

TITANE 2013

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.

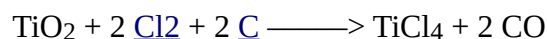
La matière première utilisée pour produire l'éponge de titane peut être du rutile naturel à une teneur de 94 à 96 % de TiO₂, du rutile synthétique ou du slag obtenus à partir d'ilménite (voir le chapitre [dioxyde de titane](#)).

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, 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 consommation d'énergie est de 40 kWh/kg d'éponge.

[Aux Etats Unis](#), les sociétés Titanium Metals Corp. (Timet) avec une capacité de 12 600 t/an dans son usine de Henderson dans le Nevada et Allegheny Technologies Inc. (ATI) avec une capacité de production de 10 900 t/an 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, avec une capacité de production de 500 t/an.

[Productions](#) et () capacités annuelles de production d'éponge de titane en t, en 2013. Monde : 222 000 (290 000).

Chine	100 000 (114 000)	Kazakhstan	27 000 (40 000)
Russie	45 000 (46 500)	Etats Unis, estimation en 2012	19 000 (24 000)
Japon	40 000 (68 800)	Ukraine	10 000 (10 000)

Source : USGS

En 2012, les exportations du Japon ont été de 30 703 t à 62 % vers les Etats-Unis et à 27 % vers l'Union européenne. Celles du Kazakhstan ont été de 15 048 t, celles de l'Ukraine de 9 384 t, celles de la Russie de 4 965 t, celles de la Chine de 4 528 t à 72 % vers les Etats-Unis.

Les importations des Etats-Unis ont été, en 2013, de 18 600 t d'éponge de titane.

[Producteurs d'éponge :](#)

- Au Japon, par les entreprises [Osaka Titanium Technologies Co.](#), à Amagasaki, province de Hyogo, avec une capacité de 40 000 t/an et [Toho Titanium Co.](#), à Wakamatsu, province de Fukuoka, avec une capacité de 28 800 t/an.

- 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.

- Aux Etats Unis, par les entreprises [Titanium Metals Corp.](#) (Timet), [Allegheny Technologies Inc.](#) (ATI) et [Honeywell Electronic Materials Inc.](#)

- 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](#) : plus de production d'éponge de titane depuis 1962.

- Importations de titane brut et de poudre : 5 215 t du Kazakhstan à 29 %, des Etats-Unis à 21 %, du Japon à 17 %. [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 : 280 t vers l'Italie à 38 %.

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

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.

Situation française : en 2013.

- Pas de production.
- Importations de ferro et ferrosilicotitane : 4 312 t du Royaume Uni à 57 %, d'Allemagne à 24 %.
- Exportations de ferro et ferrosilicotitane : 1 742 t vers le Brésil à 32 %, la Belgique à 19 %, le Canada à 7 %, la Suède à 6 %.

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, dont 68 800 t aux Etats-Unis et 65 000 t, en Chine.

Situation française :

En 2007, la production française de lingots a été de 1 600 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, tôles, tubes, en 2013, hors déchets : 7 066 t provenant des Etats Unis à 44 %, de Russie à 19 %, d'Allemagne à 11 %.
- Exportations de barres, tôles, tubes, en 2013, hors déchets : 2 016 t vers l'Allemagne à 27 %, les Etats-Unis à 17 %, la Chine à 12 %.

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.



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. Le taux de recyclage mondial est de 20 % et il est de 43 %, aux Etats-Unis. En 2012, les importations de déchets de titane par les Etats-Unis, ont été de 14 442 t.

Commerce extérieur de la France : en 2013.

- Importations de déchets : 877 t du Royaume Uni à 45 %, des Etats-Unis à 15 %.
- Exportations de déchets : 4 330 t vers le Royaume Uni à 46 %, les Etats-Unis à 38 %.

UTILISATIONS :

Consommation : elle a été comprise, en 2012, dans le monde, entre 114 000 et 126 000 t.

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

Applications industrielles	53 %	Biens de consommation	7 %
Aéronautique commerciale	35 %	Applications militaire	5 %

Source : Association Française du titane

Utilisations diverses :

- Le titane est un métal léger (4,5 g/cm³). 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 et le Boeing B787 consomment 100 t de demi produits de titane par avion. Dans les réacteurs CFM-56 de la Snecma, est présent 1,2 t de titane soit 30 % de sa masse.

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 (Nautil), 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).