

## MANGANESE 2015

### MATIÈRES PREMIÈRES :

La teneur moyenne de l'écorce terrestre est de 0,1 %.

**Minerais** : pyrolusite (MnO<sub>2</sub>), psilomélane ([oxyde hydraté](#)), haussmannite (Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), rhodochrosite (MnCO<sub>3</sub>), rhodonite (MnSiO<sub>3</sub>).

Le manganèse est souvent associé à des [minerais de fer](#).

Les minerais dits métallurgiques qui ont des teneurs qui dépassent 35 % de Mn sont destinés à la fabrication d'alliages. Les minerais riches ont des teneurs supérieures à 44 % de Mn et qui peuvent atteindre 57 %. Les minerais ferrifères qui ont des teneurs comprises entre 10 et 35 % de Mn et les minerais manganifères qui sont des minerais de fer riches en Mn (5 à 10 %), sont employés pour ajuster la teneur en manganèse des fontes produites au haut fourneau.

**Productions minières** : en 2015, en milliers de t de Mn contenu dans les minerais. Monde : 15,3 millions de t de Mn contenues pour 45,9 millions de t de minerai.

Afrique du Sud	4 900	Inde	600
Australie	3 000	Kazakhstan	500
Chine	2 300	Ghana	400
Gabon	1 700	Ukraine	300
Brésil	1 100	Malaisie	200

Source : Eramet

Dans l'Union européenne, une seule mine est exploitée, souterrainement, à Tsarkva, en Bulgarie, par [Euromangan AD](#), avec, en 2013, une production de 45 000 t de minerai renfermant 12 600 t de Mn.

### Mines importantes :

- Groote Eylandt, dans le Territoire du Nord, en Australie : la mine de manganèse à haute teneur, la plus importante au monde, à ciel ouvert, est exploitée par GEMCO, joint venture entre [South32](#) (ex BHP Billiton) 60 % et [Anglo American](#) 40 %. En 2016, la capacité de production est de 4,8 millions de t de minerai. Les réserves prouvées et probables sont de 82 millions de t renfermant 44,8 % de Mn.

- En Afrique du Sud : dans le bassin du Kalahari avec les mines de Hotazel Manganese Mines (HMM), à ciel ouvert, de Mamatwan et souterraine de Wessels exploitées par [South32](#) (ex BHP Billiton), 44,4 % et [Anglo American](#) 29,6 %, les mines souterraines de Nchwaning et Gloria exploitées par [Assmang](#), une mine exploitée par [United Manganese of Kalahari](#) (détenu à 51 % par Majestic Silver Trading et 49 % par le groupe russe [Renova](#)).

En 2013-2014, de nouvelles mines sont entrées en exploitation : Thembeka Myedi exploitée souterrainement par [Kalagadi Manganese](#) détenu à 50 % par ArcelorMittal avec une production prévue de 3 millions de t/an, Tshipi Borwa, à ciel ouvert, exploitée par [Tshipi é Ntle Manganese Mining](#) détenue à 50,1 % par Ntsimbintle NewCo et 49,9 % par le groupe australien [Jupiter Mines](#) avec une production, en 2015-16, de 1,5 million de t et à terme une production prévue de 2,5 millions de t/an, Hotazel, à ciel ouvert, par [Kudumane Manganese Resources](#) détenu à 49 % par le groupe japonais [Asia Minerals](#) avec 1,3 million de t en 2015.

- Au Gabon, la mine de manganèse de Moanda, exploitée par Comilog (Compagnie minière de l'Ogooué), filiale à 63,7 % d'Eramet avec une participation de 28,7 % de l'État gabonais, produit un minerai de teneur élevée, comprise entre 45 et 50 % avec une moyenne de 46 %. Le minerai, extrait à ciel ouvert (la couche de stérile ne possède qu'une épaisseur de 4 à 5 m), à l'aide de pelles hydrauliques, est enrichi sur place dans une laverie, acheminé par bande transporteuse jusqu'à la gare de Moanda puis transporté sur 648 km par le Transgabonais (dont Comilog possède la concession pendant 30 ans depuis 2005) jusqu'au port d'Owendo, près de Libreville. La capacité de production est de 4 millions de t/an de minerai et la production, en 2015, de 3,95 millions de t. La France, les Etats-Unis et le Japon sont les principaux importateurs du manganèse gabonais dont la plus grande partie est utilisée sous forme de ferroalliage. Les réserves prouvées et probables sont de 36,9 millions de t de minerai à 44,7 % de Mn.

- Au Brésil, à Carajás (état de Pará), en Amazonie, Vale exploite à ciel ouvert la mine Azul avec une production, en 2015, de 1,7 million de t de minerai et des réserves prouvées et probables de 43,6 millions de t de minerai à 29,3 % de Mn.

### **Principaux producteurs :**

- South32 (ex BHP Billiton) : 4,624 millions de t de minerai en 2015 dont 2,942 millions de t en Australie et 1,682 million de t en Afrique du Sud. Possède 60 % de la société Samancor Manganese (avec 40 % pour Anglo American) qui détient, en Afrique du Sud, 74 % de la mine à ciel ouvert de Mamatwan et de la mine souterraine de Wessels dans le bassin du Kalahari. Possède, en Australie, 60 % (avec 40 % pour le groupe Anglo American) de la mine de Groote Eyland.

- Eramet (Gabon) : production de 3,95 millions tonnes de minerai, en 2015, dans la mine de Moanda.

- Anglo American : possède 40 % de Samancor Manganese, en Afrique du Sud et 40 % de la production de GEMCO qui exploite la mine de Groote Eyland. La production, en 2015, est de 3,11 millions de t de minerai.

- Assmang Ltd (Afrique du Sud) détenu à 50 % par African Rainbow Minerals (ARM) et 50 % par Assore : 3,1 millions de t de minerai, en 2015.

- Consolidated Minerals Ltd (Consmin) (Australie) : la production, en 2015, est 2,8 millions de t de minerai dont 1,285 millions de t dans la mine à ciel ouvert de Woodie Woodie située dans la région de Pilbara, en Australie de l'Ouest avec des réserves de 21,8 millions de t de minerai à 30,2 % de Mn et 1,478 million de t au Ghana avec 90 % de la société Ghana Manganese Company qui exploite un gisement de carbonate de manganèse dans la mine de Nsuta avec des réserves de 41,3 millions de t de minerai renfermant 28,2 % de Mn.

- Vale (Brésil) : 2,4 millions de t de minerai en 2015 avec la mine d'Azul, la mine à ciel ouvert de Morro da Mina dans l'état de Minas Gerais mise en sommeil avec des réserves de 8,6 millions de t de minerai renfermant 30,6 % de Mn et la mine souterraine d'Urucum, dans l'état du Mato Grosso do Sul avec une production de 0,7 million de t en 2015.

- Compania Minera Autlan S.A.B of C.V (Mexique), produit, dans l'état d'Hidalgo, du minerai dans les mines de Molango avec, en 2015, 464 000 t et Naopa avec 456 000 t et du dioxyde naturel de manganèse, dans la mine de Nonoalco, avec 17 000 t/an, destiné principalement aux piles.

**Commerce international** : en milliers de t de minerai, en 2015.

Principaux pays exportateurs : sur un total de 25 634.

Afrique du Sud	11 145	Brésil	1 898
Australie	6 196	Malaisie	800
Gabon	3 780	Ghana	595

Source : ITC

Les exportations d'Afrique du Sud sont destinées à 55 % à la Chine, 10 % l'Inde, 7 % le Japon, 4 % la Corée du Sud.

Principaux pays importateurs : sur un total de 26 245.

Chine	15 781	Japon	1 221
Inde	2 343	Russie	964
Corée du Sud	1 415	France	551
Norvège	1 243	Espagne	439

Source : ITC

Les importations chinoises proviennent à 41 % d'Afrique du Sud, 27 % d'Australie, 12 % du Gabon, 10 % du Brésil.

**Réserves** de minerais riches (Mn > 44 %) : en 2015, en milliers de t de Mn contenu. Monde : 620 millions de t.

Afrique du Sud	200 000	Brésil	50 000
Ukraine	140 000	Chine	44 000
Australie	91 000	Gabon	22 000
Inde	52 000	Ghana	13 000

Source : USGS

L'Afrique du Sud possède le gisement de manganèse le plus important au monde. Il est situé dans le désert du Kalahari, dans la région d'Hotazel, dans la province du Cap du Nord. Il couvre une superficie de plus de 1100 km<sup>2</sup>.

Nodules sous-marins : le manganèse avec des teneurs comprises entre 15 et 30 % est associé à du cuivre, du nickel et de cobalt. Les réserves sont estimées à 2,3 milliards de t de Mn contenu. Leur exploitation n'est pas actuellement rentable.

## **MÉTALLURGIE** :

Des minerais de manganèse sont directement utilisés en sidérurgie ou dans le cas de la pyrolusite dans les pires sèches (voir plus loin) mais, le plus souvent, les minerais sont réduits pour donner des alliages de manganèse. Le manganèse métallique, non allié, n'a pas d'utilisation finale.

Il existe deux méthodes pour obtenir des alliages de manganèse :

**Dans un haut fourneau** (30 % de la production)

La métallurgie du manganèse s'apparente à celle de la fonte, sauf que la réduction de MnO (oxyde stable au-dessus de 1200°C) par CO est plus difficile que celle de FeO. Contrairement à FeO, MnO

est réduit par le carbone. On considère que la réduction ne peut se produire qu'au-dessus de 1310°C et peut être représentée par une réaction voisine de :



En présence du fer présent dans le minerai, il se forme un carbure mixte fer - manganèse. Une partie du manganèse, sous forme de MnO, reste dans le laitier. Cette filière permet l'obtention :

- **du ferromanganèse carburé** : composition : Mn : 76-80 %, Fe : 12-15 %, C < 7,5 %, Si < 1,2 %.

Il est au manganèse ce que la fonte est à l'acier.

- **du ferromanganèse affiné (à moyen carbone)** : Mn 80 %, et contient de 1 à 1,5 % de C. Il est produit le plus souvent par affinage à l'oxygène du ferromanganèse carburé.

### Dans un four électrique (70 % de la production)

Le ferromanganèse est obtenu en chauffant un mélange d'oxyde de manganèse MnO<sub>2</sub> et d'oxyde de fer (III) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, avec du carbone. Cette filière permet l'obtention :

- **du ferromanganèse surraffiné (à bas carbone)** : Mn de 80 % à 90 %, C : ~ 0,1%. Il est produit à partir de silicomanganèse.

- **du silicomanganèse** : composition moyenne : Mn : 65-68 %, Si : 16-21 %, C : 1,5-2 %.

**Métal** : il est obtenu par électrolyse de solutions aqueuses de sulfate manganéux et sulfate d'ammonium qui donne du manganèse (dénommé EMM) à 99,98 % de teneur en manganèse, sous forme de fragments de cathodes appelés "flakes" ou électrothermiquement, à la limite d'affinage du ferromanganèse qui donne du manganèse à 99 % de teneur avec une teneur en carbone inférieure à 0,02 %. L'utilisation de l'aluminothermie pour l'obtention du métal est réalisée en Ukraine.

**Recyclage** : le manganèse contenu dans les ferrailles est recyclé avec ces dernières. Le dioxyde de manganèse des piles est également, en partie, recyclé.

## PRODUCTION D'ALLIAGES DE MANGANESE

Cette production est directement liée à celle de l'acier, la consommation moyenne de manganèse étant, en 2015, de 6 à 7 kg par tonne d'acier. A l'exception du Japon qui a développé l'introduction directe, en sidérurgie, de minerai de manganèse, l'apport de manganèse est réalisé, sous forme métallique, à l'aide d'alliages.

**Productions** : en 2013 ou 2015, en milliers de t d'alliages.

	Total, en 2015	Silicomanganèse, en 2013	Ferromanganèse carburé, en 2013	Ferromanganèse affiné, 2013
total	16 600	13 085	4 171	1 652
Chine	9 100	8 992	1 948	852
Inde	1 800	1 592	431	133
Ukraine	800	602	84	0
Corée du Sud	700	185	200	140
Afrique du Sud	600	134	457	102
Norvège	600	301	80	227
Japon	500	25	332	129

Sources : Eramet pour 2015 et RPA, "[Manganese, The Global Picture – A Socio Economic Assessment](#)" pour 2013

En 2015, sur une production mondiale d'alliages de manganèse de 16,6 millions de t, le silicomanganèse représente 63 % de la production, le ferromanganèse carburé 27 % et le ferromanganèse affinés 10 %. En 2012, la production de l'Union européenne est de 537 500 t dont 325 400 t de silicomanganèse, 190 200 t de ferromanganèse carburé et 21 800 t de ferromanganèse affiné.

La production de manganèse métal (EMM) est de l'ordre de 1,1 million de t/an. Cette production est très majoritairement réalisée en Chine, par électrolyse, avec, en 2015, une production de 1,07 million de t. Les autres pays ont seulement produit 39 000 t, en Afrique du Sud, avec [Manganese Metal Company](#), en Ukraine avec [Zaporozhye](#) et au Gabon avec Eramet.

Principaux pays importateurs, en 2013 :

- Etats-Unis : 336 000 t de silicomanganèse, 259 000 t de ferromanganèse carburé, 71 000 t de ferromanganèse affiné.
- Allemagne : 168 000 t de silicomanganèse, 109 000 t de ferromanganèse carburé, 57 000 t de ferromanganèse affiné.
- Japon : 283 000 t de silicomanganèse, 117 000 t de ferromanganèse carburé, 26 000 t de ferromanganèse affiné.

Principaux pays exportateurs, en 2013 :

- Inde : 770 000 t de silicomanganèse, 68 000 t de ferromanganèse carburé.
- Afrique du Sud : 84 000 t de silicomanganèse, 467 000 t de ferromanganèse carburé, 94 000 t de ferromanganèse affiné.
- Norvège : 185 000 t de silicomanganèse, 85 000 t de ferromanganèse carburé, 211 000 t de ferromanganèse affiné.

### **Producteurs :**

- [Eramet](#) a produit, en 2015, 703 000 t d'alliages de manganèse dont 219 000 t de silicomanganèse, 62 000 t de ferroalliages carburés et 422 000 t de ferroalliages affinés. La production a été réalisée dans des fours électriques. La production est effectuée en France à Dunkerque (70 000 t/an de silicomanganèse), en Norvège à Porsgrunn (165 000 t/an), Sauda (210 000 t/an) et Kvinesdal (165 000 t/an), aux Etats Unis à Marietta (120 000 t/an), en Chine à Guilin (165 000 t/an) et depuis 2015, au Gabon à Moanda avec 65 000 t/an de silicomanganèse et 20 000 t/an de manganèse métal.
- [South32](#) (ex BHP Billiton) : production, en 2015, de 413 000 t d'alliages de manganèse dont 246 000 t en Afrique du Sud et 167 000 t en Australie. Exploite à 60 % (avec 40 % pour Anglo American) l'usine Metalloys à Meyerton en Afrique du Sud et l'usine TEMCO à Bell Bay, en Tasmanie (Australie).
- [Glencore](#), après le rachat, en 2012, des activités européennes de Vale dans les alliages de manganèse, a produit, en 2015, 244 000 t d'alliages dont 146 000 t de ferromanganèse et 98 000 t de silicomanganèse, à Grande-Synthe, près de Dunkerque, en France et Mo I Rana, en Norvège.
- [Anglo American](#), a produit, en 2015, en Australie et Afrique du Sud, 213 600 t d'alliages dans les sociétés communes avec South32.

- Compania Minera Autlan S.A.B of C.V (Mexique) possède, en 2015, une capacité de production de 231 000 t/an d'alliages, dans 3 usines, Tamós avec 144 000 t/an, Teziutlán avec 54 000 t/an et Gómez Palacio avec 33 000 t/an. La production, en 2015, a été de 206 000 t d'alliages.

- Vale : production de 99 000 t d'alliages de manganèse, en 2015, avec une production de 92 000 t à Simoes Filho, dans l'état de Bahia, et dans l'état de Minas Gerais à Barbacena avec 6 000 t et à Ourao Preto avec 1 000 t.

- Manganese Metal Company (Afrique du Sud) produit du manganèse métal par voie électrolytique (MMC) à 99,9 % de pureté dans son usine de Nelspruit, avec une capacité de production est 27 000 tonnes par an.

## **SITUATION FRANÇAISE** en 2015 :

### **Minerai :**

- Pas de production minière, mais la société française Eramet, deuxième producteur mondial de minerai de manganèse avec sa filiale à 63,7 %, Comilog, exploite le gisement de Moanda au Gabon. La production est de 3,95 millions de tonnes de minerai.

- Importations de minerai : 550 736 t du Brésil à 58 %, d'Afrique du Sud à 27 %, du Gabon à 14 %.

- Exportations de minerai : 35 326 t vers l'Egypte à 57 %, l'Allemagne à 11 %, les Pays Bas à 10 %, la Norvège à 9 %.

**Alliages de manganèse et manganèse** : la France est un producteur de ferromanganèses et silicomanganèse.

- Productions, en 2013 : 64 900 t de silicomanganèse et 104 000 t de ferromanganèse carburé.

- Importations de silicomanganèse : 53 873 t d'Afrique du Sud à 36 %, de Norvège à 22 %, des Pays Bas à 17 %, d'Italie à 11 %.

- Importations de ferromanganèse carburé : 23 007 t de Norvège à 57 %, d'Afrique du Sud à 15 %, de Belgique à 14 %.

- Importations de ferromanganèse affiné : 2 370 t d'Afrique du Sud à 34 %, du Luxembourg à 18 %, d'Italie à 13 %, d'Espagne à 13 %.

- Importations de manganèse : 7 464 t de Chine à 67 %, d'Afrique du Sud à 9 %.

- Exportations de silicomanganèse : 128 846 t vers l'Allemagne à 53 %, la Pologne à 17 %, le Royaume Uni à 9 %.

- Exportations de ferromanganèse carburé : confidentielles.

- Exportations de ferromanganèse affiné : 1 092 t vers la Suisse à 46 %, le Venezuela à 29 %.

- Exportations de manganèse : 268 t vers l'Inde à 59 %, Hong-Kong à 17 %.

### **Oxydes de manganèse :**

- Importations : 12 913 t d'Afrique du Sud à 26 %, de Norvège à 19 %, de Corée du Sud à 12 %, des Pays Bas à 12 %.

- Exportations : 9 917 t vers la Belgique à 31 %, le Danemark à 25 %, l'Allemagne à 14 %, les Etats-Unis à 9 %.

### **Producteurs :**

## Eramet :

- Extrait, avec sa filiale Comilog, du minerai au Gabon dans la mine de Moanda. C'est le 2<sup>ème</sup> producteur mondial de minerai de haute teneur avec, en 2015, une production de 3,95 millions de tonnes.
- Produit des alliages de manganèse : c'est le 2<sup>ème</sup> producteur mondial d'alliages de manganèse pour la sidérurgie, voir ci-dessus. La production française est réalisée à Dunkerque avec 70 000 t/an de silicomanganèse.
- Produit des dérivés chimiques du manganèse (oxydes et sels de manganèse) : c'est le premier producteur mondial avec des usines aux Etats Unis à Baltimore dans le Maryland et New Johnsonville dans le Tennessee, au Mexique à Tampico, en Belgique à Tertre, en Chine à Chongzuo.
- Recycle, avec sa filiale Valdi, le dioxyde de manganèse de piles dans la fabrication de ferroalliages, en France, à Feurs (42).

Glencore, exploite à Grande-Synthe, près de Dunkerque, une usine de fabrication d'alliages de manganèse à l'aide du plus grand four de ferro-alliages de manganèse dans le monde d'une puissance de 102 MVA. Les capacités de production de ferroalliages de manganèse sont de 140 000 t/an.

## UTILISATIONS :

### **Consommations :**

Sous forme de minerai : dans le monde, en 2013, 18,2 millions de tonnes de Mn contenu dans des minerais, soit le 4<sup>ème</sup> métal le plus utilisé après le fer, l'aluminium et le cuivre, devant le zinc. Par pays :

Chine	10 830	Russie	477
Inde	1 346	Japon	451
Ukraine	752	Norvège	442
Corée du Sud	619		

Source : RPA, "[Manganese, The Global Picture – A Socio Economic Assessment](#)"

En 2012, la consommation de l'Union européenne, en Mn contenu dans les minerais, est de 462 200 t.

Sous forme d'alliages : en 2013, la consommation a été de 19,3 millions de t d'alliages dont 13,3 millions de t de silicomanganèse, 4,4 millions de t de ferromanganèse carburé et 1,7 million de t de ferromanganèse affiné. Par pays et type d'alliage, en milliers de t de Mn contenu :

	Total	Silicomanganèse	Ferromanganèse carburé	Ferromanganèse affiné
Total	19 314	13 262	4 365	1 687
Chine	11 813	8 988	1 973	852
Inde	1 151	794	304	53
Japon	903	310	456	137
Etats-Unis	783	395	254	134

Source : RPA, "[Manganese, The Global Picture – A Socio Economic Assessment](#)"

En 2012, la consommation de l'Union européenne est de 1,488 million de t d'alliages dont 872 100 t de silicomanganèse, 442 600 t de ferromanganèse carburé et 173 400 t de ferromanganèse affiné.

### Secteurs d'utilisation : en 2014.

Sidérurgie	91 %	Batteries et piles	3 %
Métaux non ferreux	4 %		

Source : Roskill

**Sidérurgie** : le manganèse, introduit à l'étape du haut fourneau, est pour sa plus grande partie oxydé et ne se retrouve pas dans la fonte. Le manganèse doit être ajouté en aciérie, lors de l'affinage de la fonte. Il a longtemps joué un rôle essentiel de désoxydant (en complément du [silicium](#)) et de désulfurant. Ces rôles sont actuellement réduits (30 % des ajouts de Mn) au bénéfice de celui d'élément d'alliage (70 % des ajouts de Mn). Le manganèse abaisse la température de transformation de l'austénite en ferrite et permet ainsi d'éviter l'accumulation de cémentite aux joints de grains. Il joue aussi sur la structure de la perlite, en apportant de la dureté à l'acier. Ainsi, la présence de manganèse dans les gisements de fer exploités par Sparte dans la Grèce ancienne est l'une des causes de la supériorité de son armement.

La majeure partie des aciers contient de 0,15 à 0,8 % de Mn, soit une consommation moyenne de 11,9 kg/t d'acier. Le manganèse contenu dans l'acier final ne représente qu'environ 1/3 du manganèse consommé : les 2/3 du manganèse introduit sont perdus par oxydation et se retrouvent, principalement, dans les scories.

Les [aciers inoxydables](#) contiennent environ 1 % de Mn (dans certains cas jusqu'à 4 et même 16 %). Les aciers inoxydables de la série 200, contenant moins de nickel, sont de plus en plus employés en remplacement des aciers des séries 300 et 400. Leur teneur en manganèse est de 9 % au lieu d'environ 1 % pour ceux des séries 300 et 400.

Les aciers laminables à haute résistance mécanique contiennent de 1 à 1,8 % de Mn, pour fabriquer des oléoducs, des coques de navire... Les aciers à haute limite élastique, de 0,7 à 1,6 % de Mn.

L'acier Hadfield, non magnétique et très résistant à l'abrasion, contient 12 à 14 % de Mn et 1,25 % de C : il est irremplaçable pour les aiguillages de voies ferrées.

L'allègement des véhicules automobiles est réalisé, en partie, en faisant appel à des aciers à "haute résistance" qui contiennent environ 0,9 % de Mn au lieu des 0,4 % des aciers traditionnels employés dans ce secteur d'application.

**Autres utilisations** : métallurgies non ferreuses, piles, catalyseurs, céramiques, pharmacie...

- [Alliages d'aluminium](#) : la présence de manganèse renforce leur résistance à la corrosion. Ces alliages sont employés, par exemple, dans la fabrication de boîtes-boisson. Ce sont les alliages de la série 3000 avec de 0,8 à 1,5 % de Mn.

- [Alliages de cuivre](#) : Mn est utilisé pour désoxyder et améliorer leurs propriétés mécaniques et de moulage. L'alliage Cu : 84 %, Mn : 12 %, [Ni](#) : 4 % a une résistivité invariante en fonction de la température.

- Fongicide sous forme de manganèse-éthylène bisdithiocarbamate (Mn-EBDC), élément actif principal du maneb, 200 000 tonnes de maneb sont consommées par an dans le monde.

- [Piles sèches](#) : 2<sup>ème</sup> débouché important du manganèse (sous forme d'oxyde). Dans les piles salines ou alcalines, MnO<sub>2</sub> est utilisé au pôle + en présence de carbone ([graphite naturel](#) ou [noir d'acétylène](#)) qui augmente la conductibilité électrique. Il joue un rôle de dépolarisant car, étant plus



oxydant que  $\text{H}_3\text{O}^+$ , il évite la formation, par électrolyse, de [H<sub>2</sub>](#) qui formerait autour de l'électrode + une couche isolante et ainsi polariserait et arrêterait la pile.

Le dioxyde de manganèse utilisé doit être actif électrochimiquement. Pour cela, il doit être constitué de  $\text{MnO}_2$  de structure alpha ou gamma, à des teneurs de 75-95 %, et contenir des ions  $\text{Mn}^{4+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$ , des groupements acides et de l'eau.  $\text{MnO}_2$  actif peut être naturel (dioxyde NMD extrait au Gabon, au Ghana, au Brésil, en Chine, au Mexique, en Inde) ou artificiel (obtenu par synthèse chimique (dioxyde CMD) ou électrolytique (dioxyde EMD destiné aux piles alcalines)). Le dioxyde naturel le plus courant est la pyrolusite (structure bêta) qui n'est pas active mais peut être rendue active (dioxyde AMD).

Dans le cas des piles salines cylindriques, l'axe de la pile est constitué d'un crayon de graphite plongeant dans l'aggloméré  $\text{MnO}_2$ -carbone. Le pôle -, en [zinc](#), constitue le boîtier.

En France, la consommation d'[énergie](#) provenant de piles est de 2 à 3  $10^6$  kWh (les centrales électriques thermiques et hydrauliques fournissent près de 5  $10^{11}$  kWh).

Les capacités mondiales de production d'oxyde EMD sont, en 2015, de 434 900 t/an avec, par pays :

Chine	287 400 t/an	Espagne	11 000 t/an
Etats-Unis	70 500 t/an	Colombie	6 000 t/an
Japon	33 000 t/an	Inde	1 000 t/an
Grèce	26 000 t/an		

Source : Li Tongqing, 6<sup>th</sup> International Forum of Mn Electrolytic Products, mars 2016, Nanning, China

Les exportations, en 2015, de la Chine sont de 45 063 t, celle du Japon de 14 092 t, de Grèce de 21 457 t, d'Espagne de 10 069 t.

Les principaux pays importateurs sont la Belgique avec 18 611 t, l'Indonésie avec 17 500 t et l'Allemagne avec 16 137 t.

- [Élaboration du permanganate de potassium](#) : le procédé électrochimique a supplanté le procédé chimique (oxydation du manganate par le [chlore](#)).

1<sup>ère</sup> étape : oxydation de la pyrolusite, par le [dioxygène](#) de l'air, en présence de [potasse](#) :



2<sup>ème</sup> étape : électrolyse de la solution de manganate (200 g/L), en présence de [KOH](#), à 60°C. Les ions  $\text{MnO}_4^{2-}$  sont oxydés, à l'anode, en ions  $\text{MnO}_4^-$ . Les anodes sont en [acier](#) recouvert de [Ni](#). Les cathodes, en acier, sont gainées d'un revêtement poreux (en [PVC](#), par exemple). La consommation est de 0,8 à 0,9 kWh/kg. Le permanganate est obtenu par cristallisation après refroidissement de la solution. La production mondiale est d'environ 40 000 t/an, la Chine étant un important exportateur. Le permanganate de potassium est un oxydant puissant, un bactéricide et un algicide. Il est utilisé dans la [purification de l'eau potable](#), le [traitement des eaux usées](#), la désodorisation des rejets d'usines ([peinture](#), conditionnement du poisson...).