGNESIUM** : en 2015, en milliers de t de magnésium primaire. Monde : 970.

Chine	800	Kazakhstan	20
Etats-Unis (estimation)	60	Brésil	16
Russie	30	Corée du Sud	10
Israël	25	Ukraine	9

Source : USGS

Il n'y a pas de production primaire dans l'Union européenne.

En 2014, les exportations de la Chine ont porté sur 227 000 t de magnésium brut et 435 000 t de produits de magnésium. Les principales régions productrices sont les provinces de Shaanxi et Shanxi.

**Principaux producteurs de magnésium, en 2013 :**

- China Magnesium Corporation Ltd (Chine) : à Pingyao dans la province du Shanxi avec 105 000 t/an à partir de dolomite à l'aide du procédé Pidgeon.
- US Magnesium LLC (Utah, Etats Unis) est le seul producteur aux Etats Unis, à Rowley, dans l'Utah, avec une usine exploitant les saumures du Grand Lac Salé et produisant du magnésium par électrolyse avec une capacité de production de 76 500 t/an.
- Dead Sea Magnesium, filiale de Israel Chemicals Ltd. (Israël) : 34 000 t/an, exploite, à Sodom,

l'eau de la Mer Morte. L'arrêt de la production est envisagé au 1<sup>er</sup> janvier 2017.

- "UKTMK" (Ust-Kamenogorsk Titanium-Magnesium Combine) (Kazakhstan) : 30 000 t/an.

- Rima (Brésil) à Bocaiuva, dans l'état du Minas Gerais : 22 000 t/an.

- En Russie, Solikamsk Magnesium Works, a produit, en 2014, 13 744 t de magnésium et VSMPO-Avisma : 5 000 t.

- Posco, a démarré, en 2012, à Gangneung, en Corée du Sud, une production de 10 000 t/an qui devrait être portée à 20 000 t/an en 2016 puis 100 000 t/an en 2018. Le procédé utilisé est le procédé Pidgeon, à partir de dolomite.

- Zaporozhye Titanium & Magnesium Combine (Ukraine) : 15 000 t/an par électrolyse en sel fondu de chlorure de magnésium et de carnallite.

- Mg Serbie (Serbie) : 5 000 t/an à Baljevac, selon le procédé Magnetherm à partir de dolomite.

**RECYCLAGE** : la production mondiale de magnésium secondaire est estimée à 200 000 t/an, hors recyclage du magnésium contenu dans les alliages d'aluminium. Celui-ci est recyclé en même temps que l'alliage. La production de magnésium de deuxième fusion est, en 2015, de 80 000 t aux Etats Unis, dont 55 000 t provenant de chutes neuves et 25 000 t de métal récupéré, les alliages d'aluminium comptant pour 77 % de l'approvisionnement. Toutefois, aux Etats-Unis, le chlorure de magnésium sous-produit de la métallurgie du titane et recyclé avec la production de magnésium primaire n'est pas prise en compte.

**SITUATION FRANÇAISE** : en 2015.

La production de magnésium qui était réalisée par Pechiney Électrométallurgie à Marignac (31), selon le procédé Magnetherm, à partir de dolomite, avec 12 500 t/an, a cessé en juillet 2001.

Importations :

- Magnésite : 1 557 t à 64 % d'Allemagne, 14 % d'Italie, 11 % d'Espagne.

- Oxyde de magnésium : 21 351 t à 52 % d'Espagne, 25 % d'Israël, 7 % d'Allemagne.

- Chlorure de magnésium : 17 963 t à 48 % des Pays Bas, 32 % d'Allemagne.

- Sulfate de magnésium : 48 384 t à 46 % d'Allemagne, 42 % de Chine, 7 % d'Espagne.

- Magnésium : 11 784 t à 55 % de Chine, 29 % d'Allemagne, 7 % d'Israël.

Exportations :

- Magnésite : 514 t à 25 % vers l'Italie, 14 % la Belgique, 12 % l'Allemagne, 11 % la Pologne, 10 % l'Espagne.

- Oxyde de magnésium : 6 754 t à 42 % vers les Pays Bas, 31 % la Suède, 7 % l'Allemagne.

- Chlorure de magnésium : 4 345 t à 40 % vers l'Allemagne, 13 % l'Italie.

- Sulfate de magnésium : 43 982 t à 65 % vers l'Espagne, 16 % les Pays Bas, 12 % la Belgique.

- Magnésium : confidentielles.

**UTILISATIONS** :

**Consommations** : en 2014, la consommation mondiale est de 938 000 t. En milliers de t :

Chine	390	Canada	64
-------	-----	--------	----

Union européenne	164	Japon	40
Etats-Unis	87	Brésil	30

Source : Solikamsk Magnesium Works

### Secteurs d'utilisation :

	Monde 2014	Etats-Unis 2015		Monde 2014	Etats-Unis 2015
<a href="#">Alliages de Al</a>	38,9 %	34 %	Agent de réduction (Ti)	11,7 %	30 %
<a href="#">Alliages de Mg</a>	31,9 %	18 %	Nodulisation de la fonte	3,7 %	
Désulfuration de l'acier	13,6 %	12 %			

Source : USGS et Solikamsk Magnesium Works

- Alliages d'aluminium : voir le chapitre consacré à l'[aluminium](#). Le magnésium entre dans la composition des alliages (série 5000) utilisés pour élaborer les [boîtes-boisson](#). Aux États-Unis, une grande partie du magnésium utilisé est recyclé lors du recyclage de ces boîtes.

- Alliages de magnésium : utilisés en fonderie sous pression, à 70 % dans l'industrie automobile. Le plus utilisé G-A9Z1 (9 % [Al](#), 1 % [Zn](#), 0,5 % [Mn](#)). En moyenne, par véhicule il y a 2,3 kg de magnésium mais le poids peut atteindre 23 kg pour certains modèles. Utilisés également en aéronautique et, par exemple, pour fabriquer le corps de tailles crayons. Un cadre de bicyclette, en alliage de magnésium, ne pèse que 2,5 kg.

- Le magnésium est employé comme agent de réduction (par magnésiothermie) dans diverses métallurgie dont principalement celle du [titane](#), mais aussi celles du [zirconium](#), du [hafnium](#), du [béryllium](#), de l'[uranium](#) (voir ces éléments).

- En sidérurgie, le magnésium intervient dans la désulfuration des fontes de hauts fourneaux, en concurrence avec le carbure de calcium et la nodulisation des fontes : le magnésium favorise les structures à graphite nodulaire sphéroïdal. En moyenne, la consommation est de 50 g de Mg/t d'acier.

### Utilisations diverses :

- Chimie : fabrication d'organomagnésiens.

- Automobiles : le magnésium est utilisé afin de réduire le poids des véhicules et ainsi diminuer leur consommation en carburant. Il y a 14 kg de magnésium utilisé pour les VW Passat, Audi A4 et A6. Le concept car de Volvo utilise environ 50 kg de magnésium dans les roues, les châssis et les moteurs.

- Les coques des sièges, les accoudoirs et les tablettes des TGV à 2 étages sont, en 2<sup>ème</sup> classe, en magnésium. Le siège en magnésium pèse 14 kg au lieu de 26 kg lorsqu'il était en [aluminium](#).

- Le magnésium est utilisé pour fabriquer des cadres de téléphones portables.

- Débismuthage du [plomb](#).

- Pyrotechnie : Mg ou Al-Mg sous forme de poudres très fines.

- Piles et anodes sacrificielles : l'utilisation comme anode sacrificielle représente 1 010 t, en 2014, aux États-Unis.

- Les rubans de magnésium utilisés en chimie sont obtenus par fraisage de lingots ou tournage de billettes (cylindres de 30 à 50 cm de diamètre et plusieurs mètres de long).
- La réaction exothermique du magnésium avec l'[eau](#) est utilisée, en particulier par l'armée américaine, pour chauffer des rations de combat. En 15 minutes, une température de 60 °C est atteinte.