

## VANADIUM 2012

### MATIÈRES PREMIÈRES :

La teneur en vanadium (V) de l'écorce terrestre est de 0,016 %.

Le vanadium, est le plus souvent récupéré à partir de titanomagnétites de vanadium qui peuvent renfermer jusqu'à 3 % de  $V_2O_5$ . Dans les titanomagnétites, le titane se substitue au fer de la magnétite pour donner un oxyde mixte de formule  $Fe_{3-x}Ti_xO_4$ . Par exemple, le gisement de Pipestone Lake, dans la Province du Manitoba, au Canada, contient, 57,5 % de Fe, 0,66 % de V et 16,6 % de  $TiO_2$ . Le gisement Windamurra, en Australie, renferme 0,47 % de  $V_2O_5$ , celui de Mapochs, en Afrique du Sud, 1,4 % de  $V_2O_5$ .

Lorsque la teneur en oxyde de vanadium est supérieure à 1-1,5 %, le minerai peut être traité directement pour le récupérer, cela est le cas en Afrique du Sud et en Chine et donne 26 % de la production mondiale de vanadium. Pour des teneurs inférieures, l'oxyde de vanadium est extrait du laitier obtenu lors de l'utilisation des minerais de titanomagnétite de vanadium pour élaborer de l'acier, cela est le cas, en Chine, en Afrique du Sud et en Russie et donne 59 % de la production mondiale de vanadium.

Du vanadium est également présent dans du charbon, du pétrole, des sables bitumineux et est récupéré dans les cendres après combustion du charbon ou dans les résidus pétroliers, lors de son raffinage. On estime que cette source représente, avec les catalyseurs usés, 15 % de la production de vanadium.

Du vanadium est aussi présent dans des minerais d'uranium (carnotite) extraits aux Etats-Unis qui contiennent de 1 à 5 % de  $V_2O_5$ , des minerais d'alumine (roscoelite) extraits en Inde, des sables riches en oxyde de fer (80 % de  $Fe_3O_4$ , 8 % de  $TiO_2$ , 0,6 % de  $V_2O_5$ ), en Nouvelle Zélande. Par exemple, la société Denison Mines Corp. a extrait, en 2011, 590 t de  $V_2O_5$  lors du traitement de minerais d'uranium dans l'usine de White Mesa, dans l'Utah, aux Etats-Unis. Mi 2012, cette activité a été vendue à Energy Fuels. La production de 0,45 kg de  $U_3O_8$  génère, pour ce minerai, 1,8 kg de V dans  $V_2O_5$ .

### PRODUCTIONS : en 2012, en t.

Les titanomagnétites riches en vanadium, par exemple en Afrique du Sud, sont calcinées, en présence de carbonate, chlorure ou sulfate de sodium, dans un four, à 850°C. Il se forme du vanadate de sodium ( $NaVO_3$ ) qui est extrait par lixiviation à l'eau, puis l'ajout d'ammoniac permet la précipitation du vanadate d'ammonium. La calcination de ce dernier dans des conditions déterminées donne l'oxyde désiré.

Les titanomagnétites plus pauvres en vanadium sont soit traitées dans un haut fourneau puis un convertisseur, en Chine ou en Russie soit en 3 étapes de pré-réduction puis de réduction dans un four électrique et enfin d'oxydation, en Afrique du Sud.

Le traitement dans un haut fourneau donne d'une part un laitier riche en dioxyde de titane d'où ce dernier sera extrait (voir le chapitre dioxyde de titane) et d'autre part de la fonte contenant le vanadium. Ce dernier sera récupéré sous forme de  $V_2O_5$  dans un convertisseur, lors de l'élaboration de l'acier à partir de la fonte et du soufflage du dioxygène destiné à diminuer la teneur en carbone.

En Afrique du Sud, le minerai extrait par Evraz de la mine de Mopachs est pré-réduit, en présence de charbon en poudre, dans un four tournant vers 1140°C puis, réduit, vers 1350°C dans un four électrique à électrode immergée dans lequel a lieu la séparation entre un laitier riche en dioxyde de titane et une fonte contenant le vanadium, avec une teneur de 1,28 % de V. Celle-ci subit ensuite, dans une poche de coulée, un soufflage de dioxygène qui permet de recueillir dans un nouveau laitier, le vanadium sous forme d'oxyde, avec une teneur comprise entre 12 et 16 % de V. Les sables riches en magnétite de Nouvelle Zélande subissent un traitement proche.

Les laitiers obtenus comme coproduits des opérations sidérurgiques sont ensuite traités comme les minerais riches en vanadium.

Le vanadium contenu dans les pétroles lourds se retrouve, dans le coke produit lors du procédé flexicoke de transformation des pétroles lourds en produits plus légers. Le vanadium renfermé dans le coke est extrait par de l'acide sulfurique puis précipité par de l'ammoniac, en vanadate d'ammonium. Le principe d'extraction est le même pour le vanadium contenu dans les cendres des centrales thermiques fonctionnant au charbon.

Les oxydes de vanadium sont principalement utilisés pour produire, par aluminothermie ou par réduction au four électrique du ferrovanadium destiné à la fabrication d'acier ou des alliages vanadium-aluminium destinés à la métallurgie du titane.

Le vanadate d'ammonium ou les oxydes purifiés sont à la base de l'élaboration des divers composés chimiques du vanadium.

**Productions**, en 2012 : monde : 63 000 t.

Chine	23 000 t	Kazakhstan	1 000 t
Afrique du Sud	22 000 t	États-Unis	270 t
Russie	16 000 t		

Source : USGS

En 2013, le minerai de la mine de Windimurra, en Australie, propriété de Atlantic, a commencé à être exploité avec une production prévue de 6 300 t de  $V_2O_5$ /an. Les réserves sont, en juin 2012, de 159,9 millions de t contenant 0,47 % de  $V_2O_5$ . La mine, à ciel ouvert, est située en Australie Occidentale, à 660 km au nord de Perth. Le minerai contient outre le vanadium, 55 % de fer et 14 % de TiO<sub>2</sub>. Par ailleurs, la production prévue de minerai de fer, destiné à l'exportation, est de 1 million de t/an. L'oxyde de vanadium est transformé sur place en ferrovanadium contenant 80,3 % de V.

**Réserves minières** : en 2012, en milliers de t. Monde : 14 millions de t.

Chine	5 100	Afrique du Sud	3 500
Russie	5 000	États-Unis	45

Source : USGS

En Chine, 83,2 % des réserves chinoises de titanomagnétites de vanadium sont situées dans la province du Sichuan.

**Principaux producteurs** :

Evraz, groupe russe, est de loin le principal producteur mondial, en produisant de l'oxyde de vanadium et du ferrovanadium, en Russie, en Afrique du Sud, en République tchèque et aux États-Unis. En 2012, la production de vanadium contenu dans des laitiers a été de 14 856 t, en Russie et 6

205 t, en Afrique du Sud. Le vanadium extrait de ces laitiers a donné une production de 14 381 t contenues dans du ferrovanadium, 2 723 t dans du vanadium nitré, 1 330 t dans des oxydes et composés chimiques.

En Russie, Evraz exploite, à Kachkanarsky, avec 3 mines à ciel ouvert, le dépôt de titanomagnétite de vanadium de Gusevogorskoye, qui possède des réserves de 1,1 milliard de t de minerai contenant 16 % de fer, 5 % de  $TiO_2$  et du vanadium, les laitiers sont produits par les installations sidérurgiques de Nizhny Tagil, dans la région de Sverdlovsk, et transformés, en ferrovanadium et oxyde de vanadium, à Tula.

En Afrique du Sud, Evraz exploite, à 74 %, la mine de Mapochs, à Roosenekul dans la province de Limpopo, produit des laitiers, 43 000 t, en 2012, contenant 20 % de  $V_2O_5$ , à eMalahleni dans la province de Mpumalanga, et des oxydes de vanadium et du vanadium nitré, à Brits dans la province du Nord-Ouest.

En République tchèque, à Mnisek pod Brdy, Evraz a produit, en 2012, 4 455 t de vanadium contenu dans du ferrovanadium à partir d'oxyde produit à Tula.

Aux Etats-Unis, la production d'oxyde de haute pureté et de divers composés chimiques du vanadium est effectuée à Hot Springs, dans l'Arizona, par Stratco filiale à 78,76 %.

Les principaux groupes chinois sont : Pangang Group Steel Vanadium & Titanium, dans la province du Sichuan, et Chengde XinXin Vanadium & Titanium, dans la province de Hebei.

GlencoreXstrata, exploite à 74 %, la mine de Rhovan et a produit, à Brits, en 2012, 9 639 t d'oxyde et 4 144 t de ferrovanadium.

Vanchem, en Afrique du Sud, filiale de Duferco, possède 35 % de la mine de Mopachs et a produit, en 2012, 4 516 t de vanadium contenu dans du ferrovanadium et des composés chimiques du vanadium.

China Vanadium Titano-Magnetite Mining Company, exploite dans la province du Sichuan, en Chine, 4 mines : Baicao, Xiushuihe, Yangqueqing et Cizhuqing. Les réserves prouvées et probables de la mine de Baicao sont de 25,6 millions de t de minerai contenant 25,6 % de Fe, 10,31 % de  $TiO_2$  et 0,22 % de  $V_2O_5$ . Celles de la mine de Xiushuihe sont de 60,4 millions de t contenant 24,3 % de Fe, 9,15 % de  $TiO_2$  et 0,21 % de  $V_2O_5$ .

### **Commerce international :**

Il a porté, en 2011, sur 41 028 t de ferrovanadium et 31 219 t d'oxyde.

### **RECYCLAGE :**

Le vanadium contenu, sous faible teneur, dans les aciers n'est pas récupéré. Par contre celui contenu dans les aciers rapides et les superalliages est récupéré et recyclé. Il en est de même pour l'oxyde de vanadium des catalyseurs usés. La récupération des catalyseurs usés permet le recyclage de 3 000 t/an de vanadium.

### **SITUATION FRANÇAISE :** en 2012

Pas de production.

#### Importations :

- Oxyde : 428 t de Belgique à 39 %, de Thaïlande à 26 %, de Chine à 14 %, de Taïwan à 9 %.
- Ferrovandium : 810 t d'Afrique du Sud à 39 % de République tchèque à 28 %.
- Métal brut : 119 t d'Afrique du Sud à 56 %, d'Allemagne à 34 %, du Royaume Uni à 9 %.

#### Exportations :

- Ferrovandium : 31 t vers l'Allemagne pour 32 %, l'Italie pour 29 %, le Canada pour 26 %.
- Métal brut : 88 t vers l'Afrique du Sud pour 83 %.

#### UTILISATIONS :

**Consommations**, en 2012. Monde : 78 000 t, Union européenne : 19 000 t.

Chine	26 500 t	États-Unis	10 900 t
Autres pays d'Asie	12 500 t	Europe de l'Est	7 000 t

Source : Roskill

**Secteurs d'utilisation** : dans le monde, en 2012.

Aciers	92 %	Chimie	3 %
Alliages de titane	4 %	Batteries	1 %

Source : Evraz

Le vanadium est introduit dans les aciers principalement, à 85 %, sous forme de ferrovandium. Celui-ci renferme 40, 60 ou 80 % de vanadium. Ceux contenant 60 et 80 % de vanadium sont élaborés par aluminothermie ou réduction dans un four électrique. Ceux à 40 % de vanadium sont préparés par réduction à l'aide de silicium.

En moyenne, dans le monde, la teneur des aciers en vanadium est de 0,053 kg de V/t d'acier, avec 0,087 kg/t en Amérique du Nord, 0,077 kg/t en Europe, 0,070 kg/t au Japon, 0,039 kg/t en Chine. Le vanadium, en formant des carbures et des nitrures, sous faible teneur, d'environ 0,25 %, comme le niobium ou le titane, permet d'obtenir des aciers micro-alliés, à haute résistance (aciers HSLA) qui représentent 12 % de la production mondiale d'aciers. Le rôle du vanadium est d'augmenter la limite élastique et la résistance à la traction, propriétés importantes pour les aciers destinés à la construction et en particulier les ronds à béton.

Les aciers rapides ont des teneurs en vanadium comprises entre 1 et 5 %.

Le vanadium entre dans la composition du principal alliage de titane, TA6V, contenant 90 % de Ti, 6 % de Al et 4 % de V, utilisé dans l'aéronautique ainsi que pour des implants dentaires.

L'oxyde de vanadium,  $V_2O_5$ , est utilisé comme catalyseur dans le procédé de contact de fabrication de l'acide sulfurique. Il catalyse la réaction d'oxydation du dioxyde de soufre, en trioxyde. Il catalyse également la formation d'anhydride maléique, par oxydation à l'air du butane.

Le vanadium est utilisé dans des batteries stationnaires avec une consommation mondiale, en 2012, de 1 100 t. Ces batteries redox au vanadium qui possèdent une capacité importante peuvent répondre à des pics de consommation ou au lissage de la production de sources intermittentes telles que le photovoltaïque ou l'éolien. La possibilité pour le vanadium de présenter, en solution, 4 différents degrés d'oxydation (+V, +IV, +III, +II) est mise à profit. La demi-cellule positive contient,

en solution dans l'acide sulfurique, des ions  $VO^{2+}$  qui lors de la charge donnent des ions  $VO_2^+$ , la demi-cellule négative renfermant des ions  $V^{3+}$  donnant des ions  $V^{2+}$ , le séparateur des cellules est une membrane perméable aux protons. La tension entre les 2 demi-cellules est de 1,41 V à 25°C.

Il est également utilisé dans des batteries au lithium avec, en 2012, une consommation mondiale de 200 t. La technologie lithium-ions utilise des cathodes en oxyde de lithium-cobalt,  $LiCoO_2$  qui peuvent être remplacées par des cathodes en phosphate de lithium-vanadium,  $Li_3V_2(PO_4)_3$ , associé ou non à du phosphate de lithium-fer,  $LiFePO_4$ . Ces batteries sont destinées à alimenter les véhicules électriques. Une technologie concurrente lithium-métal-polymère, utilise des cathodes en oxyde de vanadium, carbone et polymère. Cette technologie est utilisée par le groupe Bolloré pour alimenter les véhicules Blue Car d'Autolib, à Paris. Elle présente l'avantage de ne comporter que des composants solides évitant les risques d'explosion mais doit fonctionner à 85°C pour atteindre un fonctionnement optimal.

#### Utilisations diverses :

Colore en jaune les céramiques et les verres.