

TITANE 2015

MATIÈRES PREMIÈRES :

Voir le chapitre consacré au [dioxyde de titane](#).

Seulement 6 % de la production minière de titane sert à la fabrication de titane métallique.

L'essentiel de la production est destiné à l'élaboration du dioxyde de titane, pigment blanc le plus utilisé.

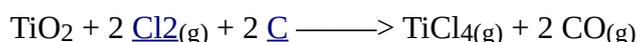
La matière première utilisée pour produire l'éponge de titane peut être du rutile naturel à une teneur de 94 à 96 % de TiO₂, du rutile synthétique ou du slag obtenus à partir d'ilménite (voir le chapitre [dioxyde de titane](#)).

MÉTALLURGIE :

Elle est réalisée en 2 étapes. L'obtention d'éponge de titane est suivie de la production de demi-produits sous forme de lingots.

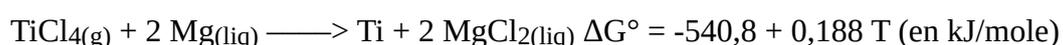
Élaboration de l'éponge de titane, en 2 stades :

- Carbochloration : effectuée sous vide ou sous atmosphère inerte vers 800°C, en lit fluidisé, voir le chapitre consacré au [dioxyde de titane](#).



TiCl₄ obtenu gazeux (t_{ébul} = 136°C) est condensé sous forme liquide et purifié par distillation fractionnée.

- Réduction et purification : par [Mg](#) (procédé Kroll). Ce procédé présente l'inconvénient de fonctionner de façon discontinue. La difficulté de cette métallurgie réside dans la nécessité d'opérer sous vide (ou sous [argon](#)), à haute température.



La réduction et la purification sont effectuées dans deux réacteurs (de type U inversé) qui fonctionnent alternativement en mode réduction et en mode distillation. Lors de la réduction réalisée vers 800°C, le titane solide, plus léger, surnage sur le chlorure liquide. Après élimination du chlorure de magnésium, par siphonnage, la distillation destinée à éliminer Mg et MgCl₂ restants est réalisée dans le même réacteur. Elle est effectuée vers 900-950°C, sous 0,2 Pa. **Parallèlement l'autre réacteur sert à condenser le magnésium et servira pour la prochaine réduction.**

La purification peut également être réalisée par lavage acide. Après purification le titane se présente sous forme d'un solide poreux (à 99,6 % de Ti) d'où son nom d'éponge de titane.

La société [Osaka Titanium Technologies Co.](#), avec le chlorure de magnésium généré par le procédé Kroll, produit par électrolyse d'une part le dichlore nécessaire à la carbochloration du dioxyde de titane et d'autre part le magnésium utilisé dans le procédé Kroll.

La consommation d'énergie est de 44 kWh/kg d'éponge.

Aux Etats Unis, les sociétés Titanium Metals Corp. (Timet) dans son usine de Henderson dans le Nevada et ATI dans son usine de Rowley dans l'Utah utilisent le procédé Kroll. La réduction par le sodium (procédé Hunter) est employée aux États-Unis par la société Honeywell Electronic Materials Inc., dans son usine de Salt Lake City dans l'Utah.

PRODUCTIONS d'éponge de titane en 2015, en t et () capacités annuelles. Monde : 178 700 (293 700).

Chine	62 000 (117 000)	Etats Unis	18 500 (23 600)
Russie	39 500 (46 500)	Kazakhstan	9 000 (26 000)
Japon	42 000 (68 800)	Ukraine	7 700 (12 000)

Source : UKTMP, Titanium 2016

En 2014, les exportations de la Chine ont été de 5 691 t à 38 % vers la Corée du Sud, 28 % vers les Etats-Unis, 7 % vers l'Espagne, celles de la Russie de 4 230 t, celles du Japon ont été de 16 099 t à 79 % vers les Etats-Unis et à 16 % vers l'Union européenne, celles du Kazakhstan de 14 660 t, celles de l'Ukraine de 6 600 t.

Les importations des Etats-Unis ont été de 17 500 t d'éponge de titane, à 76 % du Japon, 11 % d'Ukraine, 9 % de Chine, celles de l'Union européenne de 23 615 t à 30 % des Etats-Unis, 19 % de Russie, 17 % du Kazakhstan, 16 % du Japon, 12 % d'Ukraine, 7 % de Chine.

Producteurs d'éponge : en 2014 en % de la production mondiale.

Sociétés chinoises	30 %	Timet (Etats-Unis)	7 %
VSMPO (Russie)	23 %	UKTMP (Kazakhstan)	5 %
Osaka (Japon)	13 %	ZMTC (Ukraine)	4 %
Toho (Japon)	9 %	Solikamsk (Russie)	1 %

Source : Roskill

- En Russie, la production est principalement assurée par VSMPO-AVISMA dans son usine de Berezniki, dans la région de Perm avec une capacité de production de 44 000 t/an et une production, en 2015, de 37 839 t. la capacité de production de Solikamsk Magnesium Works (SMW) est de 2 500 t/an avec, en 2015, une production de 2 200 t..

- Au Japon, par les entreprises Osaka Titanium Technologies Co., à Amagasaki, province de Hyogo, avec une capacité de 44 000 t/an et Toho Titanium Co., à Wakamatsu, province de Fukuoka, avec une capacité de 25 200 t/an.

- Aux Etats Unis, par les entreprises Titanium Metals Corp. (Timet) avec une capacité de 12 600 t/an dans son usine de Henderson dans le Nevada, ATI (Allegheny Technologies Incorporated) avec une capacité de production de 10 900 t/an dans son usine de Rowley dans l'Utah et Honeywell Electronic Materials Inc. dans son usine de Salt Lake City dans l'Utah, avec une capacité de production de 500 t/an.

- Au Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk Titanium-Magnesium Plant (UKTMP) est le seul producteur d'éponge de titane. Depuis 2011, ce groupe produit des lingots et s'est allié avec la société Aubert & Duval, filiale du groupe Eramet pour mettre en forme, par forgeage, au sein de la société UKAD, à Saint Georges de Mons (63), les lingots produits au Kazakhstan.

- En Ukraine, par la société [Zaporozhye Titanium and Magnesium Combine \(ZTMC\)](#) à Zaporojie.

Situation française : en 2015.

- Plus de production d'éponge de titane depuis 1962.

- Importations de titane brut et de poudre : 7 260 t du Kazakhstan à 41 %, des Etats-Unis à 24 %, du Japon à 13 %, du Royaume Uni à 9 %. [Le Kazakhstan fournit des lingots à la société UKAD, les Etats-Unis fournissent des lingots fondus une fois et le Japon principalement de l'éponge de titane.](#)

- Exportations de titane brut et de poudre : 401 t vers l'Italie à 28 %, le Brésil à 19 %, la Finlande à 18 %, l'Allemagne à 10 %.

Utilisations : l'éponge de titane est utilisée à 85 % pour l'élaboration du titane métal. L'éponge de titane est également utilisée en [sidérurgie](#).

Consommations d'éponge de titane : en 2015. Monde : 197 067 t.

Chine	58 567 t	Europe	26 500 t
Etats-Unis	45 500 t	Japon	24 500 t
Russie	42 000 t		

Source : Antaike, Titanium 2016

Ferrotitanes : ils contiennent de 25 à 70 % de Ti, de 4 à 10 % de [Al](#). [Ils sont utilisés comme élément d'alliage des aciers à construction et dans les aciers inoxydables, où ils stabilisent des carbures.](#) Les ferrotitanes sont fabriqués à partir d'éponge de titane ou à partir des déchets non recyclés, produits par la mise en forme du titane métal. Ils sont également fabriqués, par aluminothermie, à partir de minerai de titane. La consommation mondiale de titane, sous forme de ferrotitane, en sidérurgie, est, en 2014, de 73 684 t.

Situation française : en 2015.

- Pas de production.

- Importations de ferrotitane et ferrosilicotitane : 4 552 t d'Estonie à 54 %, du Royaume Uni à 22 %, de Russie à 19 %.

- Exportations de ferrotitane et ferrosilicotitane : 1 593 t vers la Belgique à 47 %, le Luxembourg à 8 %, l'Italie à 8 %, la Suède à 8 %.

Élaboration des lingots de titane : l'éponge de titane est chimiquement pure, à 99,6 %, mais ne possède pas une compacité et des propriétés mécaniques intéressantes. L'élaboration des lingots est effectuée sous vide à haute température. Au cours de cette opération, divers ajouts permettent de fixer la composition des alliages. Deux techniques sont utilisées, avec des :

- Fours à électrode consommable : l'éponge, le titane recyclé et les éléments d'alliage sont compactés sous forme de comprimés assemblés ensuite sous forme d'électrode par soudure. Cette électrode est introduite dans un four électrique à arc sous vide. L'arc a lieu entre l'électrode et un creuset en cuivre refroidi à l'eau. L'électrode fond et le lingot se solidifie dans le creuset.

- Fours à électrode non consommable : le bain de fusion est alimenté directement par le mélange : éponge, chutes recyclées, éléments d'alliage. L'arc a lieu entre une électrode fixe en [cuivre](#) et le creuset contenant le bain liquide de titane. [Cette technique n'est plus utilisée en France.](#)

Quelle que soit la technique utilisée, une 2^{ème} fusion est indispensable. Celle-ci a lieu dans un four à l'électrode consommable, cette dernière étant constituée par le lingot provenant de la 1^{ère} fusion ou [par bombardement électronique](#).

La consommation totale d'énergie pour produire Ti est de 30 kWh/kg. Les lingots obtenus ont, en général, une masse de 2 à 6 t, avec un diamètre de 830 mm, mais ils peuvent atteindre 18 t, avec un diamètre de 1,2 m. La France produit des lingots d'un peu moins de 6 t.

Productions : en 2012, la production mondiale est de 192 000 t de lingots de titane. En 2014, la production des Etats-Unis est de 55 800 t pour une capacité de production de 118 000 t. En 2015, la capacité de production russe est de 75 000 t/an dont 67 000 t/an par VSMPO et une production par VSMPO de 63 732 t en 2015. En 2014, la production de l'Union européenne a été de 28 000 t dont 10 687 t au Royaume Uni, 7 861 t en France, 2 933 t en Allemagne. En 2014, la production japonaise est de 20 366 t, celle de la Russie de 7 070 t.

Situation française : en 2015.

En 2014, la production française de lingots a été de 7 861 t, par Cezus, filiale d'Areva, pour Timet Savoie.

Cezus, filiale d'Areva, n°1 mondial de la production de zirconium, produit des lingots de titane à partir de chutes de fabrication dans son usine d'Ugine (73). La production est sous traitée pour la société Timet Savoie, filiale du groupe américain Titanium Metals Corp. (Timet). Timet Savoie est détenue à 70 % par Timet et 30 % par Areva.

- Importations de barres, profilés et fils : 5 589 t des Etats Unis à 39 %, du Royaume Uni à 13 %, d'Allemagne à 9 %, de Russie à 8 %.
- Importations de tôles, bandes et feuilles : 2 853 t des Etats-Unis à 27 %, du Japon à 27 %, du Royaume Uni à 16 %, d'Allemagne à 14 %.
- Importations de tubes et tuyaux : 118 t à 68 % des Etats-Unis.
- Exportations de barres, profilés et fils : 2 077 t vers les Etats-Unis à 39 %, l'Allemagne à 26 %, le Royaume Uni à 11 %, le Japon à 6 %.
- Exportations de tôles, bandes et feuilles : 488 t vers l'Allemagne à 40 %, la République tchèque à 12 %.
- Exportations de tubes et tuyaux : 254 t vers la Chine à 37 %, l'Indonésie à 22 %, l'Allemagne à 14 %, le Royaume Uni à 13 %.

FABRICATION DU TITANE ULTRAPUR : selon la méthode de Van Arkel.

C'est selon cette méthode qu'a été élaboré, en 1925, le premier titane suffisamment pur et ductile pour la mise en évidence de ses propriétés. Après la mise au point du procédé Kroll, en 1937, le procédé Van Arkel n'est utilisé que pour l'obtention de titane ultra pur réservé à des applications très pointues, en général militaires.

Principe du procédé Van Arkel : le titane à purifier, provenant de la métallurgie classique, est placé dans une enceinte sous vide, en présence de diiode et d'un filament de titane pur, chauffé par effet Joule, entre 1 100 et 1 500°C. Le titane à purifier, chauffé vers 150 à 200 °C, par le rayonnement produit par le filament, réagit avec le diiode pour former du tétraiodure de titane (TiI₄) gazeux qui au contact du filament de titane pur se décompose avec dépôt de titane sur le filament qui ainsi grossit. Le diiode est recyclé.

200°C

1400°C



RECYCLAGE :

Il est important du fait des difficultés de la mise en forme finale des pièces en titane qui ne peut être réalisée que par usinage ou forgeage. Les copeaux d'usinage, qui peuvent représenter jusqu'à 80 % de la consommation de titane, donnent des déchets qui sont soit recyclés pour produire des lingots, soit utilisés pour élaborer des ferro-alliages. Un procédé de "coulée 4C" (Cold Crucible Continuous Casting) permet le recyclage direct des copeaux. Dans un creuset sans fond, en cuivre refroidi à l'eau, le titane est fondu par induction, ce qui permet d'obtenir des lingots de 120 à 210 kg.

La consommation d'énergie est réduite à 2 kWh/kg de titane au lieu de 44 kWh/kg.

Le taux de recyclage mondial est de 20 % et il est de 43 %, aux Etats-Unis.

En 2014, les importations de déchets de titane par les Etats-Unis, ont été de 19 223 t.

Commerce extérieur de la France : en 2015.

- Importations de déchets : 817 t du Royaume Uni à 37 %, des Etats-Unis à 13 %, d'Allemagne à 13 %, de Suisse à 11 %.

- Exportations de déchets : 6 500 t vers les Etats-Unis à 41 %, le Royaume Uni à 29 %, l'Allemagne à 20 %.

UTILISATIONS :

Consommation : elle a été, en 2013, dans le monde, de 145 000 t.

Secteurs d'utilisation : dans le monde, en 2013 :

Applications industrielles	49 %	Applications militaires	9 %
Aéronautique commerciale	37 %		

Source : TZMI

Aux Etats-Unis, en 2015, l'aéronautique et l'espace représentent 77 % de la consommation.

Utilisations diverses :

- Le titane est un métal léger ($4,5 \text{ g/cm}^3$). Il est utilisé allié, le principal alliage étant TA6V (6 % Al, 4 % V), en aéronautique, dans les cellules et les réacteurs.

Les ailes d'un Boeing 747 exigent 1 725 kg d'alliage pour une masse finale de 450 kg après mise en forme. L'A380 d'Airbus contient 9 % de son poids en titane, dans le bombardier furtif, F-22, la part du titane est de 39 %.

L'Airbus A350 consomme 66 t d'alliage de titane par avion, l'Airbus A380, 82 t, le Boeing B787, 77 t.

Dans les réacteurs CFM-56 de la Snecma, est présent 1,2 t de titane soit 30 % de sa masse.

En 2015, la construction aéronautique a consommé, en poids, 708 000 t de matériaux constitués à 47 % d'alliages d'aluminium, 21 % d'aciers, 11 % d'alliages de titane, 10 % de superalliages, 5 % de matériaux composites.

En 2014, chaque jour ouvré, Airbus consomme 30 t de titane.

Il est également utilisé dans les voitures de formule 1 : par exemple une bielle en titane voit sa masse réduite de 60 % [par rapport à l'acier](#).

Il est employé dans la fabrication de divers objets tel que : montres, montures de lunettes, corps d'appareils photo, clubs de golf, [cadres de bicyclettes](#) (sous forme d'alliage TA3V (3 % Al, 2,5 % V)), structure de fauteuils roulants.

- Il est utilisé pur ou faiblement allié (0,2 % de Pd) pour son excellente résistance à la corrosion, en particulier marine. Il est également [peu sensible](#) à la corrosion sous tension. Il est utilisé en milieu marin : condenseurs des [centrales nucléaires](#) côtières (150 t par condenseur et 6 000 t/an), coques de sous-marins (Nautile), canalisations des usines de [dessalement de l'eau de mer](#).

Les sous-marins russes de la classe Alpha utilisaient chacun 453 t de titane.

La construction de l'usine de dessalement d'eau de mer de Ras Az Zawr, en Arabie Saoudite, a consommé, en 2011, 6 200 t de tubes de titane.

- Dans le bâtiment, il est employé comme matériau de toiture, par exemple au Japon, où cette application représente 10 % de la consommation. La façade du musée Guggenheim, à Bilbao, en Espagne, est recouverte par 31 900 m² de plaques de titane.

- Il conserve ses propriétés mécaniques à basse température. Ainsi il est employé dans la construction de méthaniers pour le transport du gaz naturel liquéfié, avec une consommation de 1 000 t/an.

- Utilisations en chimie dans les réacteurs et cuves, crépines dans l'industrie de la pâte à papier, anodes pour l'électrolyse de [NaCl](#). C'est, avec l'aéronautique, le principal secteur d'utilisation du titane.

- Prothèses médicales : l'alliage TA6V est le plus utilisé pour cette application, mais certains travaux ayant indiqué une possible toxicité du vanadium, des alliages expérimentaux sont [envisagés pour y remédier](#) : TiAl5Fe2,5 ; Ti-Nb ; Ti-Ta ou encore Ti6Al7Nb pour le marché suisse. Le titane des prothèses peut être recouvert d'[apatite phosphocalcique](#) de composition proche de celle des os. En France, l'ancienne entreprise Bioland à Toulouse (31), filiale de Landanger-Camus, qui produisait journalièrement 7 kg d'hydroxyapatite calcinée et réalisait des dépôts d'environ 150 µm d'épaisseur a été rachetée par [Teknimed](#) en 2001. Les entreprises productrices de prothèse en titane sont, en France : [Marle](#), [Neuro France Implants](#) et [Groupe Lépine](#) qui est le plus important fabricant de prothèses de hanche en titane en France. Chaque année, dans le monde, 1 000 t de titane sont implantées dans des corps humains.

- Alliages à mémoire de forme (AMF) : l'alliage TiNi (50/50 atomique) a été le premier alliage à mémoire de forme fabriqué industriellement, en 1969, par la société américaine [Raychem](#) (n°1 mondial dans ce domaine) pour des manchons de raccordement de tuyauterie dans les avions de combat F-14. En France, production par [Stryker](#), [Nimesis Technology](#) et [AMF](#).

Utilisation de composés du titane en dehors du dioxyde :

- TiCl₄ : fumigène (formation à l'air atmosphérique d'oxychlorure de Ti⁴⁺, solide), utilisé pendant la 2^{ème} guerre mondiale dans les combats navals du Pacifique.

- Nitrure de titane : matériau dur et ayant une couleur identique à celle de l'[or](#). Il est utilisé comme revêtement de montres de valeur, d'outils coupants, d'ailettes de turbines... Les dépôts sont réalisés, sous vide, par dépôt physique en phase vapeur (PVD).

