

EDITION PUBLIQUE

Rapport final

Etude de veille sur le marché du titane 2015 -2017

Pierre-François LOUVIGNÉ

-

Étude menée dans la cadre du groupe de travail TITANE piloté par le

Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire
Direction générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature
Direction de l'Eau et de la Biodiversité
Sous-direction protection et gestion des ressources en eau et minérales

Décembre 2017

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	2/149

SOMMAIRE

<i>Introduction</i>	9
<i>PREMIERE PARTIE: Evolution de la demande</i>	14
I Evolution du prix des matières premières	15
I.1 Marché libre européen	15
I.2 Marché intérieur chinois	19
I.3 Marché intérieur américain	20
II Evolution de la demande mondiale de titane	22
II.1 Évolution de la demande aux USA	24
II.2 Évolution de la demande en CEI	29
II.3 Évolution de la demande en Chine	30
II.4 Évolution de la demande au Japon	34
II.5 Évolution de la demande en Europe	36
III Perspectives pour le marché aéronautique	38
III.1 Avions de ligne (capacité supérieure à 100 sièges)	40
III.1.1 Airbus & Boeing	41
III.1.2 COMAC : émergence de la concurrence aéronautique chinoise	45
III.1.3 AOK : renouveau de l'industrie aéronautique en CEI	46
III.2 Avions régionaux (avion jusqu'à 130 à 149 sièges)	47
III.2.1 Embraer (Brésil)	47
III.2.2 Bombardier (Canada)	47
III.2.3 Mitsubishi (Japon)	48
III.2.4 Avic Commercial Aircraft Corporation (Chine)	48
III.2.5 Programmes russes d'avions régionaux	49
III.3 Moteurs aéronautiques & Marché des pièces de rechange	49
IV Perspectives pour le marché « Défense »	50
IV.1 Domaine terrestre	51
IV.1.1 Blindages	51
IV.1.2 Applications structurales	52
IV.2 Aéronautique militaire	53
IV.2.1 Programmes aéronautiques militaires	53
IV.2.2 Nouveaux programmes aéronautiques militaires	55
IV.3 Domaine naval militaire	55
V Perspectives pour les applications industrielles	56
V.1 Besoin en énergie	58

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	3/149

V.1.1	Pétrole et autres carburants liquides _____	59
V.1.2	Gaz naturel (dont GNL) _____	60
V.1.3	Nucléaire _____	62
V.1.4	Charbon _____	63
V.1.5	Énergie thermique des mers : technologie OTEC _____	64
V.2	Chimie _____	67
V.3	Dessalement _____	68
VI	<i>Perspectives pour le marché des biens de consommation</i> _____	70
VI.1	Applications grand public : sport, lunetterie, luxe & électronique nomade _____	70
VI.2	Médical _____	71
VI.3	Transports terrestres _____	72
VI.4	Constructions navales civiles : marine marchande, yacht & plaisance _____	74
VI.5	Architecture _____	75
VII	<i>Synthèse de l'évolution de la demande mondiale</i> _____	76
	<i>DEUXIEME PARTIE: Evolution de l'Offre</i> _____	80
VIII	<i>Minerai de titane</i> _____	81
VIII.1	Rutile naturel _____	81
VIII.2	Rutile synthétique _____	81
VIII.3	Slag de titane _____	82
VIII.4	Du minerai à l'éponge de titane _____	82
IX	<i>Eponge de titane</i> _____	83
IX.1	Évolution des capacités mondiales de production d'éponge _____	83
IX.1.1	Éponge de qualité aéronautique _____	88
IX.2	Évolution de la production d'éponge _____	88
X	<i>Lingots & demi-produits en titane</i> _____	90
X.1	Évolution des capacités de production de lingot _____	90
X.2	Évolution de la production de lingot de titane _____	92
X.3	Faits marquants de l'offre en lingot & demi-produits _____	92
XI	<i>Nouveaux procédés d'extraction</i> _____	96
XI.1	Procédé FFC _____	97
XI.2	Procédé Armstrong _____	98
XI.3	Procédé MER _____	98
XI.4	Procédé JTS _____	99
XI.5	Poudres d'hydrure de titane (procédé HDH) _____	100
XI.6	Procédé TiRO _____	101

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	4/149

XI.7	Procédé CSIR	101
XI.8	Procédé Bradford	101
XII	<i>Innovations dans les procédés de mise en œuvre</i>	102
XII.1	Technologies de fabrication additive	102
XII.2	Développements industriels	103
XII.3	Développements dans les technologies de soudage	104
XIII	<i>Recyclage & Valorisation des déchets</i>	105
XIII.1	Capacités de recyclage	105
XIII.2	Production de scrap de titane	107
XIII.3	Volumes de scrap de titane recyclés dans la filière titane	107
XIII.4	Consommation de scrap de titane par les autres filières métallurgiques	108
XIV	<i>CONCLUSION</i>	111
	<i>ANNEXES</i>	116
XV	<i>ANNEXE : Techniques de fusion à foyer froid</i>	117
XVI	<i>ANNEXE : Historique du prix de l'éponge</i>	119
XVII	<i>ANNEXE : Historique du prix du ferrotitane 70%</i>	120
XVIII	<i>ANNEXE : Scenarii d'évolution du prix des matières premières</i>	121
XIX	<i>ANNEXE : Références historiques de prix des matières premières</i>	122
XX	<i>ANNEXE : Consommation de titane par secteur en Chine</i>	123
XXI	<i>ANNEXE : Exportations et importations du Japon</i>	124
XXII	<i>ANNEXE : Emploi des composites dans les avions de nouvelle génération</i>	126
XXIII	<i>ANNEXE : Evolution du prix du baril de pétrole</i>	127
XXIV	<i>ANNEXE : Historique de production d'Airbus et Boeing</i>	128
XXV	<i>ANNEXE : Prises de commande d'Airbus et de Boeing</i>	129
XXVI	<i>ANNEXE : Backlog de commande Airbus & Boeing</i>	130
XXVII	<i>ANNEXE : Age moyen des équipements militaires US</i>	131
XXVIII	<i>ANNEXE : Nacelle du futur avion chinois C919</i>	132
XXIX	<i>ANNEXE : Evolution de la flotte active D'AVIONS</i>	133
XXX	<i>ANNEXE: Blindages en titane</i>	134
XXXI	<i>ANNEXE : Canon Howitzer 155mm châssis en titane</i>	135
XXXII	<i>ANNEXE: Châssis en titane pour le futur véhicule FCS</i>	136
XXXIII	<i>ANNEXE : Avion de chasse chinois</i>	137

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	5/149

<i>XXXIV</i>	<i>ANNEXE : Programmes nucléaires</i>	<i>138</i>
<i>XXXV</i>	<i>ANNEXE: Energie thermique des océans (OTEC)</i>	<i>139</i>
<i>XXXVI</i>	<i>ANNEXE: Capacités mondiales de production d'éponge</i>	<i>141</i>
<i>XXXVII</i>	<i>ANNEXE : Technologie de Production d'éponge</i>	<i>142</i>
<i>XXXVIII</i>	<i>ANNEXE : Standards de qualité d'éponge de titane</i>	<i>143</i>
<i>XXXIX</i>	<i>ANNEXE: Procédé de traitement de l'éponge de titane</i>	<i>145</i>
<i>XL</i>	<i>ANNEXE: Mise en forme des poudres ADMA (HDH)</i>	<i>146</i>
	<i>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</i>	<i>147</i>

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	6/149

LISTE DE FIGURES

Figure 1: Prix de l'éponge de titane sur le marché libre européen [ref.3]	16
Figure 2: Prix du scrap et de l'éponge de titane sur le marché libre européen [réf.3]	17
Figure 3: Prix du FeTi70% sur le marché libre européen [réf.3]	18
Figure 4: Prix de l'éponge sur les marchés chinois et européen [réf. 7]	19
Figure 5: Prix du ferrotitane en Chine et sur le marché libre européen [réf.3]	20
Figure 6: Prix du ferrotitane et du scrap de titane sur le marché intérieur US [réf.3]	21
Figure 7: Evolution de la consommation mondiale de titane (en volume)	23
Figure 8: Evolution comparée de la consommation de titane par secteur (en volume)	23
Figure 9: Consommation et stock de mat. 1 ^{ères} et production de lingots aux USA [réf.4]	26
Figure 10: Stocks industriels de matières 1 ^{ères} et de lingots aux USA [réf.4]	27
Figure 11: Ratio d'emploi éponge/scrap pour la production de lingot aux USA [réf.4]	27
Figure 12: Importation et consommation de matières premières aux USA	28
Figure 13: Évolution de la consommation de titane sur le marché intérieur en CEI [réf.5]	29
Figure 14: Évolution de la consommation de titane du secteur industriel en CEI [réf.5]	30
Figure 15: Consommation de titane sur le marché intérieur chinois par secteur 2010-2016 [réf. 6,7]	31
Figure 16: Import – Export de produits en titane comparé à la consommation intérieure en Chine [réf.7]	33
Figure 17: Import-Export d'éponge de titane en Chine [réf.7]	33
Figure 18: Consommation de titane au Japon par secteur [réf. 9]	34
Figure 19: Ratio consommation intérieure/export au Japon [réf. 9]	35
Figure 20: Exportations d'éponge du Japon [réf. 9]	36
Figure 21: Évolution de la consommation de titane dans le secteur aéronautique	39
Figure 22: Évolution du pourcentage d'avions parqués [réf.15]	41
Figure 23: Carnet de commande (backlog) d'Airbus et de Boeing au 31/12/2017	42
Figure 24: Besoin en titane du carnet de commande d'Airbus et de Boeing (31/12/2017)	43
Figure 25: Prévission de consommation de titane d'Airbus et de Boeing 2017 – 2025	44
Figure 26: Prévission de production annuelle d'avion pour Airbus et Boeing 2017 – 2025	44
Figure 27: Scenarion de bascule CFM56/LEAP	50
Figure 28: Évolution de la consommation de titane dans les applications militaires	51
Figure 29: Principaux programmes aéronautiques militaires russes [réf. 5]	54
Figure 30: Consommation de titane dans le secteur « Industrie »	57
Figure 31: Évolution des besoins énergétiques mondiaux en Btu – sept. 2017 [réf.26]	59
Figure 32: Impact du PIB sur la consommation mondiale d'énergie [réf. 26]	59
Figure 33: Prix du pétrole et impact sur la consommation d'énergie [réf.26]	60
Figure 34: Augmentation de la production de gaz naturel entre 2015 et 2040 [réf.26]	61
Figure 35: Capacités de production d'énergie nucléaire dans le Monde [réf.26]	62
Figure 36: Réacteurs nucléaires en construction dans le Monde en 2017 [réf.35]	63
Figure 37: Évolution de la consommation de charbon en Chine, aux USA et en Inde [ref.26]	64
Figure 38: Perspective d'évolution du marché de la chimie jusqu'en 2035 [ref.46]	67
Figure 39: Perspective d'évolution du marché du dessalement (en milliards de \$)	69
Figure 40: Évolution de la consommation de titane dans le secteur des biens de consommation	70
Figure 41: Consommation de titane dans le secteur automobile au Japon [réf.9]	74
Figure 42: Consommation de titane dans l'architecture au Japon [réf.9]	75
Figure 43: Évolution de la consommation mondiale de titane (scenarion de référence)	76
Figure 44: Filière de transformation des minerais titanifères	83
Figure 45: Capacités mondiales de production d'éponge 2006 – 2016	84
Figure 46: Capacités de production d'éponge de qualité aéronautique 2006 – 2026	88
Figure 47: Évolution de la production mondiale d'éponge de titane 2003 – 2016	89
Figure 48: Capacité et de la production effective mondiale d'éponge 2006 – 2016	90
Figure 49: Évolution des capacités de fusion de lingot de titane par pays	91

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	7/149

<i>Figure 50: Capacité de fusion et production effective de lingot de titane 2006 – 2016</i>	92
<i>Figure 51: Production chinoise par type de produit 2007 – 2016</i>	95
<i>Figure 52: Production et recyclage de scrap de titane dans la filière</i>	108
<i>Figure 53: Offre et demande en ferros scrap de titane</i>	109
<i>Figure 54: Principe de fusion à foyer froid par faisceau d'électrons EB (source :Timet)</i>	117
<i>Figure 55: Principe de fusion à foyer froid par torche plasma PAM (source Timet)</i>	118
<i>Figure 56: Évolution du prix de l'éponge de qualité métallurgique entre 2005 et 2007 [réf.3]</i>	119
<i>Figure 57: Évolution du prix du ferrotitane 70% entre 2002 et 2007 [réf.3]</i>	120
<i>Figure 58: Exportations de produits titane du Japon par secteur [réf. 9]</i>	124
<i>Figure 59: Importation d'éponge du Japon [réf. 9]</i>	125
<i>Figure 60: Importation de produits titane du Japon [réf. 9]</i>	125
<i>Figure 61: Utilisation des matériaux composites et des métaux dans l'A350 et le B787</i>	126
<i>Figure 62: Évolution du prix du pétrole jusqu'en 2016 et projection au-delà [réf.14]</i>	127
<i>Figure 63: Corrélation entre le prix du pétrole et le retrait du service des avions [réf.16]</i>	127
<i>Figure 64: Historique des livraisons annuelles d'avions d'Airbus et Boeing (1994-2017)</i>	128
<i>Figure 65: Historique des prises de commande d'Airbus et de Boeing (1994-2017)</i>	129
<i>Figure 66: Évolution du backlog d'Airbus et de Boeing (1994-2017)</i>	130
<i>Figure 67: Inventaire et âge moyen des équipements militaires américains</i>	131
<i>Figure 68: Nouvelle technologie de nacelle « moteur » de l'avion chinois C919</i>	132
<i>Figure 69: Évolution de la flotte active d'avions tous types confondus</i>	133
<i>Figure 70: Exemples de kits de protection balistique en titane [réf. 23]</i>	134
<i>Figure 71: Châssis en titane du canon d'artillerie Howitzer de 155mm [réf.24]</i>	135
<i>Figure 72: Projet de châssis en titane du "Futur Combat System" (US Army)</i>	136
<i>Figure 73: Le J-11, avion de chasse chinois assemblé sous licence Sukhoï Su-27SK</i>	137
<i>Figure 74: Part du nucléaire dans les ressources énergétiques mondiales [réf.36]</i>	138
<i>Figure 75: Principe de la technologie OTEC,</i>	139
<i>Figure 76: Capacité de production d'éponge par pays en 2017</i>	141
<i>Figure 77: Procédé de traitement de l'éponge de titane chez VSMPO-AVISMA (Russie)</i>	145
<i>Figure 78: Mise en forme et transformation de produits titane élaborés à partir de TiH2 [réf. 65]</i>	146

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	8/149

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1: Production de minerais de titane en 2016 (x1.000 tonnes équivalent TiO₂ [réf.2])</i>	10
<i>Tableau 2: Consommation mondiale de titane (2003-2016)</i>	22
<i>Tableau 3: Consommation de titane aux USA [réf.4]</i>	25
<i>Tableau 4: Consommation de titane sur le marché intérieur chinois [réf. 6,7]</i>	30
<i>Tableau 5: Évolution de la consommation de titane en Europe</i>	36
<i>Tableau 6: Importation d'éponge et de produits en titane en Europe [réf.10,11,15]</i>	37
<i>Tableau 7: Exportation d'éponge et de produits en titane depuis l'Europe [réf.10,11,15]</i>	38
<i>Tableau 8: Nouveaux programmes aéronautiques sur 2011 – 2020+ (1^{ère} livraison)</i>	39
<i>Tableau 9: Quantité moyenne de titane approvisionnée par famille d'avion</i>	42
<i>Tableau 10: Consommation de scrap de titane aux USA [réf.4]</i>	106
<i>Tableau 11: Estimation de la production mondiale de scrap de titane</i>	107
<i>Tableau 12: Estimation des volumes de scrap de titane recyclés dans la filière</i>	108
<i>Tableau 13: Mécanisme d'évolution des prix et de disponibilité des matières premières</i>	121
<i>Tableau 14: Prix des matières premières en fonction de l'équilibre offre-demande</i>	122
<i>Tableau 15: Consommation de titane détaillée par secteur en Chine [réf. 7]</i>	123
<i>Tableau 16: Réacteurs nucléaires en service et en cours de construction [réf.35]</i>	138
<i>Tableau 17: Projets OTEC dans le Monde (mai 2017) [réf.72]</i>	140
<i>Tableau 18 : Comparaison des différentes technologies de production d'éponge [Réf.73]</i>	142
<i>Tableau 19: Standards de qualité des éponges chinoises, japonaises</i>	144

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	9/149

INTRODUCTION

Le titane est un élément métallique découvert en 1791 par Sir William Gregor¹, pasteur britannique et géologue amateur. Identifié à partir du minerai d'ilménite (FeTiO_2), le titane n'a été isolé sous sa forme métallique pure qu'en 1910 par Mathew H. Hunter aux Etats-Unis pour le compte de la General Electric Company. Son procédé de réduction du TiCl_4 par du sodium fut supplanté par le procédé de réduction au magnésium développé dans les années 30 par William J. Kroll. Depuis la première démonstration de sa capacité de production commerciale en 1946, le procédé Kroll est devenu le procédé de référence pour la production du titane. Malgré les recherches menées dans le domaine, aucune technologie alternative n'a encore réussi à détrôner ce procédé.

Comparé à l'acier, le titane a des performances mécaniques comparables pour une densité deux fois plus faible (4,51) et un point de fusion plus élevé (1670°C). Il conserve de bonnes propriétés mécaniques à très basse température. D'un point de vue chimique, sa résistance à la corrosion est supérieure à celles des aciers inoxydables. Le titane est un métal physiologiquement inerte et amagnétique ; il se caractérise également par une conductivité thermique et électrique basse et un faible coefficient de dilatation linéaire.

Employé sous une forme faiblement alliée dans de nombreuses applications industrielles (nuances T35, T40, T60...), le titane est aussi décliné en alliages à propriétés optimisées pour répondre à des besoins plus pointus : les alliages alpha, les alliages beta et les alliages alpha – beta. Le plus utilisé est l'alliage biphasé TA6V développé initialement pour le secteur aéronautique. Une trentaine de familles d'alliages est aujourd'hui disponible pour couvrir les besoins industriels.

Le titane est le 9^{ème} élément le plus abondant sur Terre (0.44% à 0.6% de la croûte terrestre, selon les estimations) et se classe 4^{ème} dans la liste des métaux après le fer, l'aluminium et le magnésium. Il est extrait de minerais, principalement d'ilménite (FeTiO_3 – réserve mondiale^a estimée à 770 millions de tonnes² d'équivalent TiO_2) et de rutil (TiO_2 – réserve mondiale estimée à 59 millions de tonnes [réf.2]). On trouve le minerai en grandes quantités en Chine, en Australie, en Inde, en Afrique du Sud et, en quantité plus modeste au Brésil, à Madagascar, en Norvège, au Kenya, au Sénégal, en Russie, au Canada etc.

Le minerai de titane utilisé pour la production de titane métal ne représente qu'une infime partie de la consommation totale. En effet, sur une production mondiale de l'ordre de 6,6 millions de tonne d'ilménite et de rutil en 2016 [réf.2], seulement quelques pour cent ont été utilisés pour produire de l'éponge de titane^b. La grande majorité de la production est utilisée dans l'industrie du pigment, en particulier comme agent de blanchiment du papier et

^a Réserve naturelle présentant un potentiel d'extraction économiquement rentable

^b Matière première de la filière « titane métal », voir page suivante

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	10/149

des peintures. Le minerai est également utilisé sous forme de ferrotitane^c à faible teneur en titane ou transformé en carbures et autres composés chimiques.

Les chiffres de l'exploitation minière d'ilménite et de rutile en 2016 sont présentés dans le tableau suivant :

<i>(en milliers de tonnes d'équivalent TiO₂)</i>	Ilménite	Rutile
Afrique du Sud	1.300	65
Chine	800	
Australie	720	350
Mozambique	490	
Canada	475	
Sierra Leone		120
Ukraine	350	90
Vietnam	300	
Kenya	280	80
Norvège	260	
Sénégal	260	
Inde	200	18
Madagascar	140	5
Brésil	50	
Autres	235	15
Total Monde	5.860	743

Tableau 1: Production de minerais de titane en 2016 (x1.000 tonnes équivalent TiO₂ [réf.2])

Dans la filière de production du titane métal, le TiO₂ est transformé en TiCl₄ par procédé de chloration puis réduit par réaction avec du sodium (procédé Hunter) ou avec du magnésium (procédé Kroll) pour obtenir un matériau très poreux appelé éponge de titane.

La réaction suivante a lieu : $TiCl_4 + 2Mg \rightarrow Ti + 2 MgCl_2$

Le procédé Kroll est aujourd'hui le procédé le plus utilisé dans l'industrie parce qu'il évite le danger de la manipulation du sodium. Néanmoins, il reste une étape de production délicate en raison du caractère fortement exothermique de formation du TiCl₄ et de la complexité des traitements chimiques.

Le MgCl₂ est progressivement retiré du réacteur et recyclé dans un bain électrolytique en magnésium et chlore. Une fois la réaction de réduction terminée, l'éponge subit différents traitements : broyage, concassage, découpe etc. Elle est également débarrassée des sels de magnésium soit par lavage à l'acide chlorhydrique et séchage soit par distillation sous vide (entre 1000°C et 1065°C pendant 85 heures).

^c Élément d'addition pour la sidérurgique

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	11/149

La production d'un kilogramme d'éponge de titane nécessite environ 4,4 kg de $TiCl_4$ et 1,5 kg de magnésium.

Après l'étape de production de l'éponge, vient la fabrication du lingot de titane. Ce lingot est obtenu par une technique de fusion. Plusieurs voies existent :

- la technique de fusion sous vide par électrode consommable ou VAR (Vacuum Arc Reduction) ;
- les techniques de fusion à foyer froid^d par faisceau d'électron EB (Electron Beam) ou par source plasma PAM (Plasma Arc Melting) ;
- la technique de fusion par induction ISM (Induction Skull Melting)

Pour fabriquer un lingot de titane pur, la matière fondue peut être soit exclusivement de l'éponge, soit un mélange d'éponge et de déchet de titane (scrap), soit exclusivement du déchet de titane. Les lingots d'alliage de titane sont obtenus en mélangeant à la matière titane les éléments d'addition, comme le vanadium et l'aluminium, pour obtenir, après fusion, l'alliage souhaité. L'alliage le plus couramment utilisé est le TA6V. En fonction des techniques de fusion utilisées et selon les besoins d'homogénéité des produits obtenus, le cycle de production peut comprendre deux, voire trois fusions successives du même lingot.

Dans la filière de production actuelle, les lingots de titane sont en général transformés par forgeage à chaud et usinage pour obtenir des demi-produits sous forme de brames^e, bloom^f ou billette^g. On distingue les demi-produits longs (barres) et les demi-produits plats (tôles). Les produits finis (feuilles, bobines, barres, plaques, câbles, tubes, pièces de forge, matricés etc.) par différentes étapes de transformation de laminage, forgeage, extrusion, usinage etc. Les pièces de fonderie sont réalisées souvent directement à partir du lingot de fusion auquel est rajoutée une proportion variable de scrap. De nombreuses recherches sont menées pour introduire des filières de production alternatives plus courtes et plus économiques. Ainsi, de nouvelles techniques permettant d'obtenir plus directement des pièces proches des cotes finies sont en cours de développement, en particulier dans le domaine des méthodes de production additives à base de poudre et de fil.

Du fait de la grande réactivité et de la faible conductivité thermique du titane, le travail de transformation et de parachèvement de ce métal nécessite des précautions et des méthodes particulières qui constituent un savoir-faire spécifique. Une attention particulière est portée aux traitements thermomécaniques dans le but de maîtriser la métallurgie dans la pièce finale tout en évitant la présence de défauts, en particulier en surface, car le titane est sensible à l'effet d'entaille.

En raison de ses propriétés thermomécaniques, le titane peut aussi être transformé par des industries spécialisées dans les aciers fortement alliés et les alliages base nickel.

^d Voir annexe XV

^e Lingot transformé, de section rectangulaire, servant à fabriquer les tôles

^f Lingot transformé, de section carrée, destiné aux laminoirs

^g Lingot transformé, barre servant à fabriquer des produits longs

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	12/149

Les propriétés mécaniques du titane et sa faible densité le rendent en particulier intéressant pour toutes les applications structurales nécessitant un allègement^h : aéronautique, espace, missiles, coques de sous-marins, matériels aérotransportés etc. Le titane est également adapté aux applications cryogéniques. Il bénéficie d'excellentes propriétés anticorrosion en milieu aqueux et dans beaucoup de milieux acides qui incitent à l'emploi du titane pour de nombreuses applications en chimie, pétrochimie et pour la fabrication de circuits de retraitement ou d'échangeurs de chaleur (nucléaire, dessalement, circuits eau de mer). Grâce à sa biocompatibilité, le titane est préconisé pour toutes les applications biomédicales (prothèses, implants et instruments chirurgicaux). Enfin, sa sensibilité à la vitesse de déformation en fait un excellent matériau pour les blindages balistiques et ses propriétés amagnétiques le destinent aussi à quelques applications militaires navales.

En conclusion, le titane est un matériau incontournable pour certaines applications stratégiques (aéronautique & espace, nucléaire, militaire, etc.) et un excellent candidat pour de nombreuses applications industrielles et de biens de consommation.

^h Performances spécifiques élevées (propriété mécanique rapportée à la densité)

Classification : Non confidentiel – Edition publique Étude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	13/149

Première Partie : Évolution de la demande

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	14/149

PREMIERE PARTIE: EVOLUTION DE LA DEMANDE

CHAPITRE I

Résumé : La demande en titane est d'environ 125.000 t/an. Neuf années après, les effets de la crise de 2008 sont encore perceptibles sur le marché du titane en particulier dans le secteur « industrie » qui a connu une bulle éphémère de reprise en 2011 avant de repartir à la baisse. Le marché captif de l'aéronautique est le premier vecteur de croissance de la demande en titane avec un taux de 12%/an en moyenne sur 2009-2016. La moitié du titane utilisé dans le Monde sert à fabriquer des avions. Cette composante de marché est facteur de stabilité car elle est régulée par les cadences de production et offre une perspective chiffrée sur le long terme. La segmentation produit se caractérise globalement d'une part, par les alliages qui sont destinés aux applications de haute performance dans l'aéronautique et la défense et, d'autre part, par le titane pur ou faiblement allié utilisé dans les applications industrielles et les biens de consommation. Dans la plupart des cas, les critères de qualité et de performance sont prépondérants pour l'emploi du matériau. Son prix est en général le principal frein à son utilisation.

Avec plus de 35.000 avions à livrer sur les 20 prochaines années et un pourcentage de titane contenu par avion en forte hausse sur les nouveaux avions en composite, l'aéronautique offre de belles perspectives de développement à long terme. La réduction du « buy-to-fly » et la concurrence avec le composite et l'aluminium sont les principales menaces pour ce marché qui reste globalement captif. Le second grand domaine d'emploi du titane est le secteur industriel : chimie, pétrole & gaz, nucléaire, dessalement, l'industrie off-shore etc. La demande industrielle est une composante qui est facteur d'instabilité du marché car c'est une demande spot qui peut aller de quelques centaines à plusieurs milliers de tonnes sur des délais courts. Le titane est employé en particulier pour son excellente résistance à la corrosion. Il concurrence d'autres matériaux pourtant moins chers grâce au gain qu'il offre sur le coût d'exploitation et de maintenance des installations industrielles. Le dessalement et l'énergie thermique des mers (ETM) sont deux domaines d'applications à surveiller en particulier car leurs besoins en titane peuvent représenter plusieurs milliers de tonnes par projet.

Métal de haute technologie, le titane est synonyme de performance et de haut de gamme dans le domaine des biens de consommation : sports, loisirs, technologies nomades, horlogerie, architecture etc. Il est également utilisé pour sa biocompatibilité dans le domaine médical avec de belles perspectives de croissance liées au vieillissement des populations. Le domaine des piles à combustible pour l'automobile présente également un potentiel de développement important avec plusieurs milliers de tonnes par an. Enfin, légèreté et performance font du titane un métal de choix pour de nombreuses applications militaires. Son utilisation touche tous les secteurs de l'armement : terre, air, mer et espace. Avec une acceptation prix plus élevée et un haut niveau d'exigence, le titane est souvent incontournable dans les systèmes d'armes. La montée en puissance de la Chine et la tendance au réarmement dans toutes les régions du Monde impliquent une augmentation significative de la consommation de titane militaire dans les années à venir.

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	15/149

I EVOLUTION DU PRIX DES MATIERES PREMIERES

Pour comprendre les mécanismes économiques du marché du titane il faut d’abord s’intéresser au prix des matières premières. Nous présentons dans les sections suivantes l’évolution des prix des trois matières qui sont directement liées au marché du titane : l’éponge de titane, le scrap de titane (déchet) et le ferrotitane (FeTi).

Comme précisé dans l’introduction, l’éponge et le scrap de titane sont les deux matières premières utilisées dans la filière de production du titane. Le ferrotitane en revanche n’est pas utilisé dans cette filière mais son économie est liée à celle-ci par l’intermédiaire du scrap de titane. En effet, c’est la nuance enrichie par adjonction de déchet de titane, le FeTi70%, que l’industrie sidérurgique approvisionne couramment pour ses besoins de productionⁱ. En source alternative, les sidérurgistes peuvent également utiliser le ferrotitane produit directement à partir du minerai mais sa teneur plus faible en titane (typiquement 30 à 35%) oblige à manipuler de plus gros volumes de matière pour une même teneur en titane au final. Enfin, l’éponge de titane peut être également utilisée directement dans les hauts fourneaux mais cela nécessite des équipements et des précautions de manipulation qui ne conviennent pas à tous les sites de production. L’éponge et le scrap de titane sont aussi utilisés comme éléments d’addition pour la production d’acier inoxydable, les alliages d’aluminium et les superalliages.

I.1 Marché libre européen

⇒ Prix de l’éponge

La Figure 1 donne l’évolution du prix de l’éponge de titane sur le marché libre européen³ depuis janvier 2008. En annexe, l’historique des prix antérieur à 2008 est donné dans la Figure 56. Pour exploiter ces données économiques il convient de prendre en compte les commentaires suivants :

- 1°) les prix sont ceux de l’éponge de qualité dite « métallurgique » c'est-à-dire celle approvisionnée pour les applications titane courante et pour la consommation sidérurgique ;
- 2°) l’éponge de qualité supérieure destinée aux applications aéronautique critique (qualité PQ « Premium Quality») n’est pas cotée ;
- 3°) les prix reflètent l’état de l’offre et de la demande pour des achats « spot » sur le marché libre.

En conséquence, ces prix ne sont pas directement corrélables avec les niveaux de prix négociés entre un fabricant d’éponge et un producteur de lingots car leurs contrats portent

ⁱ Principalement pour les aciers « bas carbone »

généralement sur plusieurs années avec des niveaux de prix révisables annuellement. Il convient également de souligner que, pour des producteurs de titane intégrés verticalement^j, les variations de cotation de l'éponge n'ont pas d'impact économique direct sur les coûts de production.

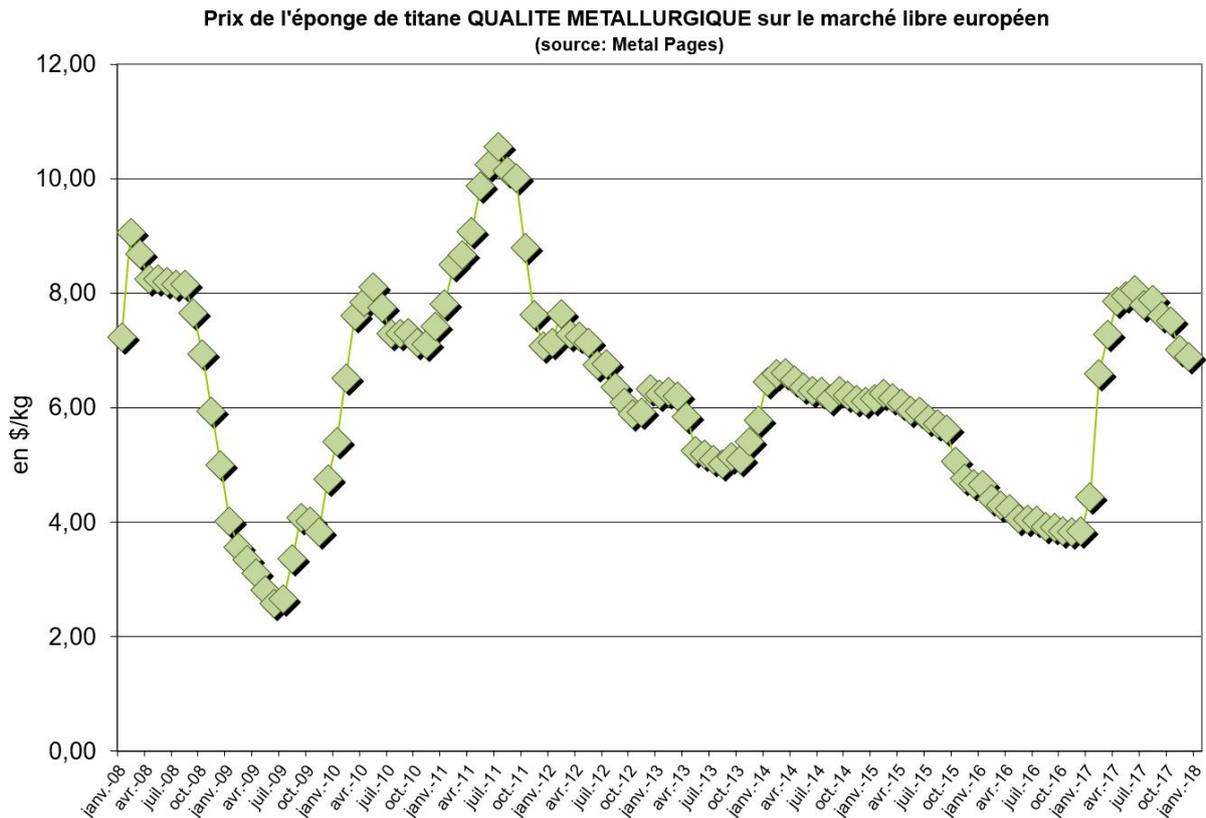


Figure 1: Prix de l'éponge de titane sur le marché libre européen [ref.3]

L'évolution du prix de l'éponge est corrélée aux tendances de la demande sur le marché européen :

- Chute brutale de la demande entre le 3^{ème} trimestre 2008 et le 4^{ème} trimestre 2009 due à la crise des *subprimes* aux USA ;
- Reprise progressive de la demande jusqu'à mi- 2011 où la production est excessive par rapport à une demande qui chute ; les prix repartent à la baisse ;
- Jusqu'à fin 2016, malgré une demande faible les producteurs japonais ont continué à alimenter le marché avec de l'éponge à bas prix. Fin 2017, le prix repart à la hausse après un tarissement des surstocks de matière.

^j Producteur contrôlant les différentes étapes du processus de production, depuis l'éponge jusqu'aux produits finaux.

⇒ **Prix du scrap de titane**

La Figure 2 présente l'évolution depuis mars 2008 du prix du scrap de titane de nuance TA6V contenant une teneur en Sn inférieure à 0,5% comparé au prix de l'éponge. Cette qualité est compatible avec l'utilisation de recyclage pour la production de lingot de titane de qualité courante ou l'enrichissement de ferrotitane. Globalement, on constate que le prix du scrap suit la même tendance que celle de l'éponge sur la période concernée avec une volatilité moins forte.

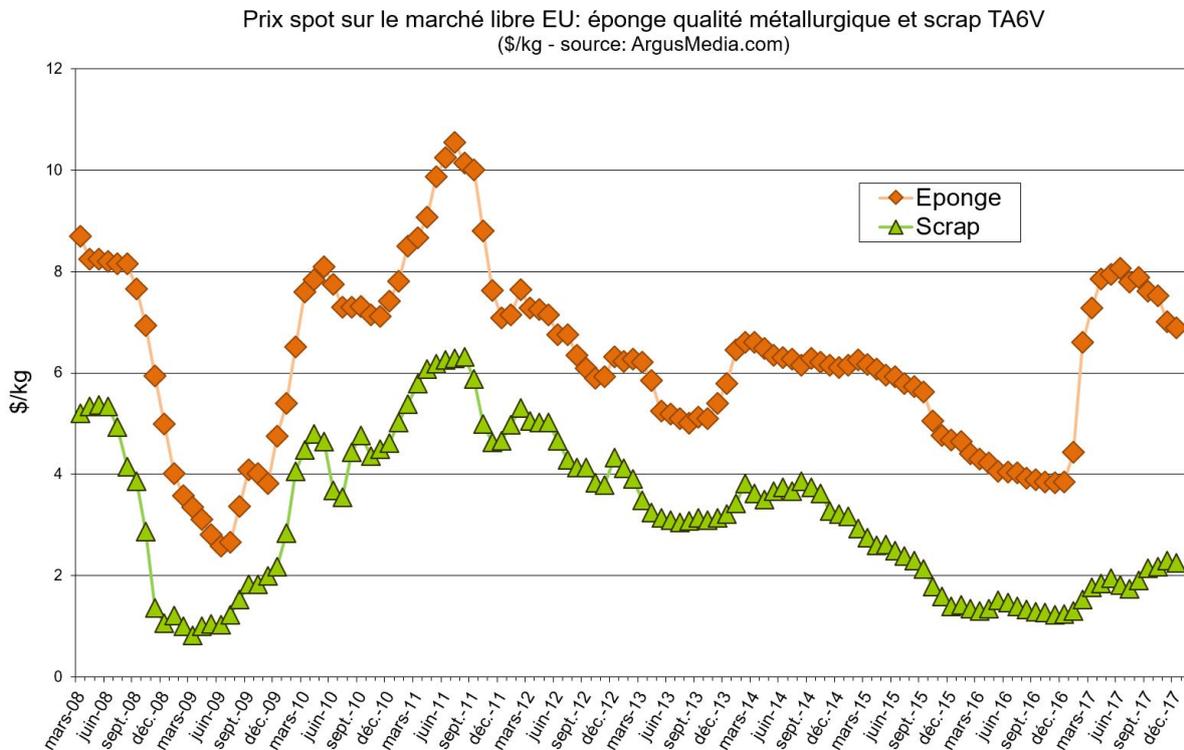


Figure 2: Prix du scrap et de l'éponge de titane sur le marché libre européen [réf.3]

⇒ **Prix du ferrotitane**

La Figure 3 donne l'évolution du prix du FeTi70% sur le marché libre européen depuis janvier 2008. Les données sur les années antérieures sont présentées en annexe dans la Figure 57. Cette qualité de ferrotitane étant enrichie par l'adjonction de scrap de titane, la corrélation entre les courbes de prix est très forte. Le marché libre européen est principalement alimenté par les producteurs anglais, russes et ukrainiens. Dans la période hivernale, les approvisionnements d'Europe de l'Est s'interrompent car les conditions d'acheminement par voie routière deviennent trop difficiles.

Nota bene : Depuis la fin de l'année 2007, le négoce de FeTi30% a pratiquement disparu du marché libre européen. Cette qualité de ferrotitane produit principalement en Europe de l'Est, en Chine et au Brésil a pourtant été largement utilisée par les sidérurgistes en 2005 – 2007 comme source alternative au FeTi70% et à l'éponge de titane. A l'époque, cette nouvelle stratégie d'approvisionnement de la filière acier avait permis de diminuer la pression sur les prix du scrap et de l'éponge alors que la demande de la filière titane en matière première était très forte. Dès lors, une parade efficace était trouvée à l'interaction néfaste dans l'approvisionnement des matières premières communes aux deux filières industrielles. Le FeTi30% peut à nouveau redevenir une source alternative sur le marché libre européen si les prix de la qualité 70% repartent à la hausse. Le critère économique est le seuil de rentabilité de la production du FeTi30%. On estime qu'un retournement de la demande sur le FeTi30% est possible si le prix du FeTi70% dépasse la barre des 7 à 8 \$/kg. En 2006 – 2007, les plus gros volumes de FeTi30% ont été échangés lorsque les prix se situaient aux alentours de 10 \$/kg. Sur la période, la concurrence du FeTi30% a fait chuter le prix du FeTi70% de 17 à 10 \$/kg.

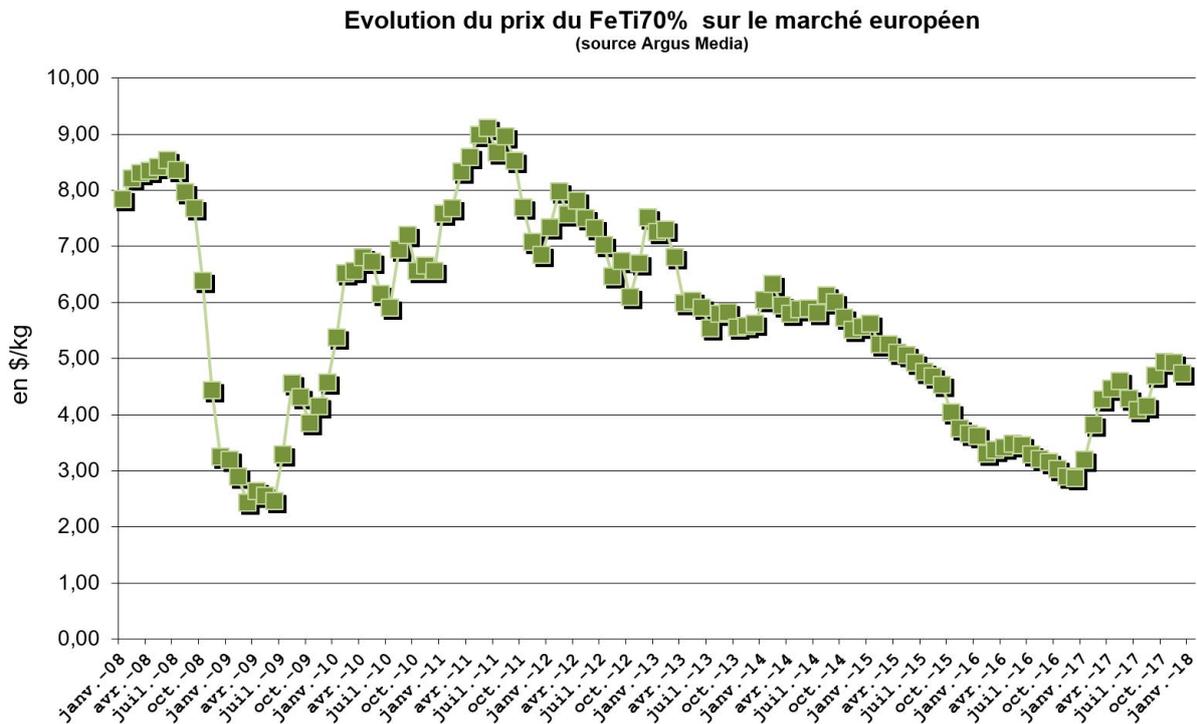


Figure 3: Prix du FeTi70% sur le marché libre européen [réf.3]

⇒ **Mécanismes économiques liant le prix des matières premières**

Dans le but de comprendre l'évolution des prix des matières premières de la filière titane, nous présentons dans le Tableau 13 situé en annexe des scénarios « génériques » qui illustrent les mécanismes de l'offre et de la demande. Ils sont basés sur l'analyse des prix depuis 2003 et tentent de dégager des niveaux de prix de référence selon différentes situations du marché : en phase de reprise de la demande et en phase de chute. Le Tableau 14 donné en annexe donne un aperçu des niveaux de prix qui, d'après notre analyse, régule l'équilibre de l'offre et de la demande entre l'éponge de qualité métallurgique, le scrap de titane et les

ferrotitanes 30% et 70%. Cette analyse du marché peut évidemment devenir caduque avec l'émergence de nouveaux déterminants économiques comme par exemple l'entrée sur le marché de nouveaux producteurs, le développement de nouveaux procédés etc.

I.2 Marché intérieur chinois

⇒ Prix de l'éponge

La Figure 4 donne l'évolution comparative des prix pour de l'éponge de qualité métallurgique sur le marché intérieur chinois et sur le marché libre européen. Pour l'éponge chinoise, nous utilisons les cotations des éponges de qualité 99,6% et 99,7% publiées par Argus Media [réf.3] et qui correspondent à la qualité métallurgique TG100/TG110 couramment approvisionnée sur le marché libre européen. On constate que le prix de l'éponge en Chine est globalement supérieur à celui du marché libre. Cela s'explique principalement par des coûts de production élevés (électricité, prix des matières premières, valorisation médiocre des produits dérivés) et par des investissements imposés par le gouvernement pour limiter les effets sur l'environnement et améliorer la sécurité dans les sites de production. Pour être compétitif, les chinois font baisser leur coût de production et leur marge dans un environnement économique très concurrentiel.

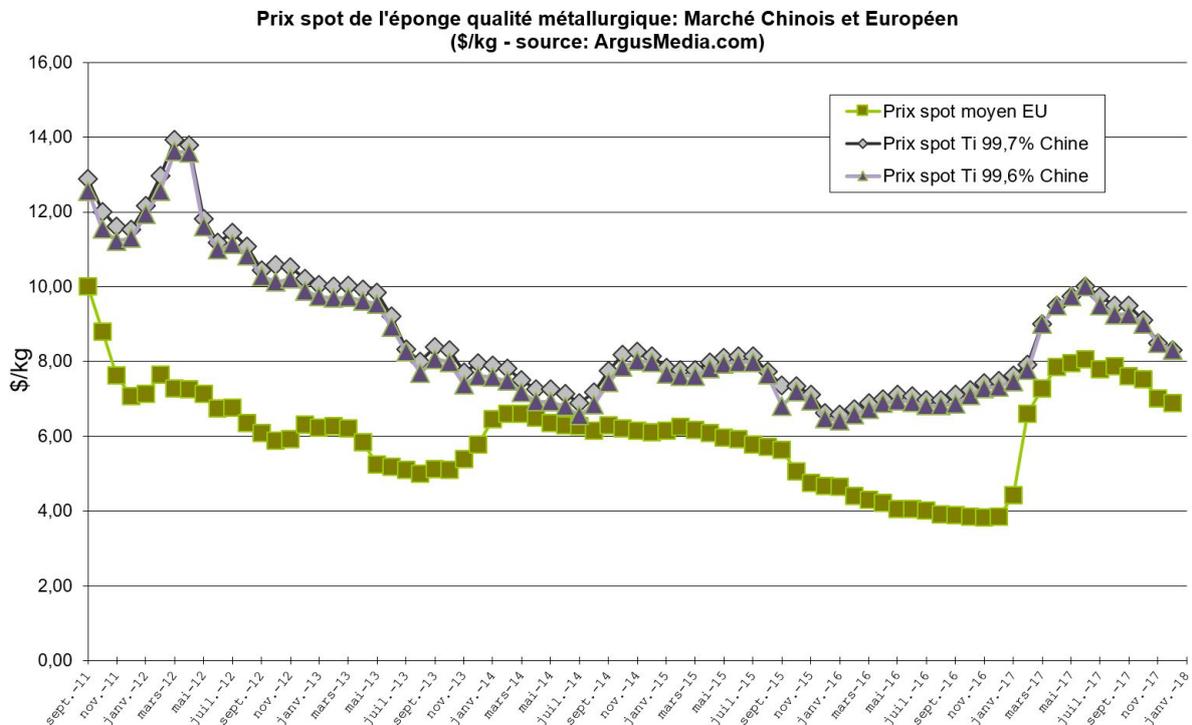


Figure 4: Prix de l'éponge sur les marchés chinois et européen [réf. 7]

⇒ **Prix du ferrotitane**

La Figure 5 donne l'évolution du prix du ferrotitane 70% sur le marché intérieur chinois ainsi que la cotation du FeTi70% sur le marché libre européen. La courbe met en évidence le fait que les prix du ferrotitane sur le marché intérieur chinois sont totalement décorrélés de la cotation sur le marché libre européen. La raison principale est que l'économie du ferrotitane en Chine fonctionne en autarcie avec une politique gouvernementale qui décourage l'import/export par une taxation aux frontières dissuasive.

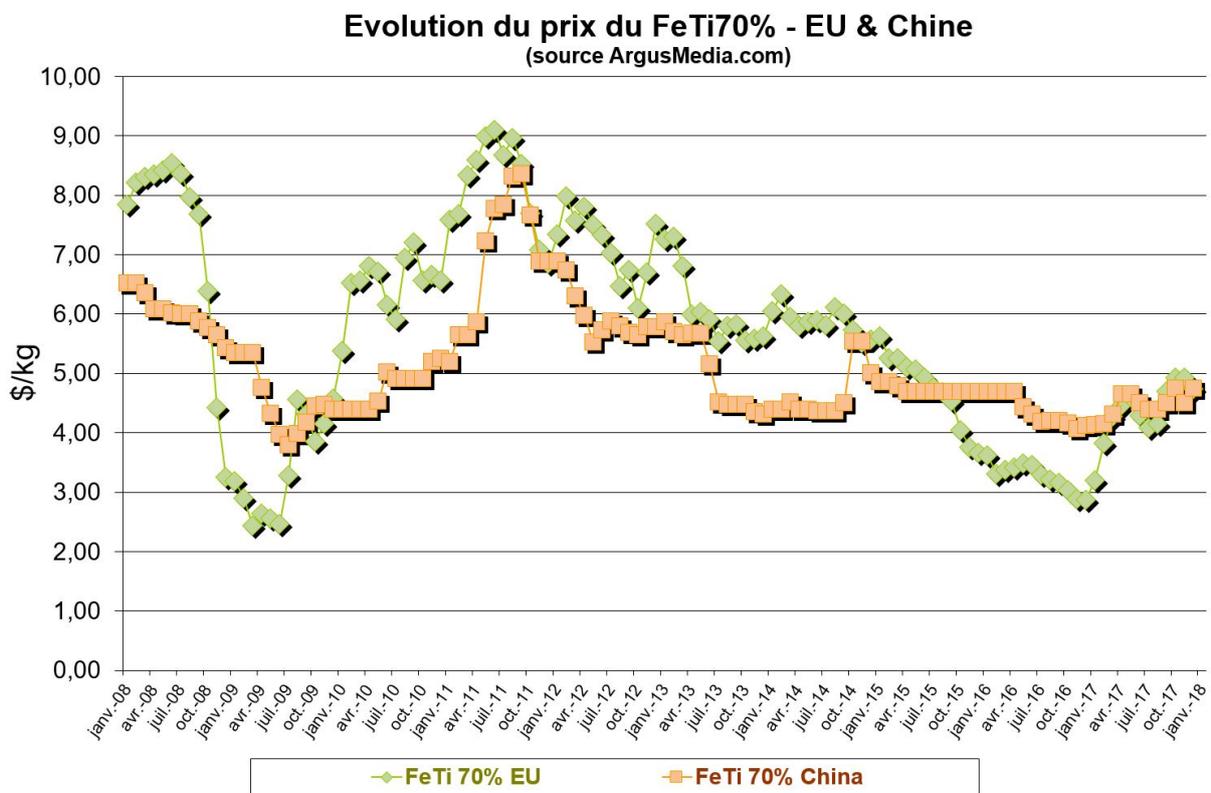


Figure 5: Prix du ferrotitane en Chine et sur le marché libre européen [réf.3]

I.3 Marché intérieur américain

Nous présentons dans les Figure 6 l'évolution des prix de différentes qualités de scrap et de celui du ferrotitane 70% sur le marché américains. L'éponge de qualité métallurgique n'est pas cotée aux USA.

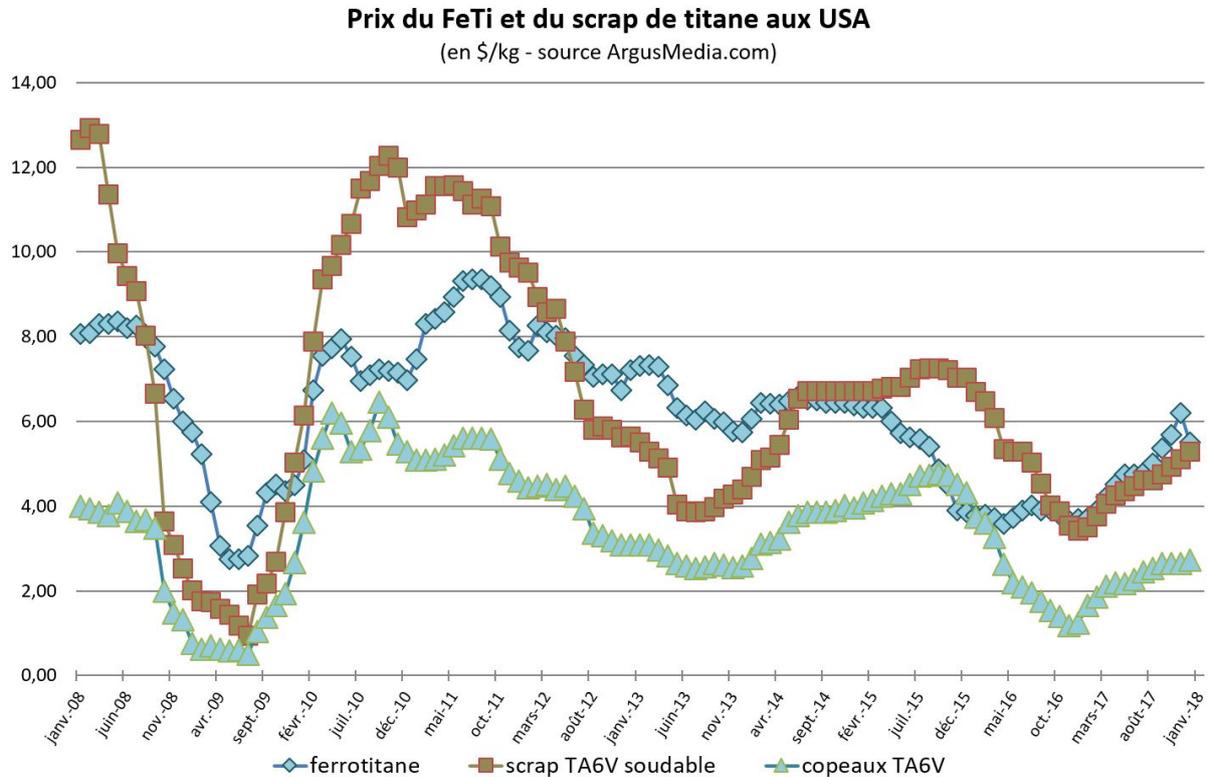


Figure 6: Prix du ferrotitane et du scrap de titane sur le marché intérieur US [réf.3]

Si l'on compare les niveaux de prix du scrap avec ceux du marché libre européen on constate que les prix sont plus élevés et que l'amplitude de variation est aussi plus importante. Cette dynamique de prix s'explique par le fait que c'est sur le sol américain que se concentrent les plus importantes capacités de recyclage de déchets titane par les techniques de fusion « foyer froid^k ». En période de demande, les prix peuvent ainsi flamber brusquement, en particulier pour les qualités supérieures (chutes solides, déchets nettoyés et contrôlés). Pour les qualités moins nobles comme les copeaux, l'amplitude des variations de prix est plus modeste. Ces déchets sont principalement valorisés dans la production de ferrotitane 70% ce qui explique la corrélation entre les prix de ces deux matières.

^k Voir Annexe I

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	22/149

II EVOLUTION DE LA DEMANDE MONDIALE DE TITANE

Nous présentons dans le Tableau 2 et les Figure 7 et Figure 8 notre estimation de la consommation mondiale de titane sur la période 2003-2016.

<i>x 1000 tonnes</i>	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Aéronautique commerciale	14-18	17-20	20-24	24-28	34-38	42-46	29-30	35-39	38-44	40-46	42-48	48-55	49-56	58-62
Applications industrielles	20-23	23-25	22-25	25-27	32-34	36-38	26-28	47-56	66-69	60-63	45-50	46-53	44-51	42-48
Applications militaires	8-10	9-12	9-12	11-13	10-12	10-11	8-9	7-8	7-8	6-7	6-7	8-9	9-10	10-12
Biens de consommation	6-7	7-8	7-8	9-10	11-13	11-13	7-9	8-10	9-12	8-10	6-9	8-10	8-10	8-10
Total	48-58	56-65	58-69	69-78	87-97	99-108	70-76	97-113	120-133	114-126	99-114	110-127	110-127	118-132

Tableau 2: Consommation mondiale de titane (2003-2016)

Le marché a bénéficié d'une forte croissance entre 2003 et 2008 (+14,3%/an) après les deux crises successives liées aux attentats du 11 septembre 2001 et à l'épidémie du SRAS¹ en 2003. Au 3^{ème} trimestre 2008, l'industrie subit de plein fouet les effets de la crise des *subprimes* initiée aux Etats-Unis en juillet 2007. La demande en titane a chuté en 2009 puis est repartie à la hausse jusqu'en 2011 mais à un rythme trop soutenu par rapport à l'état réel de la demande. Dès 2012, un cycle de baisse s'est initié en raison de stock important de matière accumulé lors de l'embellie de 2010-2011.

Après un nouveau point bas en 2013, la demande est repartie à la hausse mais globalement, les conséquences financières de la crise de 2008 sont encore présentes en 2017. En moyenne, le taux de croissance de la demande mondiale de titane entre 2003 et 2016 est de 6,8%/an. Le graphe de la Figure 7 illustre la forte variation enregistrée pour le secteur aéronautique qui, jusqu'en 2008, était parti sur un rythme de croissance très soutenu de 22,4%/an pour répondre aux besoins à moyen et long termes des nouveaux programmes d'avions.

Si l'arrivée de la crise de 2008 a effectivement eu pour conséquence de réduire les cadences de production de certains programmes et donc de diminuer les approvisionnements en titane, la chute de la consommation a également été causée par l'arrêt de la politique de sur-stockage de Boeing pour son programme Dreamliner 787. En effet, au bout de deux ans de retard cumulé c'est près de 20.000 tonnes de titane qui ont été stockées dans l'attente de la mise en production de ce programme (voir chapitre III.1.1).

¹ Syndrome Respiratoire Aigu Sévère

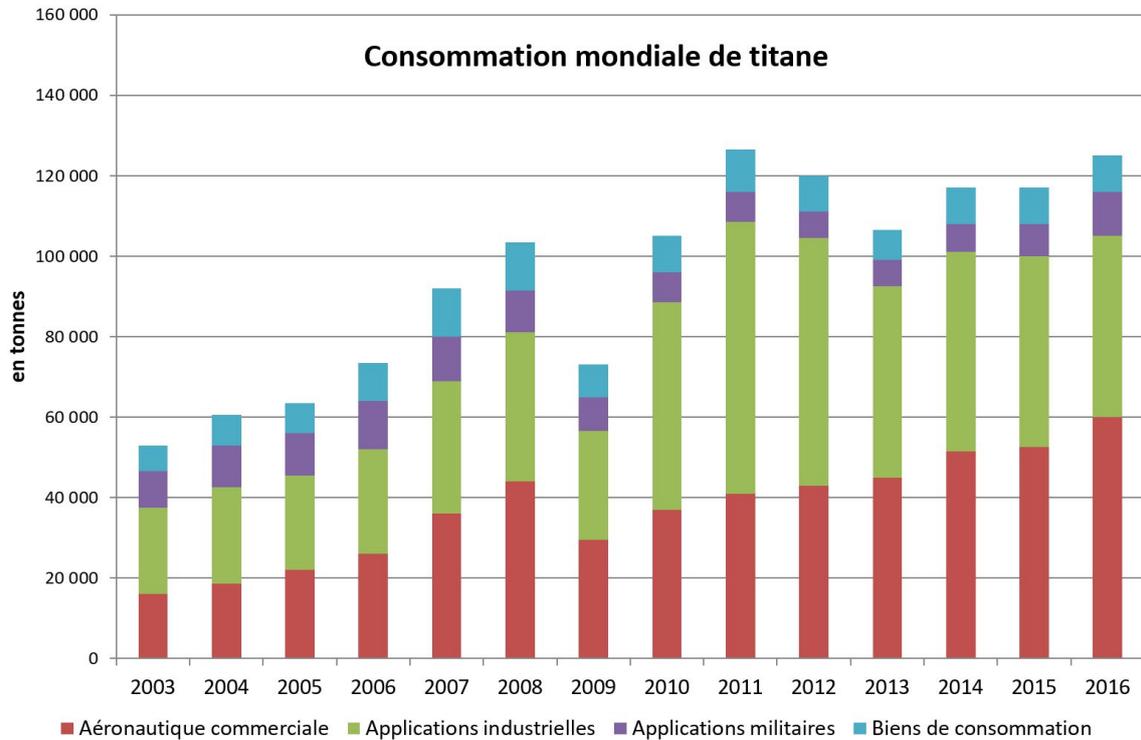


Figure 7: Evolution de la consommation mondiale de titane (en volume)

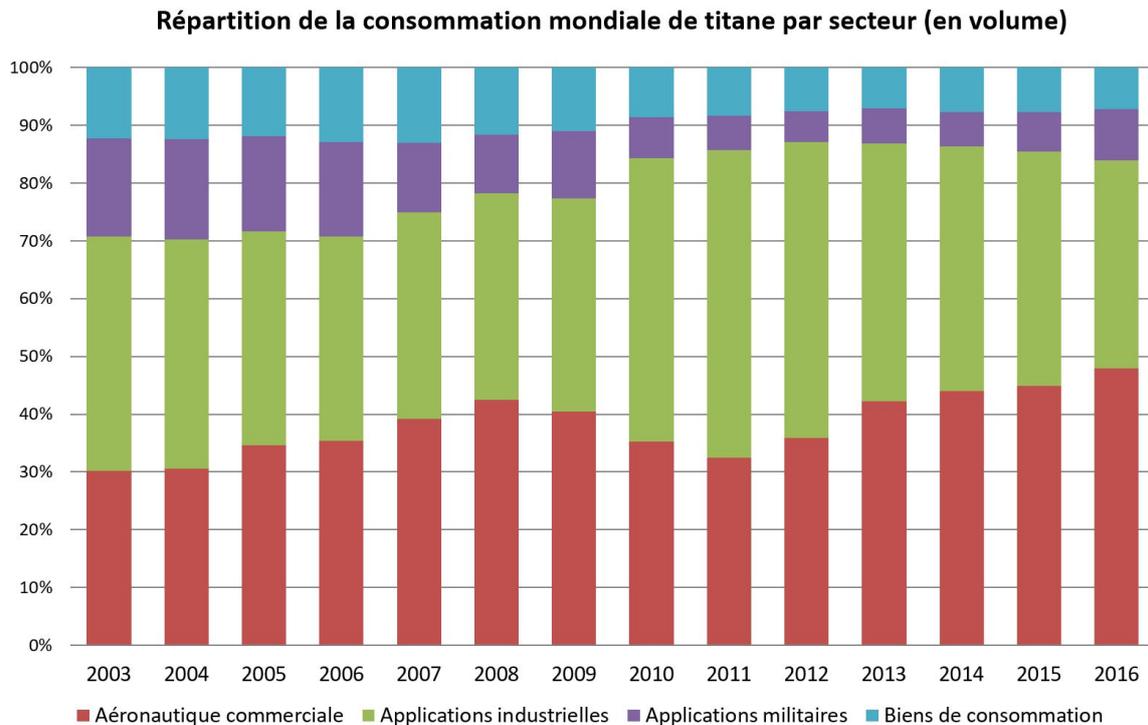


Figure 8: Evolution comparée de la consommation de titane par secteur (en volume)

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	24/149

Depuis 2010, le secteur aéronautique n'a cessé de progresser mais au rythme moins soutenu de 9,5%/an en moyenne. L'effet attendu sur la consommation de titane des nouveaux programmes d'avion composite (B787 et A350) n'est pas encore totalement atteint. Le programme B787 est entré en production depuis fin 2010, il opère fin 2017 à une cadence nominale de 12 avions/mois et Boeing prévoit d'augmenter ses cadences à 14 avions/mois en 2019, et même 16 avions/mois par la suite. De son côté, Airbus a un temps de retard car le programme A350 n'a été mis en production que fin 2014. La cadence cible de 10 avions/mois est attendue pour fin 2017.

Concernant le secteur « applications industrielles » (chimie, pétrochimie, énergie etc.), il a bénéficié d'une forte demande avec une progression de +12% entre 2007 et 2008. Composante importante de cette demande, le marché intérieur chinois a absorbé à lui seul environ 1/3 de la consommation mondiale en 2008 puis l'arrivée de la crise a gelé bon nombre de projets d'investissement dans le domaine des équipements industriels dans toutes les régions du Monde.

Le fait marquant pour ce secteur est l'émergence à partir de 2010 de « super-projets » d'usine de dessalement qui ont dopé la demande en titane sur le marché spot. Ainsi, les projets de Ras Az Zour, Yanbu III et Shoaiba en Arabie-Saoudite et Facility D au Qatar ont consommé environ plus de 15.000 t de titane entre 2010 et 2016.

Dans le domaine militaire, la demande en titane a culminé en 2006 puis a décliné jusqu'en 2013 en raison de la baisse des crédits de défense aux USA. Depuis, la consommation est reparti à la hausse à partir de 2014 avec la relance des grands programmes d'équipement dans de nombreux pays.

Historiquement dominée par l'industrie américaine, la demande mondiale dans ce secteur est de plus en plus influencée par la Chine et la Russie. En proportion, le secteur défense représente malgré tout une fraction modeste de la demande totale comme l'illustre la Figure 8.

Enfin, le secteur des biens de consommation a subi deux périodes de forte baisse en 2009 et en 2013. Ces fluctuations sont liées aux effets de la crise de 2008 sur le pouvoir d'achat des consommateurs. Certaines niches de marché comme le secteur médical ont toutefois bien résisté à la conjoncture.

Nous présentons dans les sections suivantes l'évolution de la demande intérieure dans les différentes zones géographiques consommatrices de titane.

II.1 Évolution de la demande aux USA

Aucune statistique officielle ne détaille la consommation de titane aux États-Unis. Seules les données publiées⁴ par l'U.S. Geological Survey (USGS) donnent une répartition approximative par secteur industriel. Le plus important en volume est l'industrie aéronautique commerciale et militaire qui absorbe, selon les années, entre 70% et 75% de la production

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	25/149

totale. Vient ensuite le secteur des applications industrielles, puis les autres secteurs dans un ordre d'importance variable selon les années : le médical, les applications militaires non-aéronautiques, et les biens de consommation.

Le Tableau 3 donne l'évolution de la production et de la consommation de titane aux USA depuis 2007. Après la chute de l'activité liée à la crise de 2008, la consommation est répartie sur un cycle avec un niveau record en 2011 tiré par les excellentes perspectives long terme de l'aéronautique.

Surévaluée, la demande a généré une situation de surstock de matière dans la filière qui a provoqué un nouveau cycle à la baisse jusqu'en 2013. En 2017, l'effet d'accordéon entre l'offre et la demande est encore perceptible avec un tassement de la consommation apparente alors que les livraisons d'avion sont à la hausse chaque année.

<i>(en tonnes)</i>	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
éponge	33.700	n.p.m	n.p	34.900	48.400	35.100	24.600	26.400	31.200	34.100
scrap	23.800	23.200	25.700	29.200	30.900	38.700	36.900	36.900	52.200	55.000
lingot	50.300	47.700	30.100	40.300	55.900	57.300	48.400	54.000	57.200	56.200
½ produits	33.200	34.800	23.700	38.300	45.500	39.600	34.600	37.000	38.000	38.000

Tableau 3: Consommation de titane aux USA [réf.4]

Ainsi, malgré les efforts de diversification vers de nouvelles applications émergentes, la filière industrielle américaine de production de titane reste très liée à la demande aéronautique et militaire. Les fonds de recherche, les investissements en outils de production et les axes de développements ont pratiquement tous pour objectif de servir au mieux ces marchés en termes de réduction des coûts de production et de sécurité d'approvisionnement.

Pour le secteur Défense, les dispositifs protectionnistes ou plus généralement de « préférence nationale » comme l'amendement Berry^m assurent par ailleurs efficacement aux producteurs nationaux la rente des marchés d'armement. Soldé en 2005, le stock stratégique de titane (*US National Titanium Stockpile*) n'a pas été reconstitué malgré les demandes répétées de l'industrie à l'administration américaine. Pour mémoire, ce stock a culminé à 33.400 t entre 1985 et 1995.

^m Non-publié

ⁿ Aux USA, l'amendement Berry garantit la préférence nationale aux fournisseurs d'équipements et de systèmes pour les besoins de la Défense.

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	26/149

Les Figure 9 et Figure 10 mettent en évidence l’augmentation significative des stocks industriels de matières premières depuis plus d’une dizaine d’année aux USA alors que la production de lingot ne de croît pas aussi vite.

L’évolution est particulièrement forte pour l’éponge car les capacités nationales étant sous-dimensionnées, les producteurs constituent des stocks de sécurité en prévision de l’augmentation de la demande. Ces stocks sont principalement constitués de matières importées (du Japon pour l’éponge - voir II.4).

Comparativement aux autres pays, les Etats-Unis recyclent massivement le scrap de titane pour la fabrication de lingot grâce à leur importante capacité de fusion à foyer froid (voir annexe XV). La Figure 11 donne le ratio d’emploi des matières premières : selon les années, la proportion de scrap utilisée se situe entre 40% et 60%.

Grace aux capacités de retraitement disponibles de ce pays, non seulement les déchets de titane générés localement sont revalorisés sur place mais de grandes quantités sont également importés et traités aux USA (voir ci-dessous).

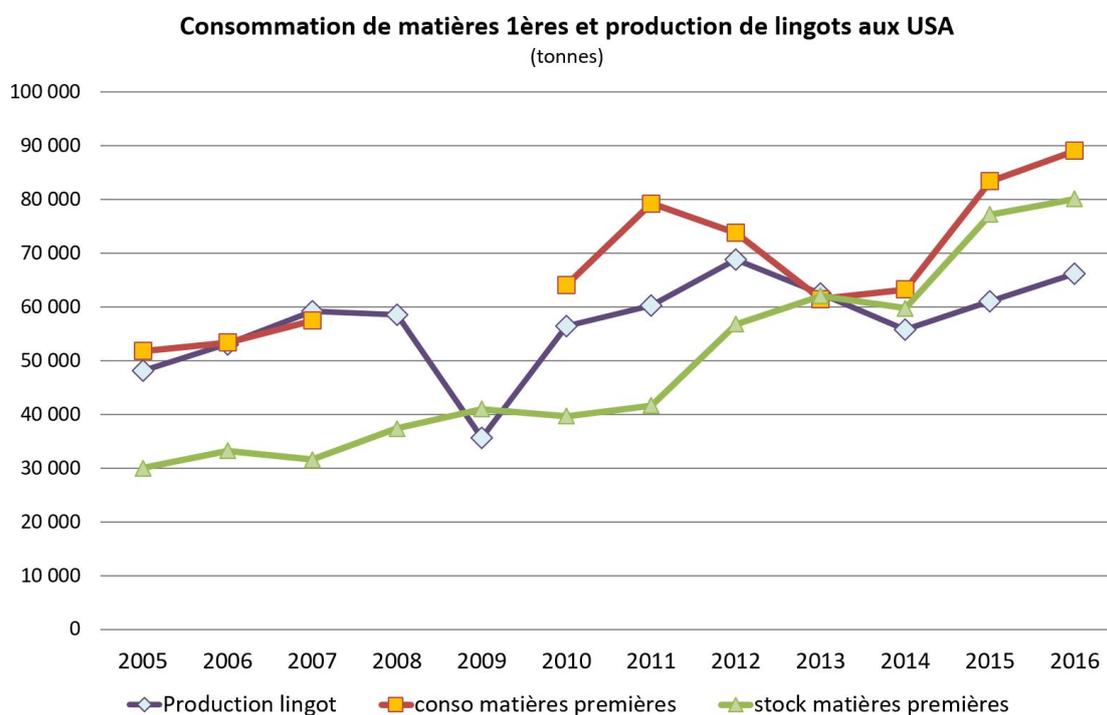


Figure 9: Consommation et stock de mat. 1ères et production de lingots aux USA [réf.4]

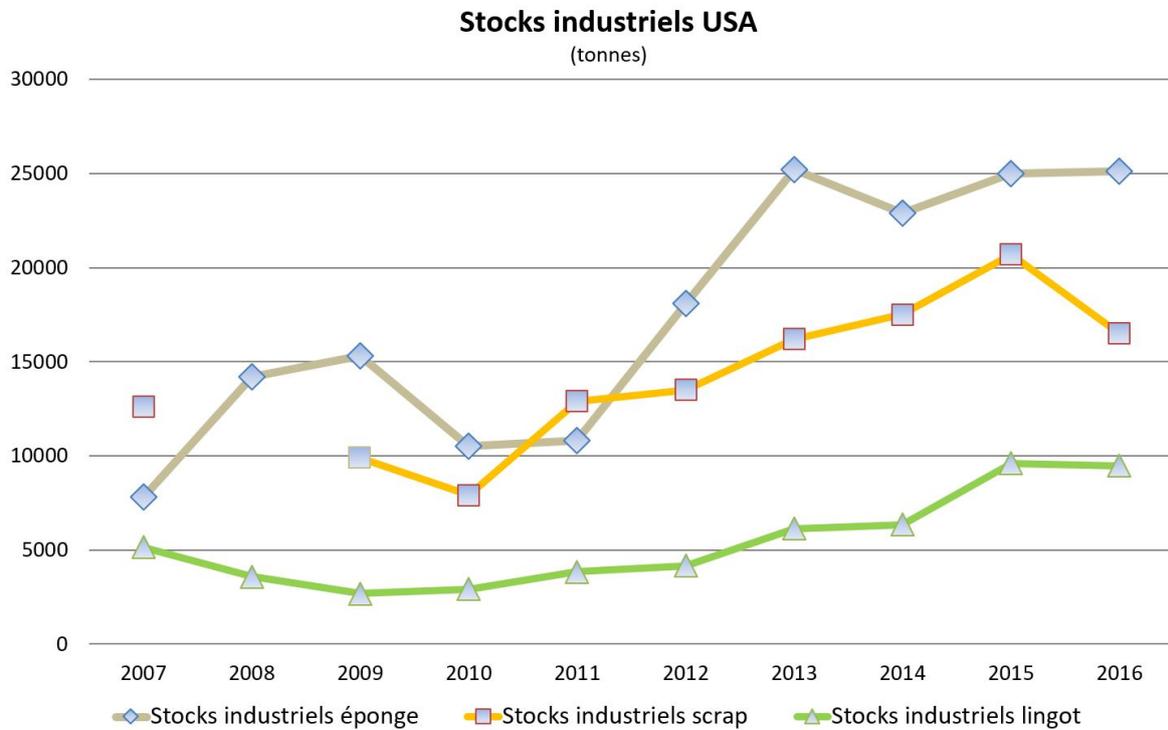


Figure 10: Stocks industriels de matières 1^{ères} et de lingots aux USA [réf.4]

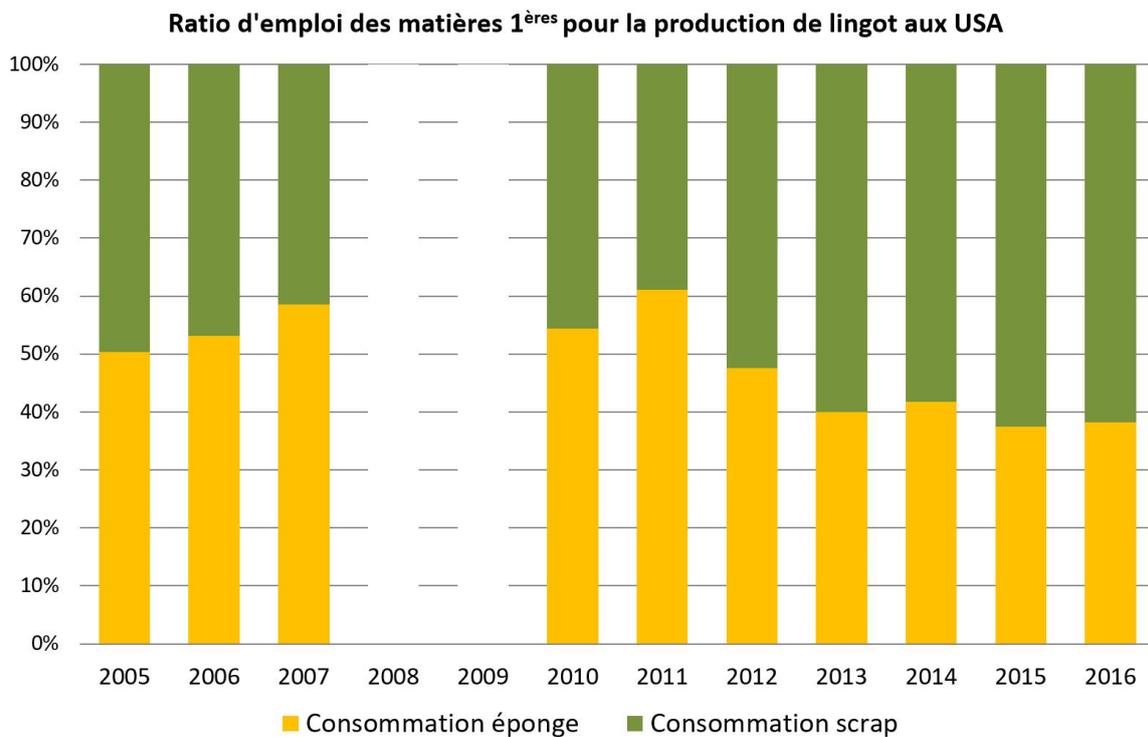


Figure 11: Ratio d'emploi éponge/scrap pour la production de lingot aux USA [réf.4]

⇒ Import – Export

Les données d'import – export des USA révèlent les échanges importants concernant les matières premières :

- l'importation massive d'éponge de titane pour compenser l'insuffisance de la production nationale. Jusqu'en 2012, le Japon et le Kazakhstan étaient les deux principales sources d'approvisionnement. A partir de 2013, l'importation d'éponge kazakhe a quasiment cessé car le producteur UKTMP s'est intégré verticalement (voir Chapitre X). Depuis, le Japon est le seul fournisseur d'éponge de qualité aéronautique pour la filière américaine;
- le scrap de titane principalement importé d'Europe et du Japon à des fins de recyclage dans les fours de fusion à foyer froid des producteurs de lingot ;
- le scrap de titane principalement exporté vers l'Europe pour de l'enrichissement de ferrotitane et du recyclage dans la production de lingot.

Les données relatives à l'import/export de lingots et de demi-produits titane ne permettent pas de tirer de conclusion sur la part de matière effectivement consommée sur le marché intérieur américain. En effet, les produits peuvent être en simple transit entre deux sites de transformation.

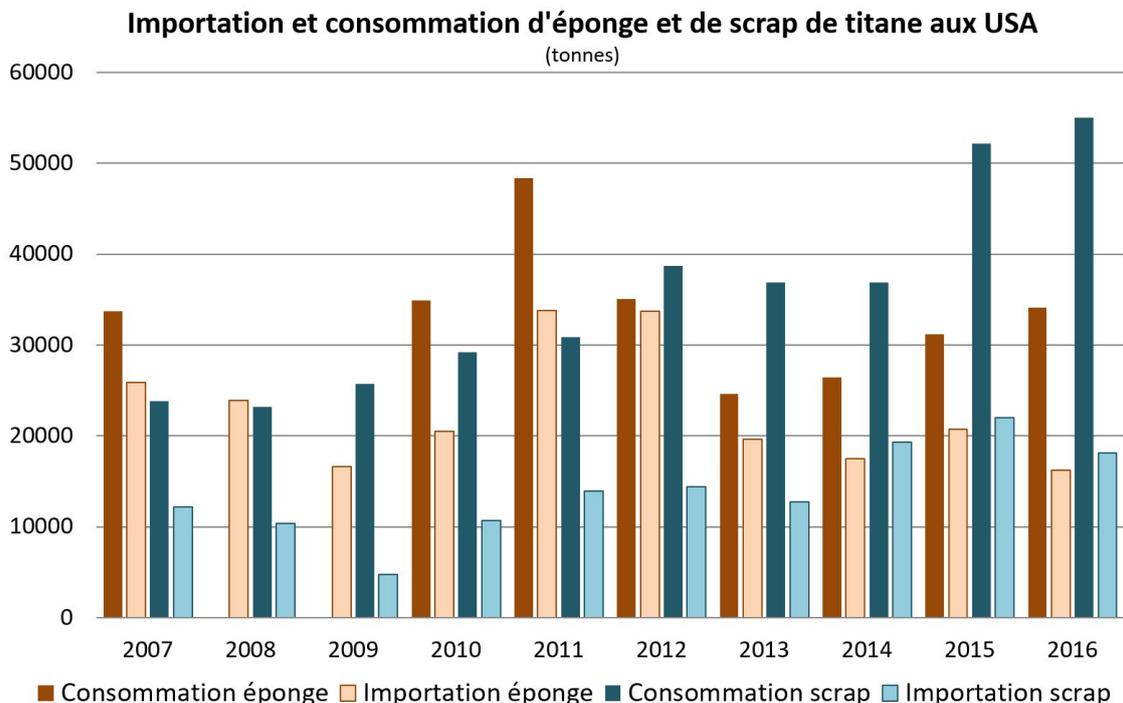


Figure 12: Importation et consommation de matières premières aux USA

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	29/149

II.2 Évolution de la demande en CEI

Après la chute du mur de Berlin, la demande intérieure en CEI a commencé à reprendre de la vigueur au début des années 2000 et a atteint un pic en 2007 avec une consommation de 9.000 tonnes de titane. Sur la période 2008 – 2010, cette demande a été fortement affectée par la crise financière puis elle est à nouveau repartie à la hausse jusqu'en 2014 comme l'illustre la Figure 13. Depuis, la consommation est de l'ordre de 10.000 t/an et les perspectives d'évolution sont stable sur les 5 prochaines années. Ces chiffres sont issus du producteur russe VSMPO⁵ qui contrôle la quasi-totalité des filières d'approvisionnement en CEI.

Le redémarrage de l'activité industrielle russe au début des années 2000 est dû à un soutien gouvernemental fort. Le producteur de titane russe VSMPO – AVISMA est un acteur stratégique pour les secteurs de pointe comme l'aéronautique, l'armement, le naval, l'énergie etc. Dans le secteur aéronautique, la reconstruction des capacités de production d'avions est motivée par le besoin de renouvellement de la flotte qui date de l'URSS.

A l'initiative du gouvernement russe, deux réorganisations industrielles se sont opérées : l'une concerne les constructeurs d'avions qui ont été rassemblés dans le groupe « OAK Joint Aviation Compagny (JAC) » et l'autre concerne les fabricants de moteurs qui ont été regroupés dans le consortium « JEMC ». Les programmes aéronautiques de la CEI sont présentés dans les paragraphes III.1.3 (avions de ligne), III.2.5 (avions régionaux) et IV.2 (avions militaires).

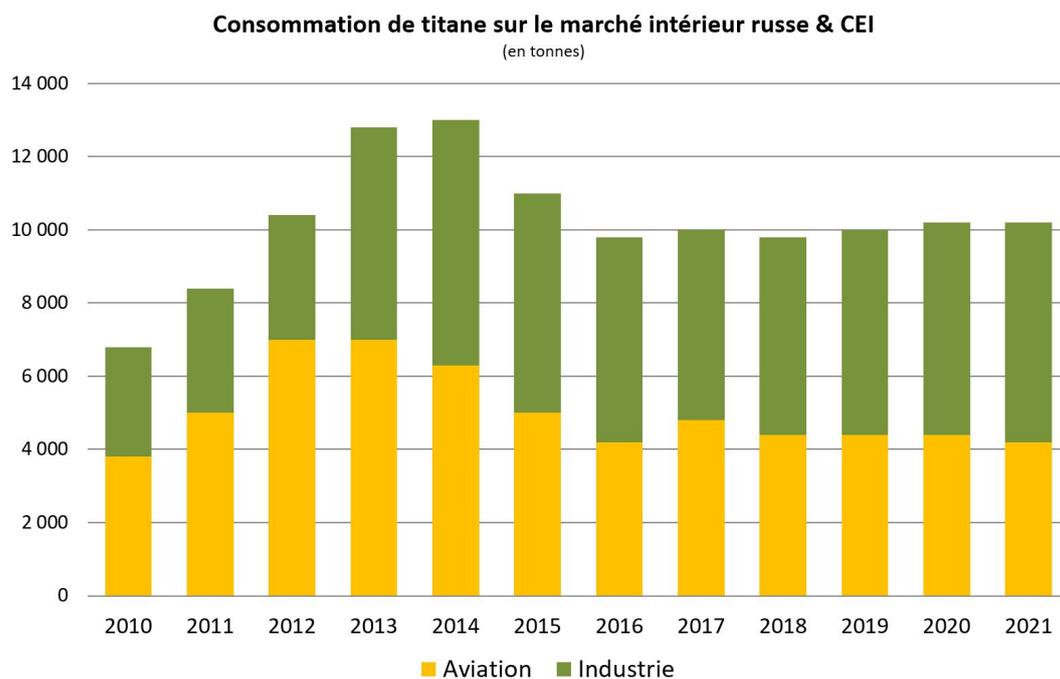


Figure 13: Évolution de la consommation de titane sur le marché intérieur en CEI [réf.5]

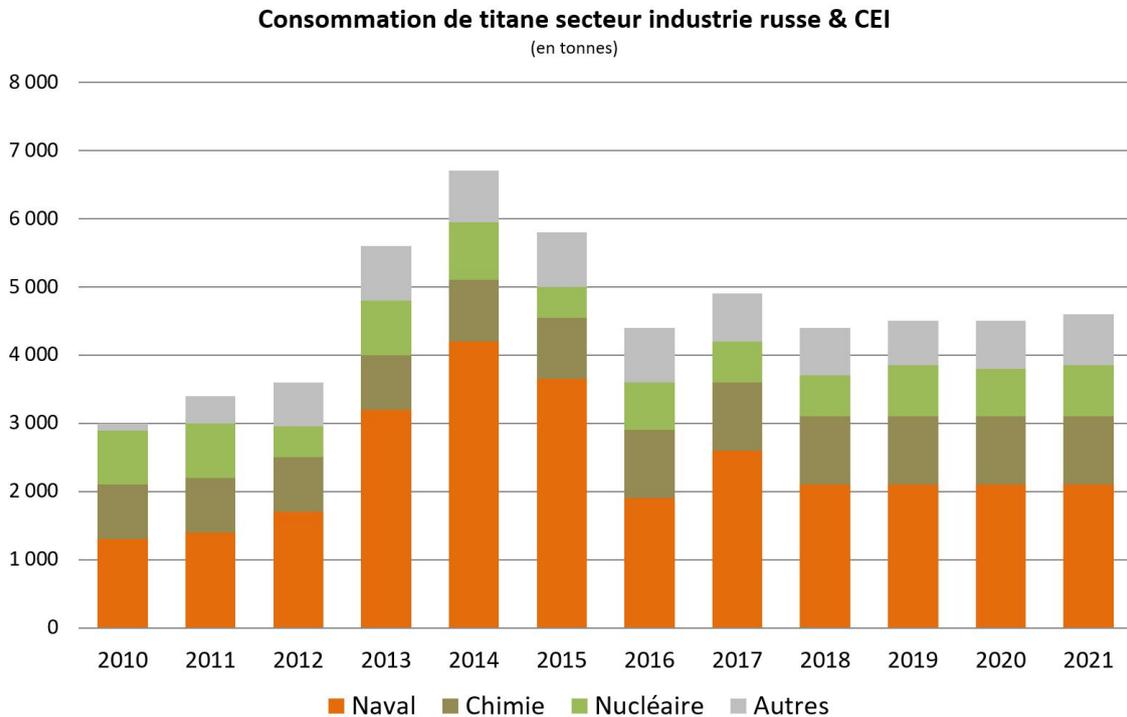


Figure 14: Évolution de la consommation de titane du secteur industriel en CEI [réf.5]

L'activité industrielle russe du titane est organisée autour d'une « zone économique spéciale » (SEZ) appelée « Titanium Valley » située à Verkhniaïa Salda dans l'Oural. La SEZ regroupe les acteurs nationaux du secteur et profite de condition économique et d'infrastructure privilégiées.

II.3 Évolution de la demande en Chine

Nous présentons dans le Tableau 4 l'évolution de la consommation globale de titane sur le marché intérieur chinois^{6,7} entre 2007 et 2016.

(en tonnes)	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Consommation	23.640	24.068	24.965	37.054	49.392	50.331	41.338	44.468	43.717	44.156

Tableau 4: Consommation de titane sur le marché intérieur chinois [réf. 6,7]

En Chine, le titane est très majoritairement consommé dans le domaine de l'industrie (voir Figure 15). Les autres utilisations sont :

- Les biens de consommation (sport & loisir, médical) ;
- Le secteur aéronautique & espace ;

- Les marchés de niche : la production d'énergie, le dessalement, la construction navale et les technologies marines, la défense etc.

Les données détaillées sont présentées dans le Tableau 15 en annexe XX.

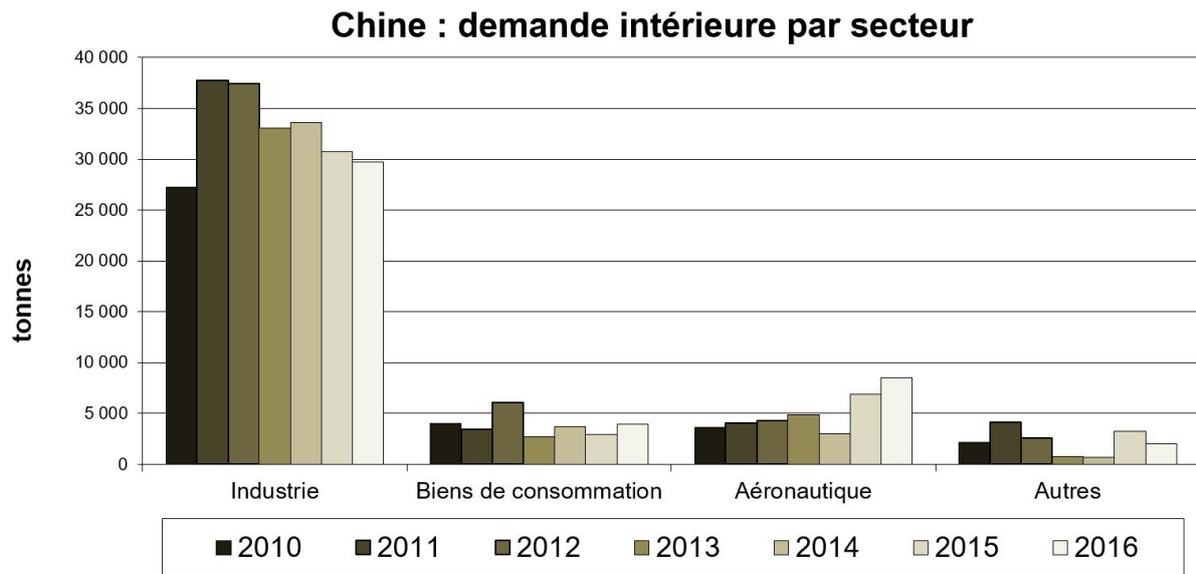


Figure 15: Consommation de titane sur le marché intérieur chinois par secteur 2010-2016 [réf. 6,7]

Le secteur « chimie » est le premier marché d'application en Chine. Il représente à lui seul près de la moitié de la consommation de titane. Si l'on regroupe avec les autres secteurs liés aux applications « industrielles^o », on met en évidence la prédominance de cette composante qui représente entre 70% et 80% de la demande intérieure chinoise. Comparé à la consommation mondiale, la part de la demande chinoise pour ce secteur représente 60% à 70% du total mondial.

La consommation de titane en Chine est donc très liée à l'effort d'industrialisation du pays en particulier pour la transformation des ressources minérales et organiques. Bien que plus modeste en volume (de l'ordre de 10%), la demande aérospatiale est stratégique pour le gouvernement chinois. Outre l'objectif affiché d'avoir un constructeur d'avions chinois en 2016, le gouvernement de Pékin compte sur ce besoin pour faire émerger des champions nationaux capables de concurrencer, en qualité et en technicité, les meilleurs producteurs de titane. Le levier le plus efficace utilisé par le gouvernement chinois est certainement la négociation de marchés de compensation impliquant la fabrication et l'assemblage de pièces aéronautiques.

Comparativement aux autres pays, la demande intérieure chinoise a bien résisté aux effets de la crise financière jusqu'en 2012. Cette apparente stabilité est en fait le résultat de la

^o Production d'électricité, dessalement et technologies marines

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	32/149

mise en place à partir de novembre 2008 d'une politique de soutien à l'industrie par le gouvernement chinois. Parmi les mesures prises, le « State Reserve Bureau » (SRB) a créé un stock stratégique de 20.000 tonnes titane entre fin 2008 et le premier semestre 2010. Constitué d'éponge et de lingots de titane, cette énorme commande financée par l'État a permis de soutenir les industries en amont et en aval de la filière. L'opération a été renouvelée en novembre 2013 puis en octobre 2014 dans une relative discrétion et sans annonce officielle.

La commande a porté sur un volume de 8.700 t puis de 10.000 t de lingot de titane. Fin 2016, le stock stratégique chinois est estimé à environ 20.000 t de titane. La finalité de cette réserve de matière n'est pas déclarée mais elle pourrait être destinée à un usage militaire.

Les informations collectées⁸ sur les stocks de matière déclarés en inventaire de fin d'année dans la filière industrielle chinoise sont données dans les figures suivantes.

⇒ Import – Export

Les statistiques aux frontières chinoises [réf.7] présentées dans la Figure 16 montrent la relative autosuffisance de la Chine vis-à-vis de ses besoins en titane et sa faible implication dans l'offre internationale. Les volumes concernés sont en effet très limités par rapport à l'activité globale du marché chinois.

A l'export, les matières concernées sont principalement l'éponge^p et, dans une moindre mesure, les produits longs et les produits plats d'épaisseur supérieure à 0,8 mm. En 2011, les exportations d'éponge ont été exceptionnelles en raison de la forte demande dans le domaine du dessalement. Au niveau des importations, la Chine s'approvisionne à l'étranger en produits dont elle maîtrise mal les techniques de production et la qualité : les tubes et les produits plats d'épaisseur inférieure à 0,8 mm.

En général, l'éponge est importée pour les applications exigeant un haut niveau de qualité comme le spatial, le militaire. Le niveau des exportations est principalement fonction de la compétitivité prix de l'éponge chinoise par rapport à l'offre internationale. Les pics d'exportation correspondent aux périodes où les prix ont été proches.

^p Pour sa production d'éponge, la Chine importe du minerai de titane pour compléter la production locale dont la qualité ne permet pas de satisfaire toutes les exigences de production. Les importations proviennent principalement du Vietnam, d'Australie et d'Inde.

Chine: Consommation marché intérieur - import/export

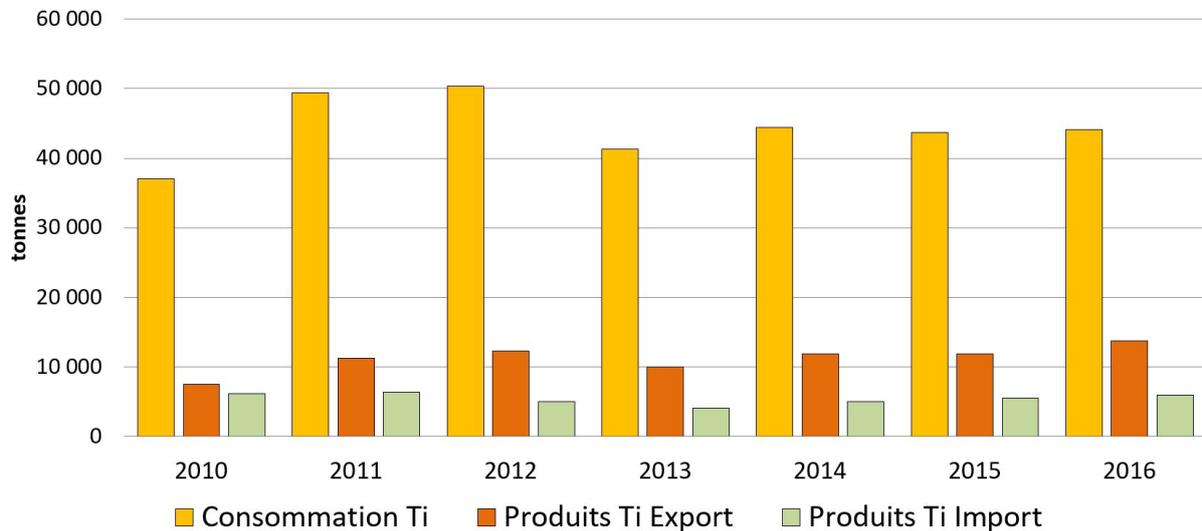


Figure 16: Import – Export de produits en titane comparé à la consommation intérieure en Chine [réf.7]

Eponge chinoise: Import - Export

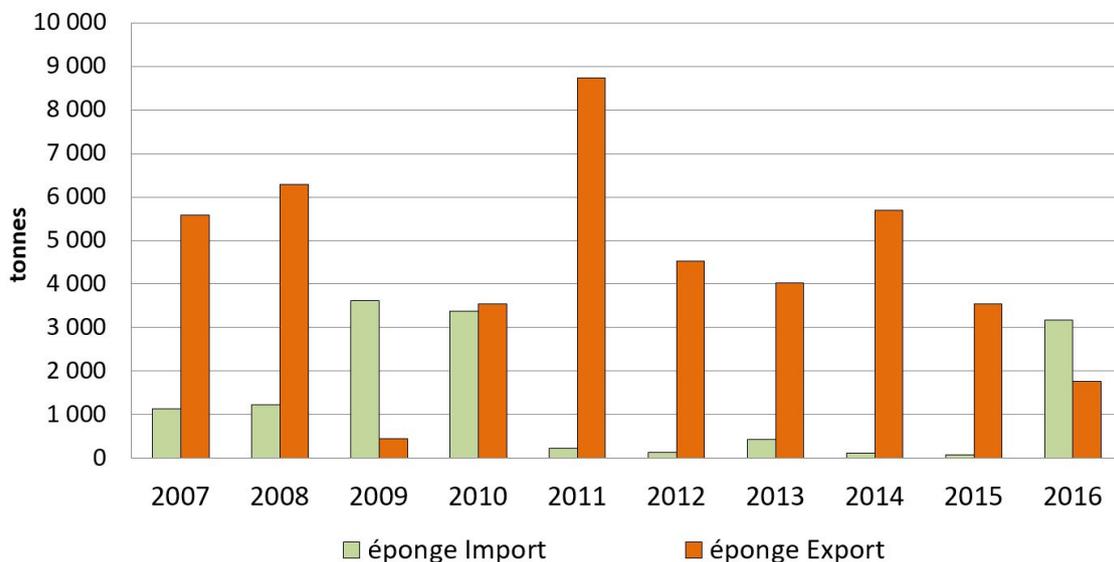


Figure 17: Import-Export d'éponge de titane en Chine [réf.7]

II.4 Évolution de la demande au Japon

La Figure 18 donne la répartition par secteur de la consommation de titane sur le marché intérieur japonais⁹. Ce graphe met en évidence la prédominance des applications « industrielles » avec, en tête, le secteur de la chimie.

Dans le panorama mondial, c'est au Japon que la diversification vers les marchés émergents est la plus marquée grâce à une activité de R&D importante pour développer de nouveaux produits en titane dans des domaines comme l'automobile, l'architecture, les biens de consommation etc. La dernière application émergente est la pile à combustible pour la voiture électrique Mirai de Toyota.

Globalement, la demande intérieure japonaise a durement été impactée par la crise de 2008 avec un véritable effondrement de la consommation en titane en 2009 (-58%). Cette année-là, la consommation japonaise est repassée en dessous de celle de 1995. Après un regain d'activité jusqu'en 2011, elle s'est à nouveau affaïssée jusqu'en 2013 et peine encore à redémarrer en 2017. Tous les secteurs de la demande ont suivi la même tendance à l'exception de l'aéronautique qui bénéficie d'une politique gouvernementale de soutien au développement et de grands investissements industriels dans le domaine de la fabrication de pièces aéronautiques.

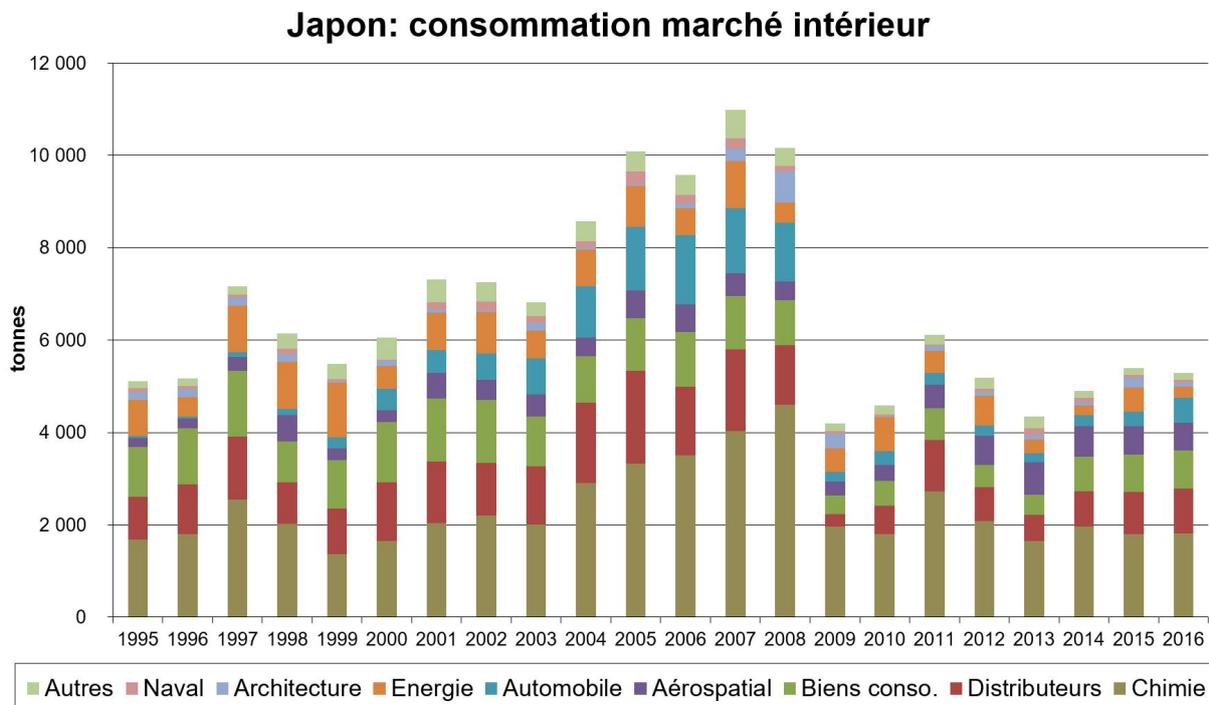


Figure 18: Consommation de titane au Japon par secteur [réf. 9]

⇒ **Import – Export**

La Figure 19 illustre l'importance de l'exportation dans l'économie du titane au Japon. Historiquement consommatrice de 40 à 50% de la production annuelle, la part de l'exportation des produits titane a bondi en 2009 car la crise a frappé plus durement le marché intérieur que la demande internationale. Dès lors, la part des exportations est restée majoritaire avec une proportion de 2 pour 1 par rapport la demande domestique. La Figure 58 présentée en annexe donne le détail des exportations par secteur d'application. On constate que la grande majorité des produits est destinée au secteur « industriel ».

Le Japon est également un gros exportateur d'éponge de titane avec environ 1/3 de sa production annuelle exportée. Comme l'illustre la Figure 20, ce pays fournit principalement les USA et l'Europe. En contrepartie, le Japon importe de l'éponge, d'Ukraine, du Kazakhstan, de Russie et de Chine et des produits titane principalement des USA (voir la Figure 59 et la Figure 60 en annexe).

Japon: Consommation marché intérieur/export

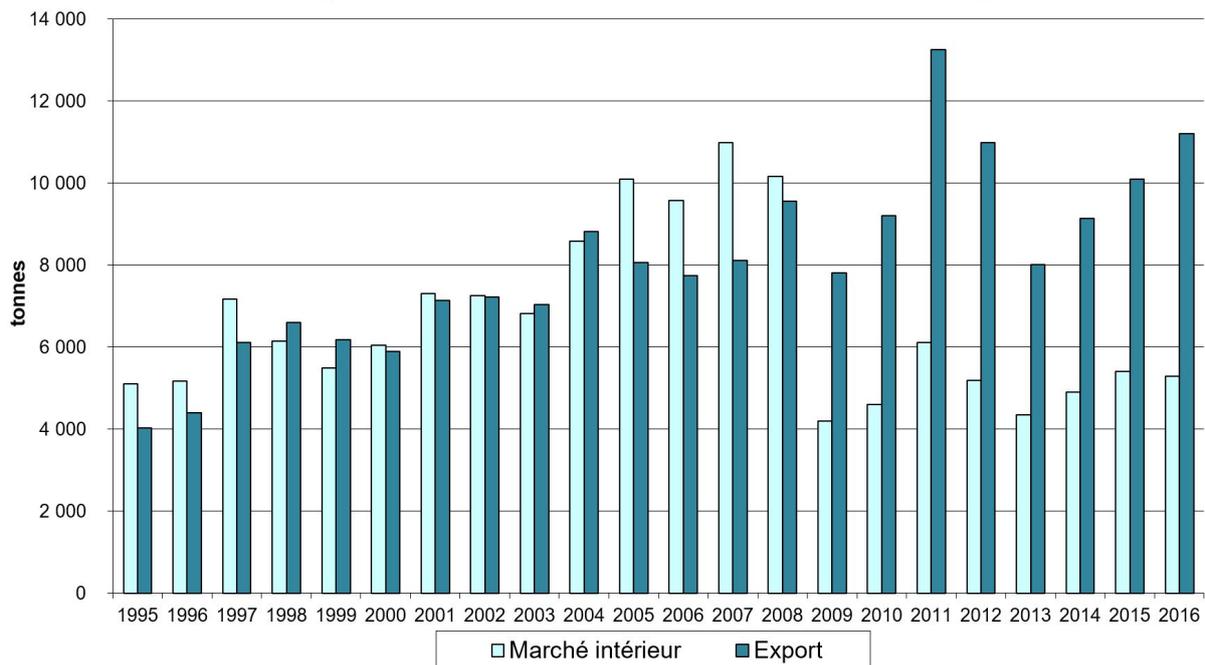


Figure 19: Ratio consommation intérieure/export au Japon [réf. 9]

Japon: Exportation d'éponge et de lingots

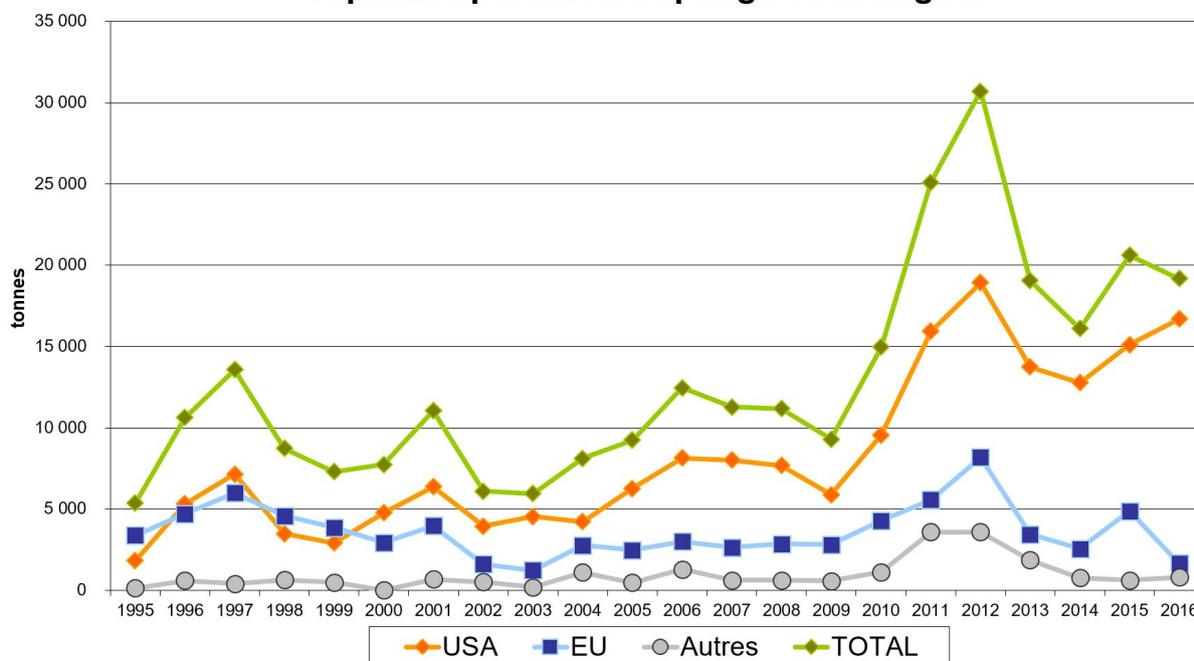


Figure 20: Exportations d'éponge du Japon [réf. 9]

II.5 Évolution de la demande en Europe

Une estimation de l'évolution de la demande en titane sur le marché intérieur européen est présentée dans le Tableau 5. Aucune statistique officielle n'étant publiée, les chiffres présentés ci-dessous ont été calculés par soustraction entre la production mondiale de titane et la consommation des USA, du Japon, de la Chine et de la CEI.

(en tonnes)	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Applications industrielles	11.000	13.000	9.000	9.000	9.000	6.000	5.000	3.300	6.600	7.000
Aéronautique commerciale	9.000	10.000	9.500	11.000	10.000	12.000	14.000	15.000	14.000	18.500
Applications militaires	1.000	900	700	500	400	400	400	500	600	700
Biens de consommation	1.300	1.000	700	400	300	300	300	300	300	300
TOTAL	22.300	24.900	19.900	20.900	19.700	18.700	19.700	19.500	23.000	26.500

Tableau 5: Évolution de la consommation de titane en Europe

Sans capacités de production d'éponge et avec des moyens de fusion limités, l'Europe est malgré tout un acteur important au niveau de la demande mondiale. Avec une

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	37/149

excellente maîtrise technique et scientifique des procédés de mise en forme et de transformation, l'Europe contribue activement à l'utilisation du titane dans tous les secteurs industriels et travaille à l'émergence de nouvelles applications. L'existence de réseaux associatifs structurés et entreprenants, ou se mêlent industriels, universitaires et centres techniques, est l'une des clefs de ce succès.

Il résulte de cette ouverture relativement large sur les domaines d'application une répartition de consommation par secteur dominée par l'aéronautique et les applications industrielles qui représentent la majorité de la consommation européenne. Toutefois, depuis la crise de 2008, le seul secteur qui poursuit son développement est l'aéronautique, les autres secteurs ayant perdu environ la moitié de leur volume sur la période. Depuis 2014, la demande est répartie à la hausse dans le secteur industriel et l'armement.

⇒ Import – Export

La dépendance vis-à-vis des besoins en titane se traduit par des importations massives^{10,11,12} de matière en provenance des principaux pays producteurs (USA, Russie, Japon, + Kazakhstan pour l'éponge) qui placent l'Europe à la première place des pays importateurs. Le titane importé sous la forme d'éponge, de lingot et de demi-produits est transformé dans les usines européennes et intégré en assemblage final ou réexporté.

Le Tableau 6 et le Tableau 7 donnent une synthèse des quantités échangées aux frontières. Au niveau des exportations, on constate la faiblesse du redémarrage de l'activité en Europe depuis 2008.

Importation <i>(en tonnes)</i>	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Éponge & Poudre	26.121	28.734	16.000	23.418	38.605	34.982	34.848	32.609	31.282
Plaques	10.535	10.132	6.140	9.063	14.373	12.511	11.292	11.702	14.220
Barres	8.239	9.589	5.863	6.906	13.951	14.907	16.210	17.034	17.779
Tubes	2.564	1.520	1.867	1.408	1.210	1.603	1.692	1.647	2.314
Autres	4.192	4.286	2.606	3.312	4.890	7.371	6.036	5.835	6.176

Tableau 6: Importation d'éponge et de produits en titane en Europe [réf.10,11,15]

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	38/149

Exportation <i>(en tonnes)</i>	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Éponge & Poudre	9.153	8.455	5.787	10.244	9.955	8.617	8.363	7.947	8.476
Plaques	16.568	4.459	1.387	2.084	3.639	3.604	3.895	3.080	3.516
Barres	4.478	4.094	3.014	3.872	5.272	6.558	6.540	7.341	7.527
Tubes	2.134	4.355	1.810	1.223	3.639	1.537	2.360	1.662	1.555
Autres	3.795	3.030	2.362	2.434	6.496	6.733	6.951	3.872	3.169

Tableau 7: Exportation d'éponge et de produits en titane depuis l'Europe [réf.10,11,15]

Nota bene : Les valeurs données dans les tableaux ci-dessus sont les quantités de matière importées en Europe depuis l'étranger, exportées depuis l'Europe vers l'étranger et au sein de l'Union Européenne.

III PERSPECTIVES POUR LE MARCHE AERONAUTIQUE

Le titane est un matériau de choix pour les concepteurs d'aéronefs car c'est un métal qui présente des caractéristiques mécaniques spécifiques⁹ attractives (en particulier en résistance et en fatigue mécanique) tout en bénéficiant d'un bon comportement à la corrosion. Son emploi requiert toutefois des précautions de conception et de mise en œuvre, comme la sensibilité à l'effet d'entaille et le mauvais comportement tribologique. Présent dans les pièces structurales et dans les moteurs de tous les avions modernes, le titane a un domaine d'emploi en température qui lui permet de concurrencer les aciers et les alliages d'aluminium jusqu'à environ 600°C. Dans cette compétition, si le titane présente de nombreux avantages techniques, il est toutefois fortement pénalisé par son prix et par ses conditions d'approvisionnement. Les orientations technologiques sur les dernières générations de turboréacteurs introduisent par ailleurs de nouvelles solutions matériaux qui concurrencent les alliages de titane : les composites pour les aubes de soufflante, les aluminures de titane, les superalliages base nickel etc.

Pour la partie structurale, les nouvelles générations d'avions de ligne (B787, A350) ont durci les critères de sélection pour les matériaux en imposant des limites plus contraignantes sur les performances spécifiques. L'aluminium, matériau de choix pour les cellules d'avion, est ainsi remplacé par les composites à matrice organique (CMO), plus légers et plus résistants à la corrosion. La Figure 61 donnée en annexe illustre la part prépondérante des CMO dans ces avions. Déjà bien positionné par ses caractéristiques performance/poids, le titane gagne un nouvel atout déterminant dans la compétition avec les autres métaux aéronautiques : il est compatible chimiquement (comportement à la corrosion) et thermiquement (dilatation) avec les CMO employés pour ces nouveaux avions. Le volume de titane consommé dans le secteur aéronautique augmente donc progressivement avec la montée en puissance de ces nouveaux programmes. Le Tableau 8 donne un aperçu du cadencement d'entrée en service de ces programmes entre 2011 et au-delà de 2020.

⁹ Performance mécanique rapportée à la densité

Programme (pays)	Segment	2011	2015	2016	2017	2018	2020+
Sukhoï SuperJet (RU)	Avion régional	04/11	-----	-----	-----	-----	-----
Boeing B787 (USA)	Avion de ligne	09/11	-----	-----	-----	-----	-----
COMAC ARJ21 (CN)	Avion régional		12/15	-----	-----	-----	-----
Airbus A350 (EU)	Avion de ligne		01/15	-----	-----	-----	-----
Bombardier CSeries (CAN)	Avion régional			07/16	-----	-----	-----
Airbus A320neo (EU)	Avion de ligne			01/16	-----	-----	-----
Boeing B737 MAX (USA)	Avion de ligne				06/17	-----	-----
Irkut MS21 (RU)	Avion de ligne					-----	-----
Airbus A330neo (EU)	Avion de ligne					-----	-----
Mitsubishi MRJ (JPN)	Avion régional						-----
COMAC C919 (CN)	Avion de ligne						-----

Tableau 8: Nouveaux programmes aéronautiques sur 2011 – 2020+ (1^{ère} livraison)

En synthèse, la Figure 21 donne la prévision de la consommation de titane pour l'ensemble du secteur aéronautique commercial. Ce graphe est basé sur les données qui sont détaillées dans les sections suivantes.

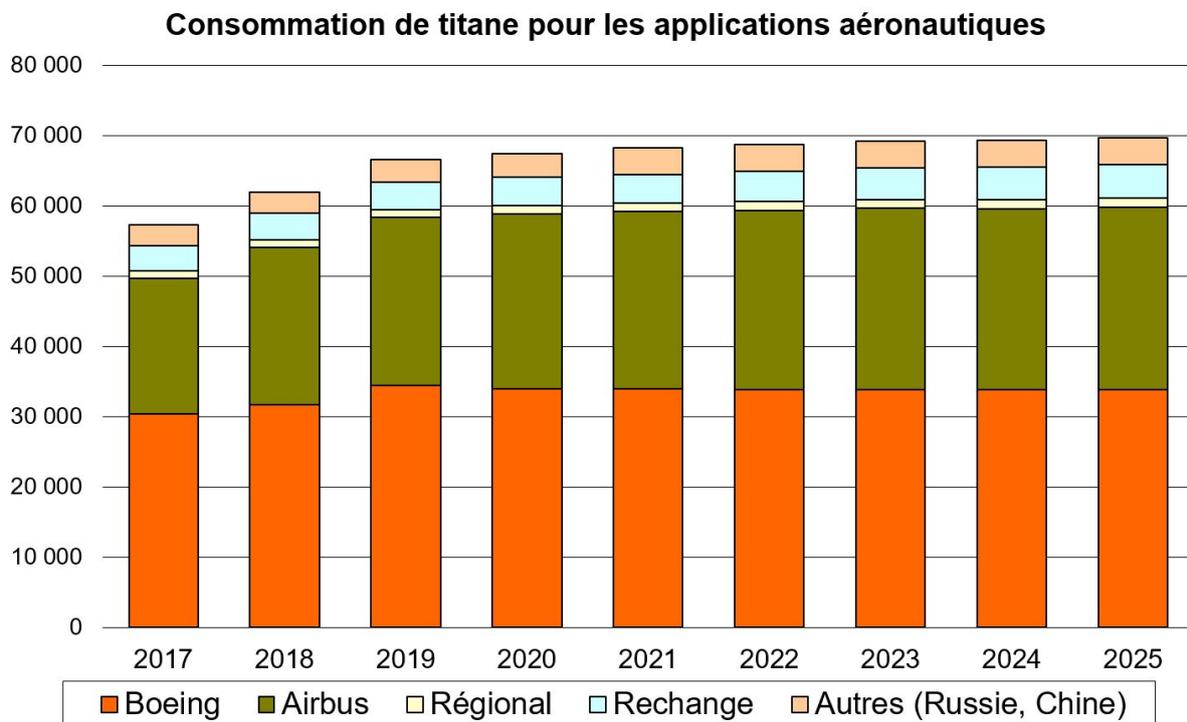


Figure 21: Évolution de la consommation de titane dans le secteur aéronautique

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	40/149

III.1 Avions de ligne (capacité supérieure à 100 sièges)

Sur le segment des avions de ligne de plus de 100 sièges, les constructeurs Airbus et Boeing se partagent actuellement l'essentiel du marché mondial^r. Nous présentons dans la Figure 64 donnée en annexe, l'historique de productions annuelles des deux avionneurs entre 1994 et fin décembre 2016. En mai 2017, deux nouveaux avions de ligne ont fait leur premier vol : le C919 du nouvel entrant chinois COMAC et l'Irkut MS21 du consortium russe OAK. Leur mise en service est attendue respectivement en 2020 et 2018. Les avions de plus de 100 sièges représentent la plus forte demande aéronautique qui est estimée, au total, entre 35.000 et 41.000 avions pour les 20 prochaines années^{13,14}. Le segment des monocouloirs (familles A320 et B737) concentre environ 60% de cette demande.

Les déterminants de la demande pour le segment des avions de ligne sont d'une part le taux de croissance du trafic mondial aérien sur les 20 prochaines années (+4,4%/an) avec une composante plus forte dans la région Asie/Pacifique (+5,6%/an) et d'autre part le renouvellement des flottes vieillissantes dans les pays développés avec des avions plus économes en carburant. La flotte commerciale actuelle compte 20.500 avions. L'augmentation du trafic prévue dans les 20 prochaines années nécessitera la mise en service d'environ 22.000 avions de plus et le besoin en renouvellement de la flotte est estimé à 13.000 avions. Avec environ 7.000 avions fabriqués avant 2016 encore en cours d'exploitation, la prévision de flotte commerciale de 2036, tous segments confondus, serait au total de l'ordre de 42.500 à 46.950 avions selon les sources [réf.13,14].

⇒ Avions parqués et retrait du service

La Figure 22 ci-dessous donne l'évolution du pourcentage d'avions parqués¹⁵, c'est-à-dire le nombre d'avion retirés temporairement du service pour des raisons économiques liées (coûts d'exploitation trop élevés, baisse de la demande etc.). Les baisses de trafic aérien liées aux crises du 11 septembre 2001 (attaque terroriste aérienne) et de 2008 (crise des subprimes) et l'envolée du prix du pétrole de 2013 se sont traduites par une augmentation du nombre de ces avions retirés de la flotte active. En théorie, le retour en service est principalement piloté par la durée de vie moyenne en service des avions qui est de l'ordre de 26 ans¹⁶. Par ailleurs, il est en général admis qu'un avion immobilisé plus de 3 ans a de faible chance d'être un jour remis en service.

Après les crises de 2001 et 2008, les avions parqués ont effectivement repris le service comme le montre la figure ci-dessous. Depuis, l'augmentation considérable du prix du pétrole entre 2009 et 2014 (voir Figure 62 et Figure 63 en annexe) a accéléré le besoin de remplacement et réduit fortement la probabilité de remise en service du parc d'avions immobilisé. Lors du pic du prix du baril à 100\$/baril en 2013/2014, le carburant a compté pour plus de 30% des charges d'exploitation des compagnies aériennes alors qu'il ne représentait que 10 à 12% il y a 15 ans.

^r Une part minime du marché est servie par le russe Tupolev

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	41/149

La baisse du prix du baril à partir de 2014 à des niveaux comparables à avant la crise a fait chuter le taux d'avions immobilisés à 7,6% en 2017 (2.100 avions sur une flotte totale de 27.800).

Au global, on estime que le nombre d'avion qui sera retiré du trafic au cours des 20 prochaines années sera de l'ordre de 18.000, soit environ 3%/an de la flotte en service [réf.14].

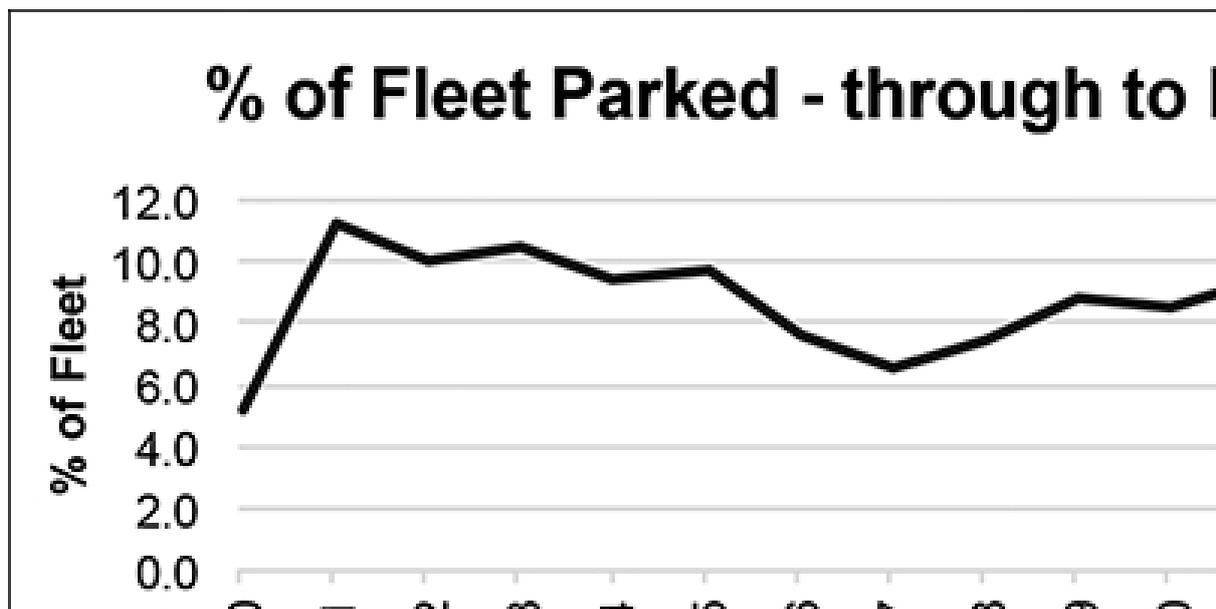


Figure 22: Évolution du pourcentage d'avions parkés [réf.15]

III.1.1 Airbus & Boeing

Airbus et Boeing ont connu une période très faste pour les prises de commande d'avion entre 2005 et 2014, avec un creux de 3 années entre 2008 et 2010 en lien avec la crise des *subprimes* (voir Figure 65 en annexe XXV).

L'arriéré de production (« backlog ») a atteint un point culminant à 12.589 avions fin 2016 soit environ 1/3 des besoins à long terme de l'aéronautique commerciale (voir Figure 66 en annexe XXVI).

Depuis, le ralentissement des prises de commandes a commencé à faire décroître ce backlog qui représente tout de même encore environ 8 ans de production au rythme actuel. La Figure 23 détaille le contenu des carnets de commande des deux avionneurs au 30/11/2017.

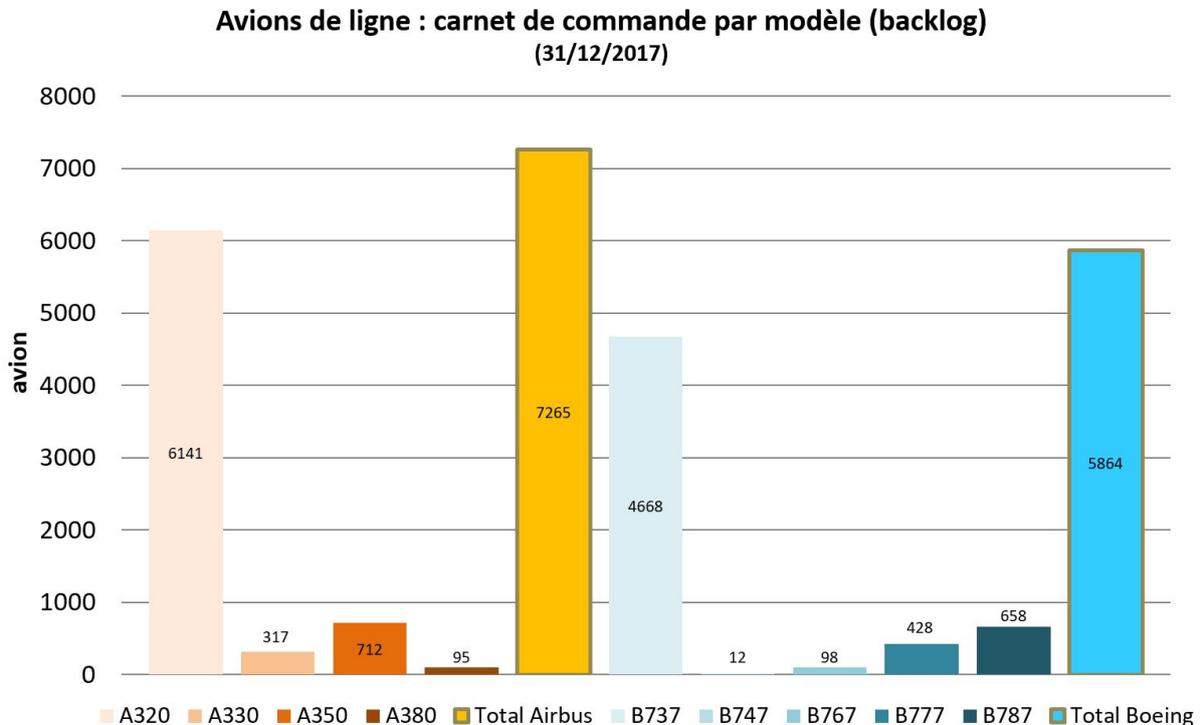


Figure 23: Carnet de commande (backlog) d'Airbus et de Boeing au 31/12/2017

Pour apprécier l'impact de cet arriéré de production sur la consommation en titane il faut pondérer ces chiffres par les quantités de titane approvisionnées par type d'avion, présentées dans le Tableau 9.

Airbus	tonnes/avion
A320	12
A330	22
A350	97
A380	112
Boeing	tonnes/avion
737	18
747	41
767	16
777	60
787	95

Tableau 9: Quantité moyenne de titane approvisionnée par famille d'avion

On constate alors dans la Figure 24 le poids que représentent les nouveaux programmes A350, A380 et B787 sur la consommation de titane pour les années à venir. Au final, ils représentent la moitié des besoins futurs qui sont estimés à environ 325.000 tonnes.

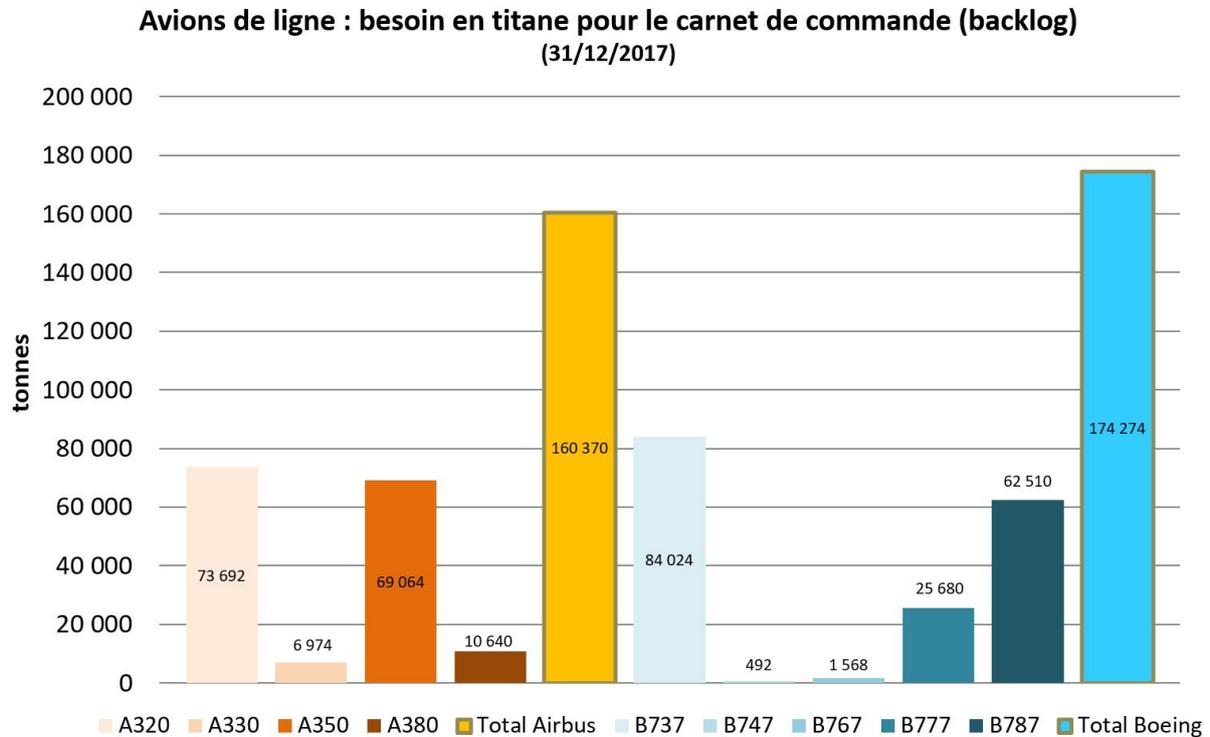


Figure 24: Besoin en titane du carnet de commande d'Airbus et de Boeing (31/12/2017)

Grace à ces chiffres et aux hypothèses de cadences de production mensuelles, on peut faire une estimation de la consommation de titane pour les prochaines années. Cette estimation présentée dans la Figure 25 prend en compte un délai moyen de l'ordre de 9 mois entre la date d'approvisionnement en titane et la date de livraison de l'avion.

Par ailleurs, on pourra retrouver l'historique de production d'avions entre 1994 et 2016 dans la Figure 64 de l'annexe XXIV. Enfin, nous présentons dans la Figure 26 la prévision de production annuelle d'avion pour Airbus et Boeing.

Prévision de consommation annuelle de titane Airbus - Boeing
 (besoins théoriques hors stocks)

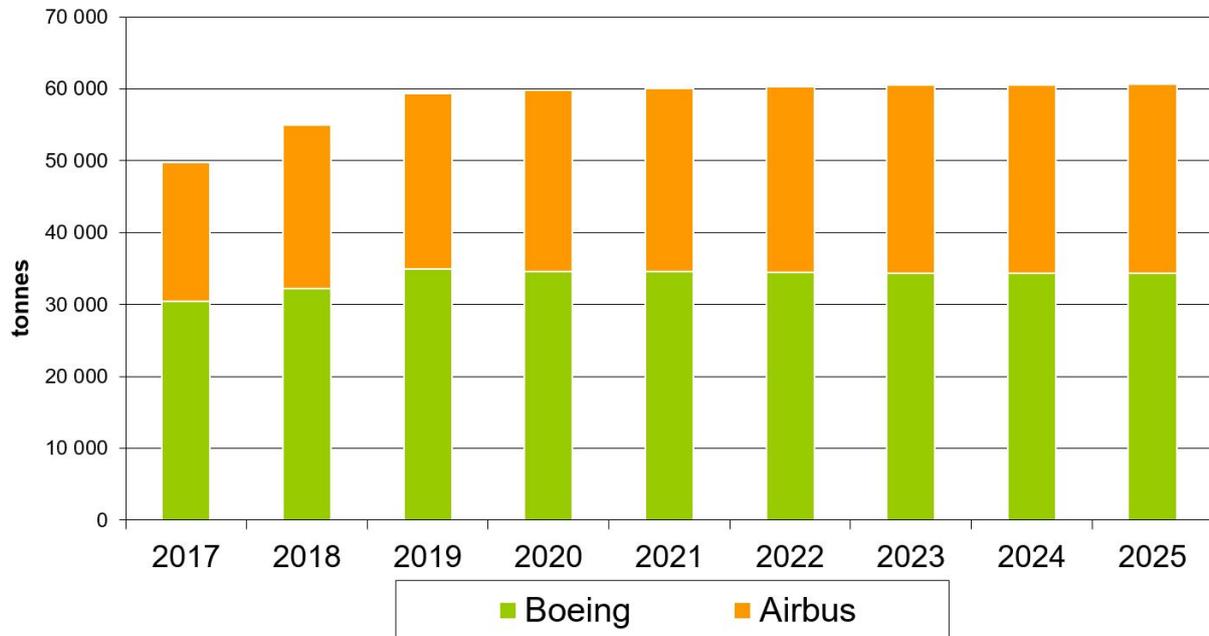


Figure 25: Prévision de consommation de titane d'Airbus et de Boeing 2017 – 2025

Evolution de la production annuelle d'avion pour Airbus & Boeing

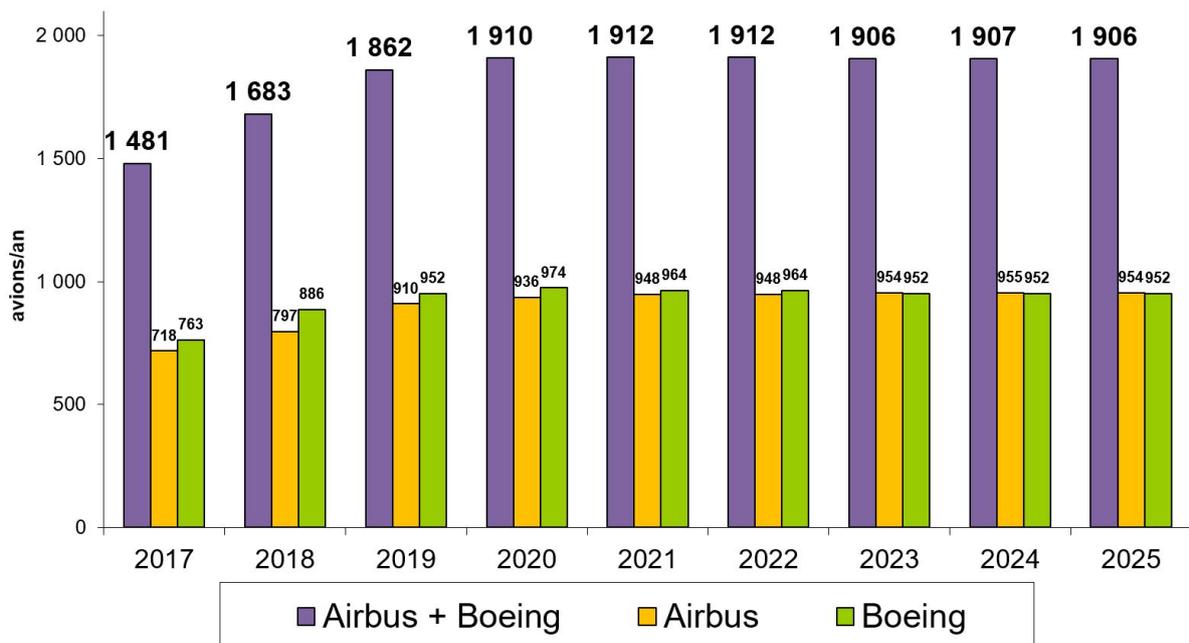


Figure 26: Prévision de production annuelle d'avion pour Airbus et Boeing 2017 – 2025

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	45/149

III.1.2 COMAC : émergence de la concurrence aéronautique chinoise

Le gouvernement chinois a confié au groupement industriel COMAC (Commercial Aircraft Corp. Of China) les missions de Recherches & Développements, fabrication et commercialisation des futures familles d'avions chinois. Le programme de COMAC a démarré avec l'avion régional ARJ21 (voir paragraphe III.2.4) puis se poursuit avec le premier avion de ligne chinois moyen-courrier le C919^s dont le premier vol au eu lieu début mai 2017.

Cet avion accueillera, en fonction des versions, 168 à 190 sièges afin de concurrencer la gamme des moyen-courriers A320 et B737. Le programme C919 a été officiellement lancé par le gouvernement chinois en mai 2008 avec comme objectif initial de réaliser un premier vol en 2014 et une entrée en service en 2016. Finalement, le programme a pris 3 ans de retard. La chaîne d'assemblage située à Pudong (proche de Shanghai) a débuté fin 2009. Elle est dimensionnée pour produire quelques dizaines d'exemplaires d'avions par an (C919 et ARJ21). L'avionneur chinois prévoit de livrer 4 avions d'ici 2019 puis 50 avions/an à partir de 2022.

Compte-tenu du niveau de technicité encore insuffisant du tissu industriel chinois de l'aéronautique, un appel d'offre international a été lancé pour trouver des partenaires et fournisseurs étrangers pour les moteurs, équipements et pièces détachées. COMAC a retenu de nombreux fournisseurs d'équipements déjà partenaires d'Airbus et Boeing pour la production de la première génération de C919 mais l'objectif du chinois est d'acquérir à moyen terme la totalité de la technologie aéronautique. Par exemple, les moteurs et les nacelles de l'avion chinois qui seront sous-traités dans un premier temps à Safran/GE (CFM International pour le moteur et Nexcelle pour la nacelle – voir la Figure 68 en annexe) ont vocation à passer, à terme, sous maîtrise industrielle chinoise.

Les 570 premières commandes de C919 ont été passées par des compagnies aériennes chinoises dont le besoin est estimé entre 5.400 et 6.810 avions pour les 20 prochaines années. Sur ce total, COMAC ambitionne de fabriquer 2.000 avions d'ici à 2037 soit en moyenne 100 avions/an. L'avion chinois risque d'être confiné aux vols intérieurs faute d'autorisation de vol à l'international délivrée par les autorités de certification américaines et européennes. Le reste du marché sera servi par Airbus et Boeing.

Pour gagner des parts de marché en Chine, Airbus a délocalisé en Chine une ligne d'assemblage d'A320 située à Tianjin. Ce site, opérationnel depuis 2009, produit actuellement 4 avions/mois soit la moitié de sa capacité théorique. En mars 2014, Airbus a signé un engagement d'extension de la production jusqu'en 2025. En septembre 2017, Airbus a également inauguré un nouveau site dédié à la finition des A330. De son côté Boeing n'a pas encore passé le pas d'assembler ses B737 en Chine mais a annoncé l'inauguration en 2018 d'un site de finition pour cet avion à Zhoushan (sud de Shanga).

^s Le « 9 » est symbole de longévité et le « 19 » rappelle la capacité de 190 sièges de l'avion.

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	46/149

Le développement de l'industrie aéronautique chinoise profitera donc, dans un premier temps, aux producteurs historiques qui sont seuls capables de fournir à la Chine les produits titane de haute technologie nécessaires à la réalisation de ses programmes.

Basée sur des technologies modernes, la conception du C919 ne porte pas de rupture technologique pouvant induire des consommations de titane significativement plus élevées que celles de ses concurrents actuels.

En mai 2017, COMAC et le consortium aéronautique russe UAC ont annoncé la création de la joint-venture CRAIC (China-Russia Commercial Aircraft International Co.) dont l'objet est la gouvernance du futur programme d'avion « à fuselage large » baptisé C929. Cet avion biréacteur long-courrier à double couloir accueillera 280 sièges dans sa version de base. Conçu avec un fuselage composite, il concurrencera l'A350 et le B787, voire également l'A330. Les premières livraisons sont prévues entre 2025 et 2027.

III.1.3 AOK : renouveau de l'industrie aéronautique en CEI

Le gouvernement russe a une volonté forte de relancer l'industrie aéronautique en CEI sur tous les segments de la demande (voir également le paragraphe III.2.5). Concernant le marché des avions de ligne et des avions de transport, les programmes qui sont actuellement actifs sont :

- Le Tupolev Tu-204/214 (avion de ligne russe de 163 à 201 sièges)
- L'Ilyushin II-96 (avion long-courrier russe de plus de 300 sièges)
- L'Ilyushin II-476 (ou II-76MD-90A, avion de transport militaire de gamme 50t)
- Le Beriev Be-200 (avion à usage spécial produit par le russe Irkut Corporation)

Par ailleurs, la Russie a lancé son programme de nouvel avion de ligne MS-21 (ou MC-21) qui est destiné à remplacer les Toupolev Tu-204, Tu-154 B et M sur les marchés d'Europe de l'Est, de la Chine et de l'Inde. L'avion assemblé sur le site d'Irkout, le fabricant d'avions militaires Yack et Soukhoï, sera commercialisé en deux versions: MC-21-200 (130 à 165 places) et le MC-21-300 (169 à 211 places). Il est propulsé par un moteur Pratt & Whitney PW1400G Pure Power et un moteur russe PD-14 développé par le constructeur Aviadvigatel OJSC qui motorise déjà, entre autre, les modèles Tu-204, Tu 214 et II-96.

Le premier vol du MS-21 a eu lieu en mai 2017 et sa mise en service devrait intervenir en 2018. Irkout indique avoir enregistré 175 commandes fermes et 100 intentions de commandes.

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	47/149

III.2 Avions régionaux (avion jusqu'à 130 à 149 sièges)

Selon les estimations des constructeurs d'avions régionaux, le besoin du marché est estimé entre 10.520¹⁷ et 14.250¹⁸ nouveaux avions pour la période 2017 – 2033. En comparaison, la flotte en service en 2017 est de 6.900 avions.

Avec les projections actuelles de cadence de production, on estime¹⁹ les livraisons d'avions régionaux passeront de 340 avions/an actuellement à 330/349 avions/an jusqu'en 2022 puis d'augmenter à 425 avions/an sur la période 2026/2030.

Le segment de marché est actuellement occupé par les constructeurs Bombardier (Canada), Embraer (Brésil) et Antonov (Russie) mais ils seront concurrencés à partir de 2018 par le chinois COMAC (ACAC) et par le japonais Mitsubishi à partir de 2020.

III.2.1 Embraer (Brésil)

L'évolution du besoin vers des avions de plus grande capacité a eu pour effet de tarir le carnet de commande des avions de 30 à 50 sièges couvert par la gamme des ERJ 135, 140 et 145 du constructeur brésilien Embraer. La production s'est arrêtée en 2011, quatre ans avant l'échéance prévue par Embraer. Pour la gamme 60 à 90 sièges (Embraer-170, Embraer-175), le carnet de commande est de seulement 1 avions²⁰ pour l'Embraer-170 et de 92 avions pour l'Embraer-175. Enfin, pour les plus gros avions E-190 et E-195 offrant une capacité de 98 à 122 sièges, le constructeur brésilien a respectivement 51 et 8 avions en commande.

Pour répondre à l'évolution de la demande aéronautique, Embraer a introduit en 2011 la famille d'avions E-jet E2 qui doit remplacer la gamme actuelle. Le 175-E2 remplacera l'actuel E-175 dans la gamme des 80 sièges à partir de 2020, le 190-E2 offrant 106 sièges remplacera l'E190 à partir du deuxième semestre 2018 et le 195-E2 offrant 132 sièges remplacera l'E195 à partir de 2019. Les avions seront propulsés par des moteurs Pratt & Whitney's PurePower PW1700G et PW1900G.

Contrairement aux annonces de maintien des cadences de production à 8 avions/mois, le constructeur brésilien devra probablement réduire son rythme sur les programmes actuels pour assurer un niveau minimum d'activité sur ses lignes d'assemblage en attendant les E-jet E2.

Le constructeur projette de fabriquer 1.430 avions sur la période 2017 – 2031, soit environ 95 avions/an.

III.2.2 Bombardier (Canada)

Le constructeur canadien Bombardier a introduit sa nouvelle gamme d'avion de transport régional « CSeries » (Série C) qui couvre la gamme de 110 sièges (CS100) à 130 sièges (CS300) à partir de juillet 2016. Il complète ainsi son offre au-delà des gammes

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	48/149

actuelles de 30 à 59 sièges (Bombardier Q200, Q300, CRJ200 et CRJ440) et de 60 à 99 sièges (Bombardier Q400, Q400X, CRJ700, CRJ900, CRJ900X, CRJ1000).

Alors que Bombardier ambitionnait de concurrencer les plus petits modèles d'Airbus A320 et Boeing B737, c'est finalement Airbus qui a pris le contrôle de CSeries en prenant la majorité dans des parts de la société en octobre 2017. Le CSeries sera équipé du nouveau moteur Pratt&Withney PurePower PW1524G.

Bombardier projette de livrer 836 avions régionaux sur la période 2017 – 2031, soit environ 56 avions/an. Les estimations en quantités de titane approvisionnées par famille d'avion est de 5 tonnes/avion pour les CRJ 700/900/1000 et de 6 tonnes/avion pour les CSeries CS100/C300.

III.2.3 Mitsubishi (Japon)

Le vol inaugural de l'avion régional japonais, le MRJ développé par Mitsubishi Heavy Industries (MHI) et Mitsubishi Aircraft Corporation (MJET), a été réalisé en novembre 2015 soit 3 ans après l'échéance prévisionnelle. Les premiers avions devraient sortir des chaînes d'assemblage en 2020. Le MRJ est un avion régional qui offre une capacité de 70 à 90 sièges (MRJ70 et MR90). Il est propulsé par des moteurs Pratt & Whitney *PurePower*. Les marchés cibles sont l'Amérique du Nord (40%), l'Europe (30%) et l'Asie (20%). Mitsubishi ambitionne de vendre 1.000 exemplaires de son avion sur un marché global qu'il estime à 5.000 unités sur les 20 prochaines années. Au 3^{ème} trimestre 2017, les perspectives de livraison étaient de 836 avions sur la période 2017 – 2031. En novembre 2017, le MRJ avait enregistré 427 commandes dont 233 fermes.

La production de l'avion devrait débuter en 2019 à un rythme qui devrait atteindre à terme 10 avions/mois en cadence nominale. Compte-tenu du nombre de commande, la production sera probablement plus proche de 5 avions/mois.

III.2.4 Avic Commercial Aircraft Corporation (Chine)

Le programme de COMAC a démarré avec l'avion régional ARJ21-700 (70-90 sièges) dont le développement et la production ont été confiés à la filiale Avic 1 Commercial Aircraft Corporation (ACAC). Cette première version a été conçue sur la base des éléments techniques du MD-90 pour lequel McDonnell Douglas avait fourni les plans avec la concession de licence pour la production de l'avion en Chine. Une seconde version ARJ21-900 (95-105 sièges) a été développée en partenariat avec le canadien Bombardier.

L'ARJ21-700 a réalisé son vol inaugural en 2008 et les premières livraisons des 350 commandes enregistrées, prévues initialement courant 2010, sont finalement intervenues en septembre 2017 car l'avion a dû attendre 7 années a mis son autorisation pour la production en série. La chaîne d'assemblage située à Pudong (proche de Shanghai) a débuté fin 2009. Le tout nouveau site d'assemblage de Pudong (voir paragraphe III.1.2) devrait être capable de

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	49/149

produire jusqu'à une cinquantaine d'exemplaires par an de l'ARJ21-700. Le lancement de la version ARJ21-900 de capacité 98 à 105 sièges n'est pas encore officiellement annoncé.

Par ailleurs, le constructeur brésilien Embraer a signé une joint-venture avec le chinois Harbin Aircraft Plant (Harbin Embraer Aircraft Industry - HEAI) pour assembler en Chine des avions régionaux (ERJ-135, ERJ 140), des jets (ERJ 145 XR, Legacy 600/650) et des avions de reconnaissance (EMB-145 AEW&C, EMB-145 RS/AGS). La capacité de production de HEAI serait de 24 avions/an.

III.2.5 Programmes russes d'avions régionaux

La relance de l'industrie aéronautique russe concerne aussi le segment des avions régionaux. Le seul marché intérieur de la CEI offre un potentiel de 600 appareils [réf.18] sur les 20 prochaines années.

L'AN-148 (80 sièges) et sa version rallongée l'AN-158 (jusqu'à 99 sièges) fabriqués sont en Russie et en Ukraine. Ils bénéficient d'un carnet de commande de 276 avions tandis que la famille des Sukhoï SuperJet-100 (avion régional de 75-95 sièges aussi connu sous le nom « RRJ – *Russian Regional Jet* ») a reçu 182 commandes fermes. Les livraisons ont débutées en 2010. Cet avion est équipé du moteur PowerJet SaM146 développé conjointement entre le russe NPO Saturn et le français Safran.

III.3 Moteurs aéronautiques & Marché des pièces de rechange

L'objectif de cette section est d'identifier les principaux postes de consommation de titane lors de la production des avions et d'évaluer les besoins générés par le maintien en conditions opérationnelles (MCO) de la flotte d'avions en service (pièces de rechange). La consommation de titane est répartie en 3 grandes catégories :

- Les pièces « moteurs »
- Les pièces de cellule (pièces structurales) : raidisseurs, rails, fixations, profilés...
- Les composants : trains d'atterrissage...

Concernant le marché des pièces de rechange, c'est la maintenance des moteurs qui consomme le plus de titane en raison des conditions de service sévères des pièces et des fortes contraintes de contrôle liées à leur sûreté de fonctionnement. Les disques de turbine, aubes et autres pièces critiques sont ainsi régulièrement contrôlées et réparées ou remplacées lors des opérations de maintenance qui sont programmées pendant la durée de vie des moteurs. A partir de la flotte active d'avion actuellement en service (20.500 avions début 2017 [réf.13]) et des prévisions de progression à long terme de +3,716%/an [réf.13,14], on peut faire une estimation de l'évolution de la demande en pièces de rechange en considérant qu'elle est proportionnelle à la flotte en service.

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	50/149

La Figure 69, en annexe, donne les hypothèses d'évolutions de la flotte en service jusqu'en 2027.

Dans les nouvelles générations de moteur d'avion (LEAP-1A et Pratt & Whitney PW1000G sur A320 neo, LEAP-1B sur B737MAX, Rolls-Royce Trent 7000 sur A330 neo, GE9X sur B777X), la consommation moyenne de titane par moteur a tendance à baisser. Le scénario de bascule progressive²¹ vers la nouvelle génération est présenté dans la Figure 27. Nous avons pris en compte ce scénario pour réviser à la baisse les besoins en titane par avion.

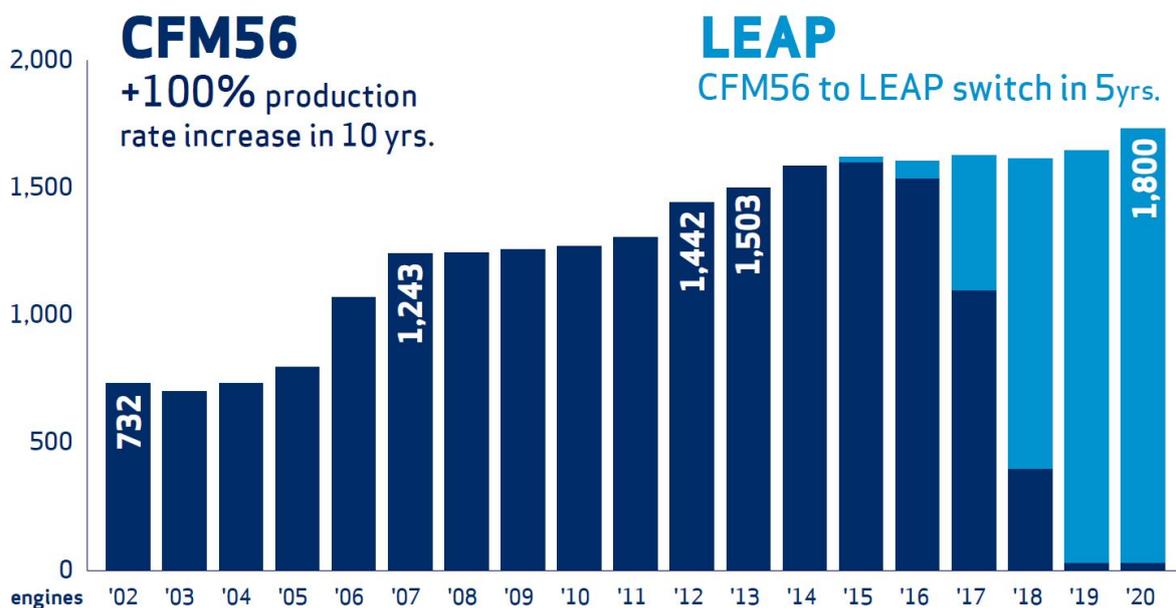


Figure 27: Scénario de bascule CFM56/LEAP

IV PERSPECTIVES POUR LE MARCHÉ « DEFENSE »

Le secteur défense est un marché captif pour le titane. Les volumes de consommation représentent une faible portion de la demande mondiale mais c'est un secteur stratégique pour les pays développés et pour les grands pays émergents : Chine, Inde, Brésil etc. Tous les domaines sont consommateurs : aviation, missiles, armement terrestre, naval. Les budgets de R&D militaires permettent de mettre au point des innovations au niveau des procédés de production qui profitent ensuite aux applications civiles.

Du temps de la guerre froide, l'URSS possédait les plus importantes capacités de production pour satisfaire les besoins des programmes de sous-marins nucléaire d'attaque grandes profondeurs « classe Alfa » dont les coques étaient en titane. Depuis les années 1990, les USA ont de loin été les plus gros consommateurs de titane dans le domaine de l'armement. L'annonce récente par le président américain d'une hausse du budget militaire de +9% pour

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	51/149

2018 fait écho à la tendance au réarmement déjà engagée depuis plus de deux ans dans de nombreuses régions du Monde.

Outre les investissements sur de nouvelles capacités opérationnelles, les pays développés doivent aussi faire face à un effort important de renouvellement des équipements en service dont la moyenne d'âge et l'emploi sont élevés. Les superpuissances émergentes que sont la Chine et l'Inde constituent elles aussi un arsenal militaire en s'appuyant sur la coopération et les technologies avec les pays de l'Est, la Russie en particulier.

La consommation de titane pour ces programmes militaires est de plus en plus importante comme l'illustre la Figure 28. L'absence de publication officielle dans ce domaine en rend l'estimation difficile. Selon notre scénario de référence la demande en titane est en croissance de +6,5%/an jusqu'en 2021 puis stable jusqu'en 2025.

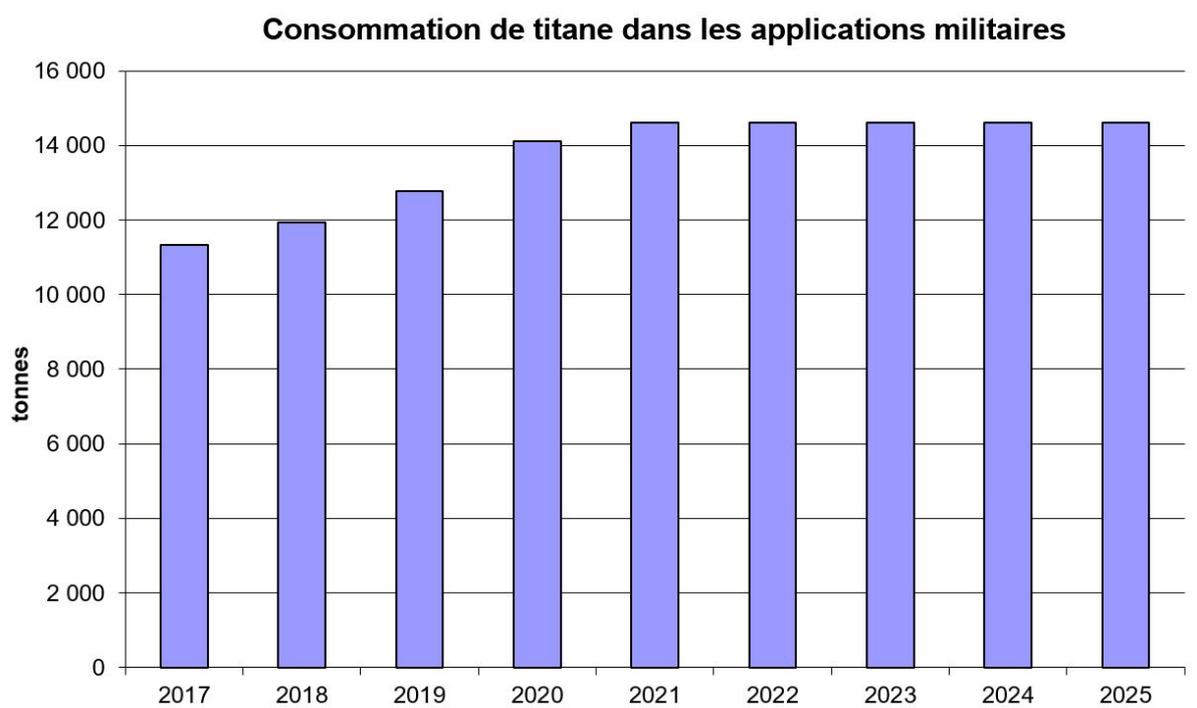


Figure 28: Évolution de la consommation de titane dans les applications militaires

IV.1 Domaine terrestre

IV.1.1 Blindages

Dans le domaine terrestre, l'utilisation du titane en tant que matériau de blindage est connue depuis les années 60 avec la réalisation d'une caisse de chenillé par l'arsenal de Detroit aux USA. Toutefois, les applications industrielles se sont réellement développées à partir des années 2000 en Europe et aux USA. Le titane est en effet un constituant efficace

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	52/149

pour la protection des véhicules blindés face à un panel de menace assez étendu. Les tôles d'aciers à blindage ont ainsi été remplacées dans bon nombre d'applications par du titane, avec un gain en poids de l'ordre de 40%. Une norme militaire américaine²² définit les classes d'alliages de titane utilisables pour une application de protection balistique.

Le titane est en général utilisé sous la forme de produit laminé pour les protections rapportées^t ou sous la forme de pièces de fonderie pour les battants, capots et tourelles. De nombreuses applications existent dans les chars d'assaut et les véhicules de combat.

L'Armée américaine a consacré des budgets importants pour équiper de surprotections en titane les véhicules engagés sur les théâtres irakiens (2011) et afghans (2015)²³. Une illustration de ces blindages est dans la Figure 70 en annexe. Depuis, il est peu fait écho d'un emploi intensif pour la protection des véhicules qui adoptent maintenant souvent des solutions plus sophistiquées à base de céramiques et de composites. Le titane reste toutefois un matériau de choix pour des besoins de protection polyvalente facilement intégrable sur véhicule de combat de l'avant.

Dans le domaine de la protection individuelle, certains concepteurs de solutions proposent des équipements utilisant du titane pour des casques et des plaques thoraciques pour gilets balistiques.

IV.1.2 Applications structurales

Sont également envisageables les applications structurales comme les caisses de véhicule et les châssis mobiles. L'exemple le plus significatif est le canon aérotransportable Howitzer M777A1 de 155mm dont l'ensemble du châssis est en titane (voir Figure 71 en annexe). D'important travaux ont été menés autour des technologies de soudage, en particulier le soudage par friction (FSW^u) et le soudage hybride laser/GMAW, pour rendre possible industriellement la réalisation de grandes structures mécanosoudées. Une deuxième version ultralégère baptisée M777A2 a permis de simplifier significativement l'architecture de la structure du canon par l'emploi de grandes pièces de fonderie en titane²⁴. Initialement prévu pour une production de 500 exemplaires, le M777 a été commandé par 4 pays pour une quantité totale de 1001 unités. Le dernier contrat d'équipement a été signé en décembre 2016 pour équiper les forces armées indiennes de 145 exemplaires de ce canon.

Ces développements ont rendu possible le projet de concevoir une caisse de véhicule entièrement en titane pour le compte du grand programme d'équipement des forces terrestres américaine, le « Future Combat System – FCS » (voir Figure 72 en annexe). Un tel projet pouvait potentiellement consommer de 10 à 15 tonnes de titane par véhicule, soit une consommation annuelle de plusieurs milliers de tonnes par an. Les restrictions budgétaires ont mis un coup d'arrêt au programme FCS et les perspectives de consommation de titane

^t Plaque de blindage amovible, en général boulonnée sur la structure

^u Friction Stir Welding

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	53/149

associées ont disparues. L'effort de R&D est toutefois maintenu pour faire émerger de nouvelles technologies de production de titane « bas coût ».

IV.2 Aéronautique militaire

IV.2.1 Programmes aéronautiques militaires

⇒ Programmes européens d'avions multirôles

Les principaux programmes militaires européens actuels d'avions multirôles^v sont le Rafale, l'Eurofighter et le Gripen.

Le Rafale a décroché des contrats à l'export en 2015 avec l'Égypte (24 avions) et le Qatar (idem) et en 2016 avec l'Inde (36 avions). Suite à ces ventes, les cadences de production pourraient passer de 1 avions/mois (sur 11 mois) actuellement (2017) à 2 avions/mois en 2018. Le carnet de commande au 31/12/2016 comptait 110 avions.

Fin 2017, l'Eurofighter a un carnet de commande de 87 avions à fabriquer sur un volume total de 499 avions. La cadence de production de 1,5 avion/mois en 2017 devrait passer à 1 avion/mois en 2018 malgré les commandes récentes du Moyen-Orient (Qatar, Oman).

⇒ A400M (Europe)

L'avion européen de transport militaire multi-mission A400M a fait son premier vol le 11 décembre 2009. Le premier exemplaire de l'avion fabriqué par Airbus a été livré à l'Armée de l'Air française en Août 2013. Sur les 174 exemplaires commandés (dont 4 pour la Malaisie), 46 avions ont été livrés à mi-2017. Alors que le site d'assemblage est dimensionné pour 2 avions/mois, la cadence actuelle est d'environ 1 avions/mois et devrait le rester à moyen terme. Le marché potentiel de l'A400M vise le remplacement des avions de transport américains C-130 dont environ 2.500 avions sont en service dans le Monde (entrée en service en 1956).

⇒ F35-JSF (USA)

L'avion multi-rôle F-35 Lightning II du constructeur américain Lockheed Martin est plus connu sous le nom de « Joint Strike Fighter – JSF ». Destiné à équiper les trois armées américaines, ce programme a été ouvert à une large coopération internationale pour son

^v Avions capables de mener différents types de mission: chasse, reconnaissance, bombardement etc.

financement et sa réalisation dans l'objectif de baisser son coût global. Les quantités commandées par les USA et le 8 pays contributeurs^w sont estimées à environ 3.200 avions.

Initialement prévu pour une mise en service en 2012 le programme a subi des retards liés à des problèmes techniques et budgétaires. Dès 2011, la production aurait dû être à cadence nominale à 200 avions/an alors qu'elle ne sera à peine qu'à une soixantaine d'avions en 2017.

⇒ Autres programmes aéronautiques américains

Les cadences des principaux programmes en cours aux USA sont globalement maintenues à des niveaux extrêmement faibles afin de préserver des lignes de production dans les bassins d'emploi de l'industrie de défense.

Les retards du programme F-35 combinés à la nouvelle politique de défense voulue par le président Trump offrent des perspectives inespérées pour les programmes F/A-18E/F Super Hornet et EA-18G Growler en fin de carrière.

Alors que la production devait prendre fin en 2017, la Navy envisage maintenant de commander 80 exemplaires supplémentaires du Super Hornet dont 14 dès 2018. Le F/A-18E/F devrait également bénéficier d'une nouvelle variante « Block III » pour anticiper un service opérationnel étendu jusqu'en 2040. Boeing, le fabricant de ces avions, estime que les besoins de la Navy pourraient dépasser au total 150 Super Hornet et 30 Growler.

⇒ Programmes russes

Le graphe de la Figure 29 donne les prévisions de cadence de production des principaux programmes russes d'avions de combat.

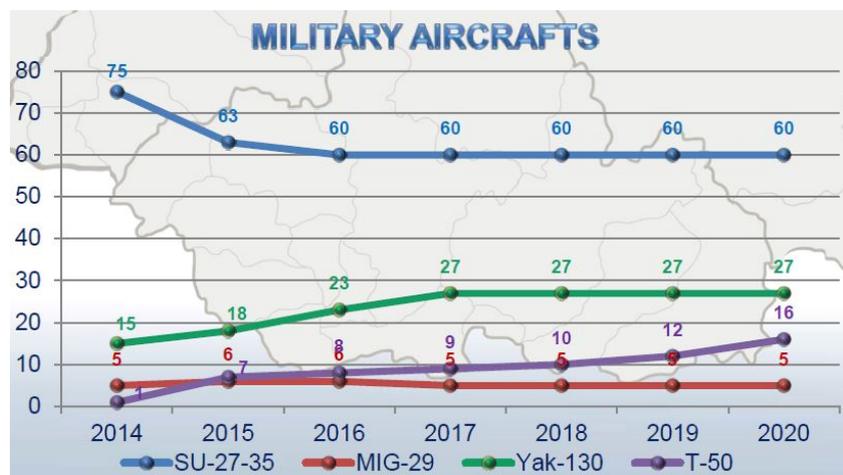


Figure 29: Principaux programmes aéronautiques militaires russes [réf. 5]

^w Australie, Canada, Danemark, Italie, Pays-Bas, Norvège, Turquie, Royaume-Uni.

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	55/149

IV.2.2 Nouveaux programmes aéronautiques militaires

⇒ Ilyushin IL-476 (Russie)

Le II-476 est une version modernisée de l'avion de transport militaire russe II-76. La première livraison aux forces russes a été réalisée en décembre 2015.

⇒ Avions ravitailleurs

Excepté l'appel d'offre du Pentagone perdu face à Boeing en 2011 pour l'acquisition de 179 avions ravitailleurs, Airbus a remporté la plupart des autres consultations internationales. Son modèle A330 MRTT dérivé de la version civile cumule 51 commandes dont 28 ont été livrées à mi-2017. La consommation de titane pour cet avion est comptabilisée dans celle de l'A330 version civile. Concernant le programme américain d'avions ravitailleurs, Boeing a pris du retard pour la livraison de son modèle KC-46 dérivé du B767. Un objectif de 18 avions livrés pour début 2018 doit être atteint avec un premier vol réalisé en mai 2017. La cadence nominale de production serait de 15 avions/an jusqu'en 2027²⁵.

⇒ Programmes chinois de défense

Une grande discrétion entoure les programmes militaires en Chine, en particulier dans le domaine aéronautique. La seule certitude est que les chinois mènent effectivement des programmes pour des avions de transport et des avions de combat multirôles. L'avion J-11 (Jianji-11 ou Jian-11) et ses versions dérivées J-11B et J11-BS sont développés par Shenyang aircraft Corp. sous licence de l'avion russe Sukhoï Su-27SK (voir Figure 73 en annexe).

En mars 2017, la Chine a mis officiellement en service son avion de chasse furtif le Chengdu J-20 développé par Chengdu Aircraft Corporation. L'avion serait produit à un rythme de 3 avions/mois entre 2017 et 2020 pour un effectif total de 100 exemplaires.

Quelques mois plus tard en juillet 2017, le premier exemplaire de l'avion de transport Xian Y-20 développé par Xi'an Aircraft Industrial Corporation sur une base Antonov est entré en service opérationnel. Cet avion serait construit en 40 exemplaires à un rythme de 9 avions/an.

Les versions les plus récentes de ces avions intègrent de plus en plus de technologies chinoises. La consommation de titane associée aux parties structurales et aux moteurs est de plus en plus significative mais n'est pas officiellement publiée. Une partie de la consommation doit être comptabilisée en partie dans les chiffres à l'export de la Russie.

IV.3 Domaine naval militaire

Le titane est un matériau de choix pour les applications navales militaires en raison de ses caractéristiques mécaniques élevées, ses propriétés amagnétiques, son bon comportement à l'érosion en milieu hydrodynamique et son excellente résistance à la

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	56/149

corrosion en milieu marin. Les nuances les plus utilisées sont les titanes faiblement alliés et alliages biphasés tels que le TA6V et le Ti5111. Ils peuvent être utilisés dans les échangeurs thermiques, la propulsion, les blindages de zones sensibles (chaufferies, soutes) et les coques de sous-marins. Les principaux freins à son utilisation sont liés à son coût élevé et aux limitations inhérentes à sa mise en œuvre : soudage, coefficient de frottement médiocre et sensibilité à l'effet d'entaille et au phénomène de rupture différée^x.

Les russes ont mené dans le passé^y de grands programmes d'armement pour les sous-marins d'attaque grande profondeur et les augmentations significatives de la consommation de titane dans le secteur naval (voir section II.2) laissent penser que ce pays pourrait être en train de relancer un programme probablement destiné à l'export. En effet, VSMPO a annoncé au 1^{er} semestre 2013 une livraison de pièces en titane à l'Inde pour la fabrication du premier sous-marin nucléaire d'un programme d'armement qui en compte quatre. D'autres projets, dans le domaine off-shore, semblent également se développer dans le cadre du partenariat technologique entre la Russie et l'Inde.

Les dernières publications de 2017 font état de différents programmes d'armement naval russes incluant la fabrication de sous-marins, le développement de mini-sous-marins, et la construction de divers bâtiments de surface de type frégates et lance-missiles.

Selon le modèle et le nombre de sous-marins fabriqués, ce type de projet pourrait consommer plusieurs milliers à plusieurs dizaines de milliers de tonnes de titane. En effet, dans le cas des sous-marins « grande profondeur » la coque de l'engin est en titane. Actuellement, les programmes européens et américains ne concernent pas les applications « coque titane ».

V PERSPECTIVES POUR LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES

Le secteur « applications industrielles » couvre toutes les utilisations du titane dans les domaines de la construction et de l'entretien d'équipement pour la production, la transformation et le transport de ressources : les centrales thermiques (production d'électricité), la chimie, la pétrochimie, le gaz naturel, le dessalement d'eau de mer, les énergies de la mer etc. La consommation annuelle de titane pour ce secteur est, depuis l'émergence de la Chine et le développement du Moyen-Orient, comparable en volume au secteur aéronautique. La crise de 2008 a provoqué une forte baisse de la demande 2009 car elle a directement impacté les sources de financement des grands projets industriels d'équipement. Fin 2017, les effets de la crise sont encore perceptibles. Pourtant, dans chaque segment de ce marché, les besoins à moyen et long termes sont clairement identifiés et représentent des volumes importants. Entre 2010 et 2016, la consommation a été tirée par trois super-projets dans le domaine du dessalement nécessitant chacun entre 2.500 et 6.000 t de titane. Contrairement à l'aéronautique qui est régulée par des cadences de production, le

^x Fissuration dans certaines pièces soudées à des niveaux inférieurs à la charge critique.

^y Sous-marins russes d'attaque ALFA (1972) et SIERRA II (1990)

secteur industriel peut présenter des variations brusques de la demande dès lors que la décision d'investissement est prise. Lorsque le projet est confirmé, l'approvisionnement en titane se fait par l'intermédiaire de macro-commandes qui peuvent concerner quelques centaines de tonnes à plusieurs milliers de tonnes de titane. Par essence, on voit que les applications industrielles ont potentiellement la capacité de déstabiliser l'équilibre offre-demande de l'ensemble du marché. La figure ci-dessous présente une synthèse de la consommation de titane dans ce secteur selon notre scénario de référence. Malgré les bonnes perspectives à long terme qui prévoit une augmentation de la demande liée à celles des populations en voie de développement, ce scénario anticipe une croissance modeste de la consommation de moins de 1%/an en moyenne à l'horizon 2025. Il est basé sur les considérations suivantes :

- Un contexte économique morose encore sous les effets de la crise de 2008 (frein à l'investissement dans de nouvelles capacités de production industrielles) ;
- Une augmentation des risques de conflits armés dans de nombreuses régions du Monde (contexte peu favorable aux projets de développement de l'activité industrielle) ;
- La volonté de réduire l'impact environnemental des activités industrielles (frein aux activités polluantes et à risque : chimie, nucléaire etc.) ;
- La mutation des énergies fossiles vers les renouvelables (peu consommatrice de titane) ;

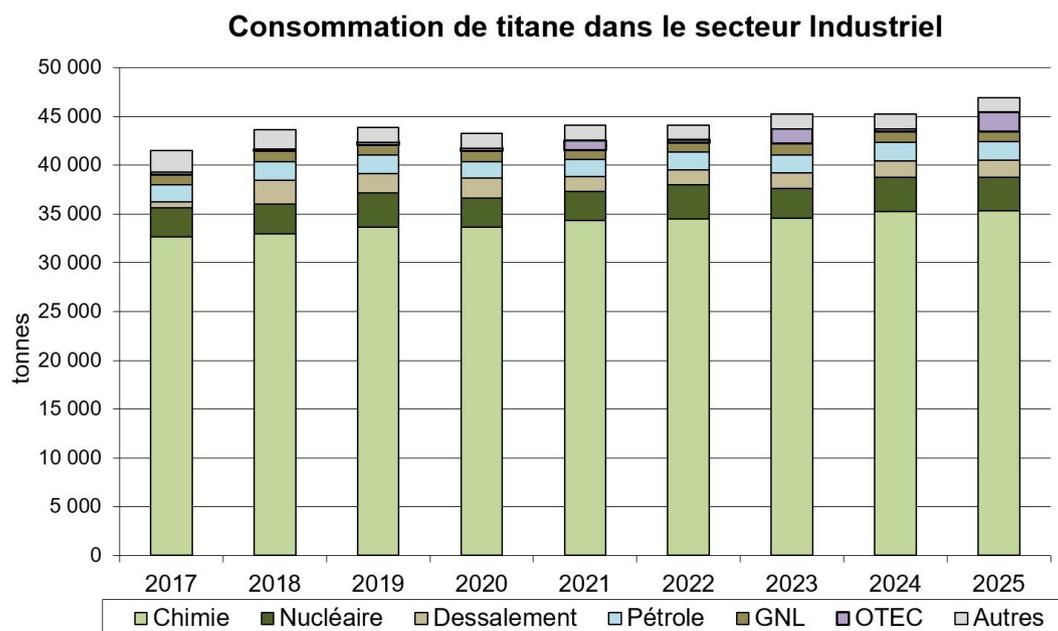


Figure 30: Consommation de titane dans le secteur « Industrie »

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	58/149

V.1 Besoin en énergie

Les besoins en énergie devraient augmenter de +28% entre 2015 et 2040 selon le scénario de référence de l'*US Energy Information Administration – EIA*^{26,27}. Ce scénario fait l'hypothèse d'une croissance du PIB^z mondial de 3%/an sur cette période. La majorité de cette augmentation du besoin énergétique est localisée dans les pays hors OCDE, parmi lesquels la Chine et l'Inde comptent pour plus de la moitié de la croissance mondiale. La Figure 31 donne l'évolution comparée de la consommation pour les différentes sources d'énergie sur la période 2015 – 2040.

Selon le scénario de référence, de l'IEO2017 [ref.26], la consommation mondiale de toutes les formes de sources d'énergie est prévue en croissance excepté pour le charbon qui reste stable.

Ce sont les énergies renouvelables qui sont promises à la plus forte progression avec un taux de +2,3%/an, suivies de l'énergie nucléaire avec +1,5%/an. La consommation d'énergies non-fossiles croît plus vite que celle des énergies fossiles qui comptent encore pour 77% de la demande en 2040. Le gaz naturel présente la plus forte évolution avec +1,4%/an en raison des réserves naturelles abondantes. La part de la consommation de pétrole dans les énergies fossiles est en baisse de 33% à 31% à l'horizon 2040, en cohérence avec le désengagement progressif des pays vis-à-vis de cette ressource naturelle, lorsque l'économie le permet.

Contrairement aux années 2000, l'emploi du charbon est progressivement remplacé par le gaz naturel, les énergies renouvelables et le nucléaire (ca de la Chine) pour la production d'énergie électrique et les emplois industriels. La demande chinoise en charbon est la plus forte mais elle est destinée à baisser de -0,6%/an entre 2015 et 2040. La baisse se fera au même rythme dans les pays de l'OCDE sur cette période. Malgré la croissance de la consommation de charbon en Inde et dans les autres pays non-OCDE de la zone Asie, globalement la part du charbon dans les énergies fossiles baissera de 27% à 22%.

Des scénarii alternatifs d'évolution du PIB sont étudiés dans l'IEO2017. L'hypothèse haute retient une croissance de +3,3%/an en moyenne sur 2015 – 2040 et l'hypothèse basse 2,7%/an. La Figure 32 présente l'impact du PIB sur la consommation mondiale d'énergie.

D'autres projections sont également étudiées avec trois hypothèses sur l'évolution du prix du baril de pétrole. Le scénario de référence est basé sur un prix de 109\$/baril en 2040 tandis que l'hypothèse basse est à 43\$/baril et l'hypothèse haute à 226\$/baril.

^z Produit Intérieur Brut

World energy consumption by energy source
 quadrillion Btu

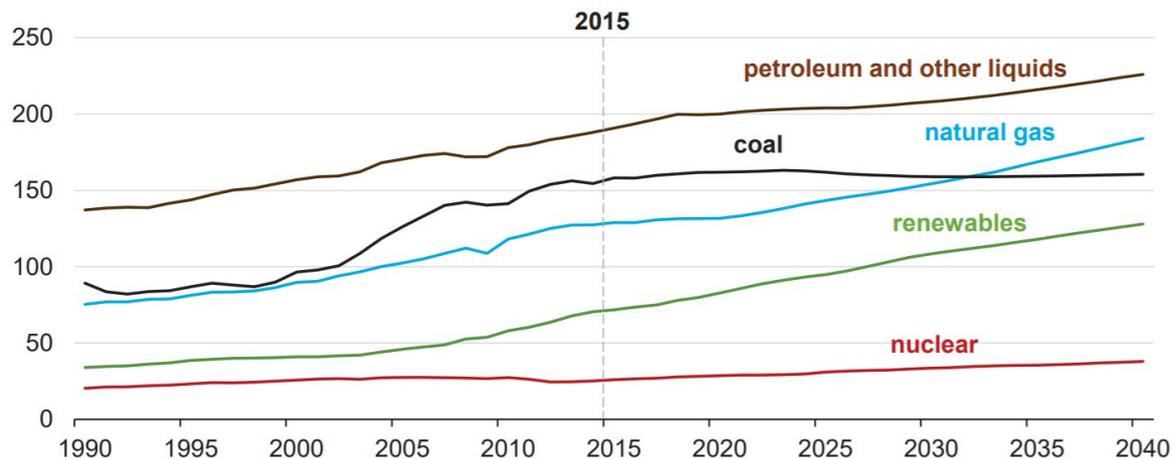


Figure 31: Évolution des besoins énergétiques mondiaux en Btu^{aa} – sept. 2017 [réf.26]

World energy consumption in three economic growth cases
 quadrillion Btu

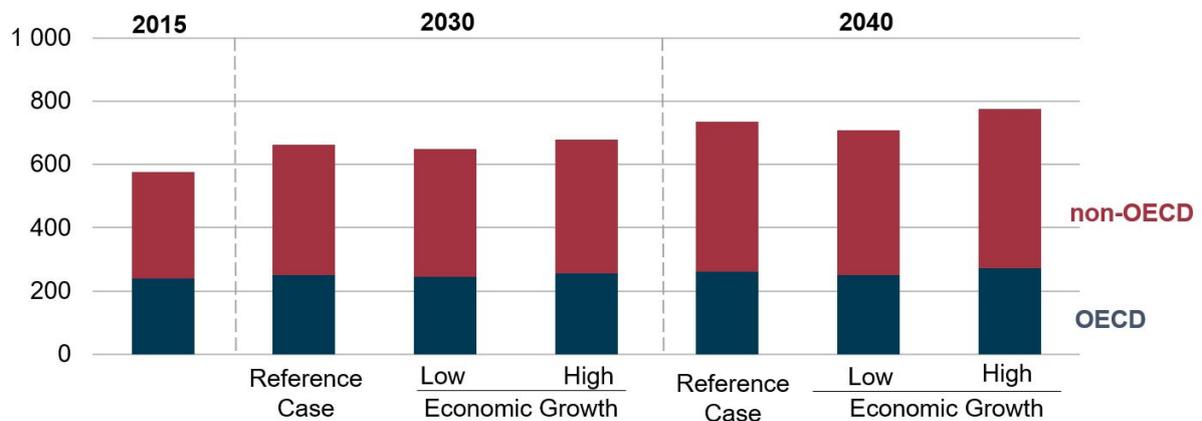


Figure 32: Impact du PIB sur la consommation mondiale d'énergie [réf. 26]

V.1.1 Pétrole et autres carburants liquides

Comparée aux autres ressources, la part du pétrole dans la consommation énergétique mondiale devrait baisser d'ici 2040. Malgré cela, le scénario de référence prédit que la production de pétrole augmentera de +18 millions de barils/jour entre 2015 et 2040,

^{aa} British Thermal Unit. Un Btu est égal à la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'une livre anglaise d'eau d'un degré °F à la pression constante d'une atmosphère. 1 BTU = 0,252 kcal et 1 BTU/h = 0,298 W.

soit +19% par rapport à la production actuelle. Compte-tenu des grandes fluctuations sur le prix du pétrole, l'IEO2017 présente trois scénarii d'évolution illustrés dans la Figure 33 ainsi que son impact sur la consommation mondiale d'énergie.

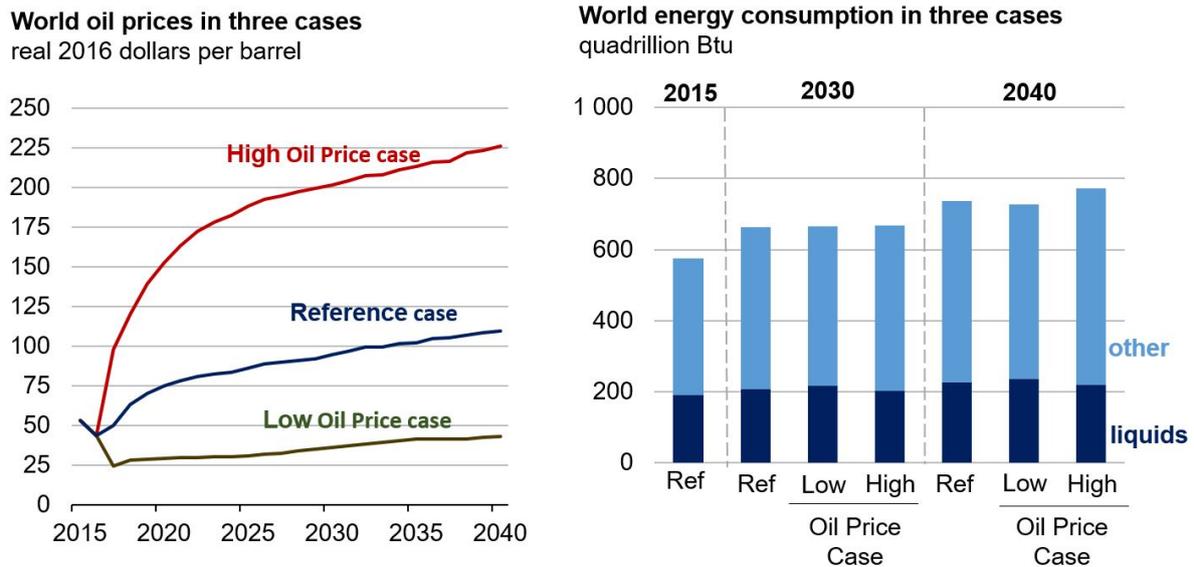


Figure 33: Prix du pétrole et impact sur la consommation d'énergie [réf.26]

Le scénario de référence suppose que les pays producteurs membres de l'OPEC poursuivent leurs investissements afin de maintenir la production à 39%-44% de la production de carburants liquides. Les nouvelles ressources pétrolifères à exploiter impliquent des technologies d'extraction de plus en plus extrêmes où le titane trouve sa place en raison de ses performances mécaniques élevées (résistance, fatigue), son bon comportement à la corrosion comme à l'érosion par cavitation et sa faible densité. Par ailleurs, l'augmentation du prix du pétrole améliore le seuil de rentabilité de l'exploitation de nouvelles ressources non conventionnelles^{bb}. Ces nouvelles technologies nécessitent aussi l'emploi d'alliages de titane performants. Parmi les applications, on retrouve les pipelines et les risers^{cc} pour les exploitations en eaux profondes, les plates-formes de forages semi-submersibles²⁸, les raccords avec les têtes de puits immergées etc.

V.1.2 Gaz naturel (dont GNL)

La consommation en gaz naturel est en forte croissance car cette ressource est disponible, génère peu d'émission polluante à la combustion et reste souple d'emploi pour les besoins industriels. Elle devrait augmenter de +43% entre 2015 et 2040 (de 3,5 à 5 billion de m³) ce qui représente la seconde plus forte progression dans l'emploi des ressources naturelles derrière les énergies renouvelables²⁹. Le gaz naturel tire profit de son plus faible impact

^{bb} Sables bitumineux, pétroles lourds, schistes bitumineux etc.

^{cc} Conduite utilisée pour relier le fond de la mer avec une plate-forme pétrolière.

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	61/149

environnemental lors de sa combustion en comparaison du pétrole et du charbon. Pour répondre à l'augmentation de la demande dans les années à venir, des nombreux pays investissent dans la production comme l'illustre la Figure 34.

Figure 4. World increase in natural gas production, 2015-40
trillion cubic feet

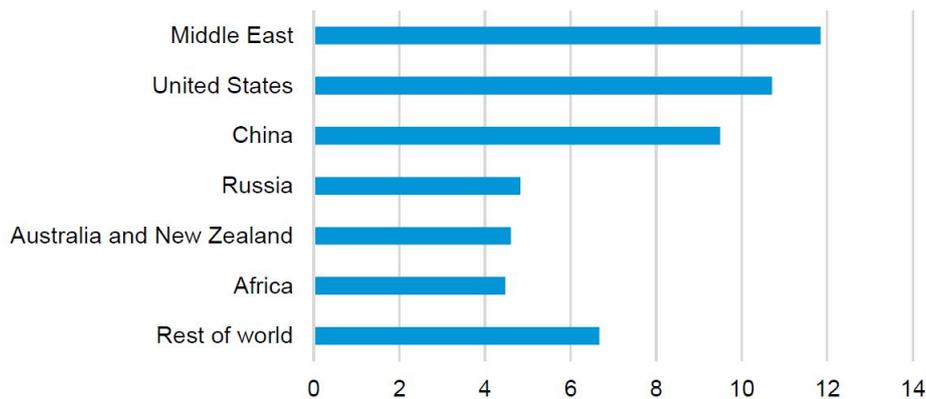


Figure 34: Augmentation de la production de gaz naturel entre 2015 et 2040 [réf.26]

L'acheminement du gaz pour les distances inférieures à 3.200 kms se fait préférentiellement par pipeline. Au-delà, il est préférable de condenser le gaz à l'état liquide (gaz naturel liquéfié, GNL, ou LNG, en anglais). Le GNL peut alors être transporté sur de longues distances avec la mise en place de véritables chaînes d'approvisionnement : puits producteurs, usines de traitement, réseaux de gazoducs, usines de liquéfaction, terminaux de chargement des méthaniers, terminaux d'importation et de stockage, usines de regazéification et de réinjection au réseau. Le GNL étant stocké et transporté à basse température (-163 °C), le bon comportement cryogénique du titane est mis à profit dans la conception des méthaniers et des usines de traitement.

Entre 2015 et 2040, la production de gaz naturel liquéfié (LNG) est amenée à tripler (de 340 à 880 milliard de m³). Les développements de capacité de liquéfaction dans les 10 prochaines années se situent principalement en Australie et en Amérique du Nord.

Accompagnant la croissance de la demande en LNG, l'approvisionnement en gaz naturel par pipeline se développe dans le scénario de référence avec la mise en service de nouvelles lignes sur de longues distances. Actuellement, les principales infrastructures de pipeline sont en Europe et en Amérique du Nord. En 2018, les USA devraient devenir le premier exportateur de gaz naturel.

Actuellement, 17 usines de liquéfaction de GNL sont en construction³⁰, principalement aux USA et en Australie. Dans les 10 prochaines années, c'est plus de 650 millions de tonnes/an (MTPA) de nouvelles capacités qui sont envisagées en Amérique du Nord. Ce volume considérable est à rapprocher de la capacité actuellement en service de

339,7 MTPA et des 114,6 MTPA actuellement en cours de construction^{31,32,33}. Sur la même période, 121 méthaniers seront fabriqués³⁴.

V.1.3 Nucléaire

Les projets de développement de l'industrie du nucléaire ont été ralentis par la catastrophe de Fukushima au Japon en mars 2011. Certains pays ont, à cette époque, pris la décision de fermer les centrales les plus anciennes et d'accélérer le développement des énergies renouvelables.

En 2014, cette orientation a été remise en cause sous la pression des besoins énergétiques et celle de l'impact environnemental des centrales à charbon (voir Figure 74 en annexe XXXIV). C'est dans les pays en voie de développement que les perspectives de croissance des capacités sont les plus fortes. La Figure 35 donne l'évolution des capacités de production d'énergie nucléaire par région à l'horizon 2040.

La plus forte progression est en Chine où 21 réacteurs sont actuellement en cours de construction³⁵ (voir Figure 36). L'augmentation de capacité est de l'ordre de +11%/an pendant 20 ans avec un total ciblé à 1100 TWh. Cette perspective correspond à un rythme de mise en service d'un réacteur par mois sur les 20 ans à venir. Actuellement, 448 centrales sont en activité dans le Monde avec une capacité de production de 391 GW et 61 nouveaux réacteurs sont en cours de construction représentant une capacité additionnelle de 61 GW (voir Tableau 16 en annexe XXXIV).

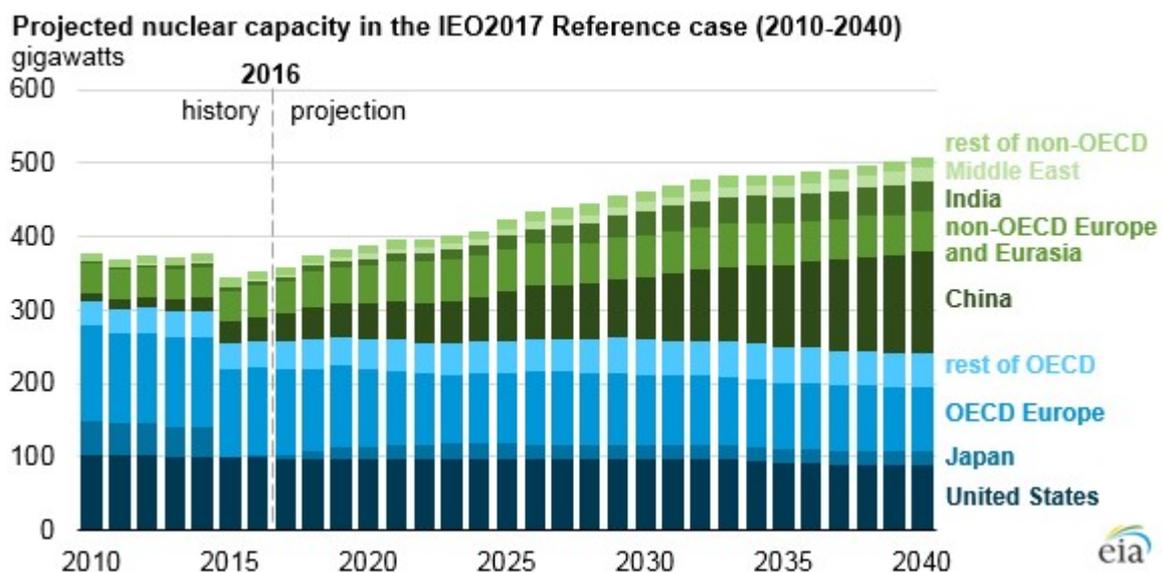
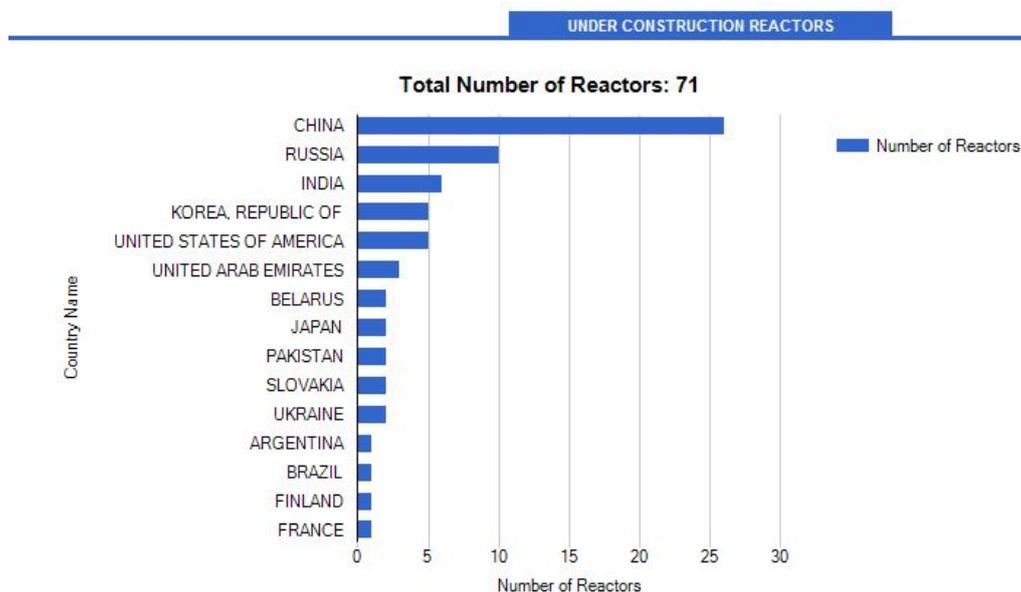


Figure 35: Capacités de production d'énergie nucléaire dans le Monde [réf.26]



The total Number of Reactors includes also 2 reactors in Taiwan, China

Figure 36: Réacteurs nucléaires en construction dans le Monde en 2017 [réf.35]

Globalement, les perspectives de croissance des capacités de production d'énergie nucléaire sont de +2,3%/an³⁶ entre 2015 – 2035.

Pour ce segment de marché, le titane est en compétition avec l'inox et le cupro-nickel pour la fabrication de la partie « vapeur » des condenseurs³⁷ des circuits secondaires. Plus cher à l'achat que ses concurrents, le titane offre toutefois un meilleur rendement économique en coût de maintenance des installations.

Ainsi, les installations utilisant du cupro-nickel doivent être arrêtées au bout de 15 ans pour une remise à niveau des tubes de condenseur. Il est également plus résistant à l'érosion et à la corrosion donc plus adapté aux centrales situées sur le littoral et à celles qui doivent fonctionner avec des eaux chargées en particules (sable, granulat etc.).

V.1.4 Charbon

Le charbon est la deuxième source d'énergie la plus consommée au Monde. Après une forte croissance dans les années 2000, la consommation a été ralentie en raison de son impact environnemental. C'est la seule source d'énergie qui est destinée à stagner voire réduire sur le long terme (voir Figure 31). Elle est progressivement remplacée pour la production d'électricité et les besoins industriels par le gaz naturel, les énergies renouvelables et le nucléaire (cas de la Chine).

Les plus gros consommateurs de charbon comme la Chine (1^{er} rang) et certains pays de l'OCDE font baisser leur besoin de 0,6%/an en moyenne jusqu'en 2040. La situation aux

USA dépendra de la bonne application du « *Clean Power Plan – CPP* » qui doit réguler à la baisse l'emploi du charbon.

La croissance de la demande en Inde et dans les pays émergents asiatiques aura pour effet de maintenir une consommation stable en volume malgré une baisse globale de la part du charbon dans la consommation mondiale de 27% en 2015 à 22% en 2040. La présente l'évolution de la consommation de charbon selon le scénario de référence de l'IEO2017 qui adopte l'hypothèse de l'application du CPP aux USA.

Figure 5. Coal consumption in China, India, and the United States

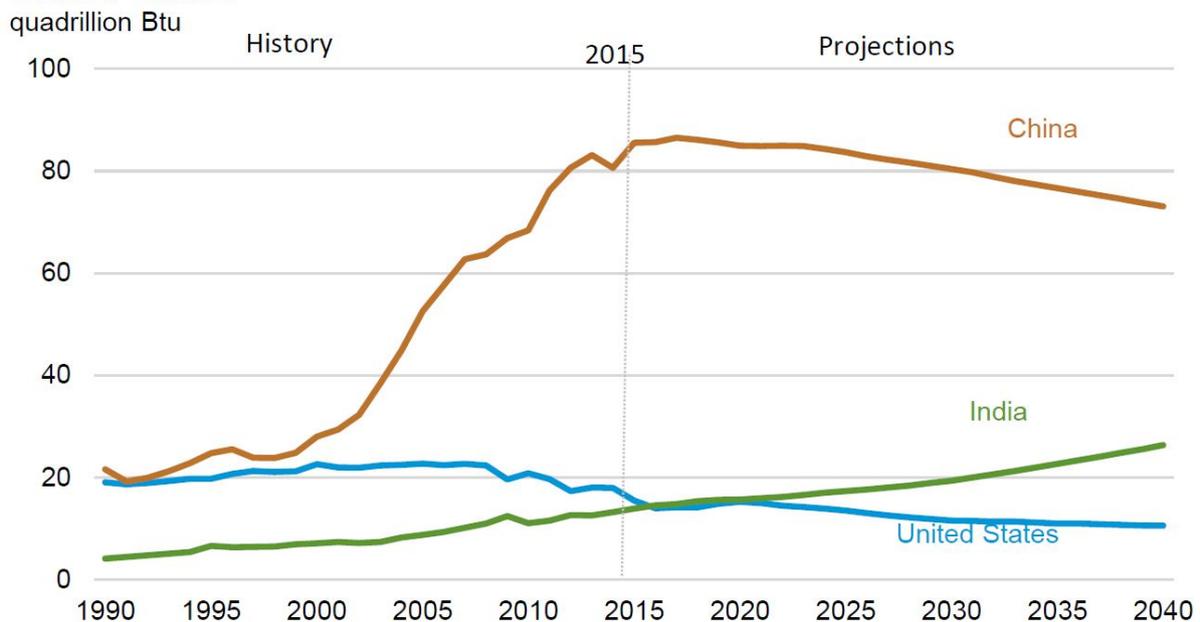


Figure 37: Evolution de la consommation de charbon en Chine, aux USA et en Inde [ref.26]

V.1.5 Énergie thermique des mers : technologie OTEC

Le procédé OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) ou ETM (Energie Thermique des Mers) est une technique de production d'énergie qui exploite les différences de température entre eaux profondes et eaux de surface. Le rendement maximum théorique de 6 à 7% peut sembler faible mais, compte tenu que l'eau de mer est disponible sans limite, le dispositif peut être configuré pour fournir les besoins de base en énergie d'un complexe côtier incluant la production d'électricité, celle d'eau douce, l'irrigation des cultures, l'aquaculture^{dd}, l'air conditionné, la production d'hydrogène, l'extraction de minéraux et d'autres encore. Par ailleurs, la technologie OTEC est un moyen de production d'énergie

^{dd} L'eau froide remontée des profondeurs favorise le développement du plancton lorsqu'elle est rejetée en surface ce qui favorise la génération de biomasse marine

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	65/149

ayant un « impact carbone » extrêmement faible. Un rappel sur le principe de fonctionnement de l’OTEC et sur ses principaux développements est donné en annexe XXXV (voir Figure 75).

Compte tenu des contraintes techniques similaires à celles d’une centrale thermique eau de mer, le titane est le matériau le plus adapté pour les parties en contact avec l’eau salée. D’après des études de marché^{38,39,40,41,42,43} les sites d’implantation possible des centrales OTEC sont situés dans la zone intertropicale qui combine des eaux de surface de plus de 25°C et des fonds marins de plus de 1.000 mètres, ce qui assure un écart de température d’au moins 20°C minimum entre source froide et source tiède. Ainsi, de nombreuses îles du Pacifique et des Caraïbes, des zones littorales africaines et indiennes sont des sites de premier choix pour accueillir la technologie OTEC.

Les premiers développements à l’échelle d’unité pilote datent des années 80 aux USA (Hawaï). Installée à Kailua-Kona, le site expérimental de Makai Ocean Engineering est la plus grande unité opérationnelle d’une capacité de 100 kW suffisante pour alimenter 120 foyers de l’île. Makai est financé par l’US Navy pour développer des solutions susceptibles de contribuer à son objectif de satisfaire 50% de ses besoins énergétiques à terre par des énergies renouvelables à l’horizon 2020. Le site hawaïen ambitionne de développer dans le futur et en collaboration avec le groupe Lockheed Martin des unités capables de produire de 1MW à 100MW. Lockheed Martin a signé en octobre 2013 un accord avec le groupe chinois Reignwood pour concevoir une unité pilote OTEC de 10 MW destinée à l’île de Hainan⁴⁴.

En France, Naval Group développe le procédé depuis 2008 et propose deux solutions innovantes : une plateforme flottante en mer, qui permet de produire 16 MW et une solution à terre, d’une capacité de 7 MW. Après les études de recherche et développement, une première étape de faisabilité menée au profit de La Réunion, Tahiti et La Martinique, Naval Group a abouti en 2011 à la réalisation d’un prototype à terre. Il s’agit d’une unité pilote de 10 MW. Ce système a été installé sur le site de l’université de Saint-Pierre à la Réunion. Le prototype a permis aux équipes de travailler sur le système principal de production électrique et de valider la technologie des échangeurs thermiques. En 2014, les résultats concluant donnent bon espoir à Naval Group pour conclure de premiers contrats commerciaux avec un prix de l’électricité visé entre 250 et 300 euros du MWh (mégawatt-heure) pendant 25 ans.

En mars 2014, un accord a été signé entre la société américaine « Ocean Thermal Corporation – OTE » et les Iles Vierges américaines (USVI) pour étudier la faisabilité d’une unité à terre de cycle combiné OTEC/SWAC (Sea Water Air Cooling) de 5MW. Naval Group est associé au projet en tant que maître d’œuvre des travaux d’ingénierie, d’approvisionnement et de construction pour ces centrales OTEC. Outre la génération d’électricité (ETM) et la climatisation des bâtiments (SWAC), le projet permettra également d’évaluer la viabilité de technologies associées offrant des services tels que la fourniture d’eau potable en abondance, la possibilité de développer une aquaculture durable et des projets d’amélioration de l’agriculture pour les îles de Saint-Thomas et Sainte-Croix.

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	66/149

Le Groupe va également développer une centrale flottante ETM en Martinique, dans le cadre du projet NEMO^{ee}, qui a obtenu en juillet 2014 une subvention européenne dans le cadre du programme NER 300 pour accompagner son développement. Les 16 MW de cette centrale pilote permettra d'alimenter 35 000 foyers en électricité. La construction de cette station devrait débuter en 2018 en vue d'une mise en service vers 2022. En décembre 2014, Naval Group a annoncé la construction en Martinique d'une autre unité OTEC à terre de 5,7 MW à Bellefontaine en Martinique à partir de 2016 (projet NAUTILUS). Le groupe a ensuite signé en 2016 un accord avec le Centre d'énergie thermique des mers de l'Université de Technologie de Malaisie pour une étude de préfaisabilité visant à identifier les opportunités de développement pour une ferme pilote ETM sur l'île malaisienne de Layang-Layang

Pour accompagner le développement de ses activités dans le domaine des énergies marines renouvelables (EMR), Naval Group a annoncé en janvier 2017 la filialisation de ces activités au sein d'une entité dénommée Naval Energies. Cette filiale se consacrera au développement industriel et commercial de trois technologies pour la production d'électricité à partir des EMR: l'énergie hydrolienne, l'énergie thermique des mers (ETM) et l'énergie éolienne via des flotteurs semi-submersibles.

En Inde, les futurs projets du National Institute of Ocean Technology (NIOT) sont très ambitieux puisque l'objectif est de construire 1.000 centrales électriques OTEC de capacité unitaire de 50 MW à travers le pays. Si l'Inde mène à terme ce programme, ce pays sera doté d'une capacité OTEC comparable à la capacité des centrales nucléaires japonaise. Un tel programme pourrait prendre une trentaine d'année à se réaliser.

En attendant, un projet de centrale énergétique pilote de 1 MW a été initié par le NIOT, en partenariat avec Saga University (IOES) et la société japonaise Xenosys. L'objectif, mené conjointement avec l'organisme japonais NEDO^{ff}, était originalement de réaliser l'unité pilote de 1 MW en 2015, d'augmenter la capacité de cette usine pilote à 10 MW en 2020 puis jusqu'à 50 MW en 2030⁴⁵, et enfin de commercialiser des usines de 100 MW. Comme souvent en Inde, les projets sont reportés d'année en année. Fin 2016, le NIOT déclarait que la priorité avait été donnée à une usine de dessalement de 200kW qui devait entrer en service en 2019.

La liste des projets actuellement en cours dans le Monde est donnée dans le Tableau 17 en annexe XXXV.

Au total, le potentiel mondial de la production d'énergie par la technologie OTEC a été estimé à 577 GW réparti sur 99 pays selon une étude indienne [réf.41]. A elle seule, l'Inde a un potentiel estimé à 180 GW.

^{ee} New Energy for Martinique and Overseas

^{ff} New Energy and Industrial Technology Development Organization

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	67/149

V.2 Chimie

Les outils de production et de transformation de l'industrie chimique sont conçus pour résister à des ambiances corrosives sévères, ce qui favorise particulièrement l'emploi du titane. Le procédé chlore-alcali utilisé pour la production de biens de grande consommation^{eg} absorbe 1/3 de la demande du secteur chimie. Les autres applications du titane en chimie sont celles qui utilisent des milieux hautement corrosifs comme les composés chlorés, les bromures, les acides minéraux, les solutions inorganiques à base de chlorures, les solutions d'acides organiques, les solutions alcalines etc. En Chine, la moitié de la demande intérieure en titane est consommée dans la fabrication des moyens de production de l'industrie chimique. Comme pour les applications « Énergie », le titane est en général en compétition avec d'autres matériaux (aciers inox, alliages base nickel etc.). Son prix est le principal frein à son utilisation et son meilleur atout est le gain qu'il peut apporter sur le coût d'exploitation des outils de production. La demande dans le secteur de la chimie est très liée à l'évolution du PIB mondial et au contexte économique. Le secteur s'est difficilement remis de la crise de 2008 et l'impact sur la consommation de titane est encore perceptible en 2017. A court terme, les prévisions⁴⁶ d'évolution de la production dans le secteur de la chimie sont données dans la Figure 38. La zone Asie et en particulier la Chine promettent les plus forts taux de croissance dans les prochaines années. La majorité de la consommation de titane pour le secteur chimique est en Chine. Ce secteur est l'un des piliers du développement industriel du pays et couvre une vingtaine de secteurs de la pétrochimie à l'agriculture en passant par la fabrication des équipements industriels. En termes économiques, il génère le plus gros chiffre d'affaires et les perspectives de croissance sur la période 2016 – 2020 sont de +5,9%⁴⁷.

Outlook for chemical production 2017 (excl. pharmaceuticals)
(Real change compared with previous year)

World	3.4%	
European Union	0.5%	
United States	1.8%	
Emerging markets of Asia	5.8%	
Japan	0.5%	
South America	1.2%	

Trends in chemical production 2017–2019 (excl. pharmaceuticals)
(Average annual real change)

World	3.6%	
European Union	1.0%	
United States	2.7%	
Emerging markets of Asia	5.7%	
Japan	0.5%	
South America	1.9%	

Figure 38: Perspective d'évolution du marché de la chimie jusqu'en 2035 [ref.46]

^{eg} Plastiques, pharmacopée, détergents, pesticides, herbicides, déodorants

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	68/149

V.3 Dessalement

Le dessalement consiste à transformer de l'eau salée en eau douce. Deux technologies de dessalement se partagent le marché : le procédé d'osmose inverse^{hh} (RO) et les procédés thermiquesⁱⁱ MSF (Multi Stage Flash Distillation) et MED (Multi Effect Distillation). Seuls les procédés thermiques utilisent du titane ou du cupronickel dans leur processus d'évaporation tubulaire. Beaucoup moins gourmand en énergie, le procédé d'osmose inverse gagne progressivement des parts de marché sur les procédés thermiques. De 15% actuellement, la part du thermique devrait progressivement descendre à 12% de la capacité de traitement mondiale^{jj}. Toutefois, la disponibilité en pétrole au Moyen-Orient favorise les procédés thermiques, qui se concentrent dans cette région. Récemment, un débat s'est ouvert sur la pollution au cuivre, via l'emploi des cupronickels, des eaux de la Mer Morte. Sur ce plan le titane présente un sérieux avantage concurrentiel face aux alliages à base de cuivre en raison de son impact nul sur l'environnement au cours de la phase d'utilisation.

Avec l'augmentation de la population mondiale et le développement économique en Asie (Chine, Inde) et au Moyen-Orient, la demande en eau douce pour la consommation courante et pour les besoins industriels est de plus en plus importante. La crise financière a eu pour effet de retarder de gros projets d'investissement dans ce domaine en 2009 et 2010 mais en 2011 un premier super-projet d'usine de dessalement a vu le jour en Arabie-Saoudite sur le site de Ras Al Khair (anciennement Ras Az Zawr).

Illustrant bien le potentiel de déstabilisation du marché spot d'approvisionnement que peut représenter un projet d'infrastructure industriel, cette usine de dessalement capable de traiter 1 million de m³/jour a nécessité 6.200 tonnes de titane. Une centrale thermique à cycle combiné de 2,65 GW a également été construite pour alimenter en énergie cette usine qui est la plus grande unité de dessalement au Monde. Elle utilise une technologie hybride combinant les procédés MSF et RO.

En décembre 2012, un second super-projet d'usine de dessalement s'est concrétisé en Arabie Saoudite : le projet Yanbu III. La construction de cette usine de traitement d'une capacité de traitement de 550,000 m³/jour d'eau par le procédé MSF et la centrale thermique associée ont nécessité 4.500 t de titane.

En Janvier 2013, un projet MSF plus modeste de capacité 160,000 m³/jour et nécessitant 500 t de titane a démarré à Ras Abu Fontas au Qatar. A la même période, le Koweït également initié la première tranche sur un total de cinq de l'usine de dessalement d'Az Zour North. Cette usine équipée d'une technologie MED sera capable de traiter un volume de 464,000 m³/jour. Sur l'ensemble des cinq tranches du projet, la capacité globale de traitement sera de 1,25 million de m³/jour.

^{hh} Filtration de l'eau par une technique de membrane

ⁱⁱ Procédé thermique de distillation

^{jj} Actuellement estimée à 81 millions de m³/jour

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	69/149

En 2015 – 2016, deux nouveaux projets d’envergure ont été lancés au Moyen-Orient :

- Shoaiba 2 en Arabie-Saoudite : la première phase du programme avait une capacité de production d’eau douce de 24,6 million de m³/an qui a été étendue à 150 million m³/an dans la phase 2. Cette seconde phase a consommé 900 t de tubes en titane ;
- Facility D au Qatar : les besoins en titane de cette centrale de dessalement d’une capacité de 100 million m³/an ont été de 10.000 kms de tubes en titane représentant environ 2.500 t.

Les perspectives d’augmentation de capacité de dessalement sont de +50% soit environ +50 millions de m³/jour à horizon de 5 ans. Selon l’*International Desalination Association*⁴⁸ (IDA), la capacité mondiale de dessalement fin 2017 était de 99,8 million de m³/jour réparties dans 19.372 sites de traitement. Les régions du Monde les plus susceptibles d’investir dans de nouvelles usines sont autour de la mer rouge et du Golfe persique ainsi qu’en Asie-Pacifique et sur le continent américain (USA et Amérique latine). Une étude récente de l’IDA [ref.48], fait état d’une évolution à la baisse de l’emploi des technologies thermiques au profit du RO. Sur les 9 premiers mois de l’année 2017 seulement 0,1 million de m³/jour auraient été réalisés en technologie thermique à comparer à 2,2 million de m³/jour en technologie RO sur la même période (soit 4,5%). L’emploi du MSF a tendance à chuter car c’est le procédé le plus gourmand en énergie et le MED garde encore des avantages dans des régions comme le Golfe car il est bien adapté à la qualité de l’eau de mer. Le MED est également potentiellement intéressant pour les petites unités de traitement favorisant les hautes températures. La Figure 39 donne les prévisions d’évolution⁴⁹ de l’ensemble du marché du dessalement et la part respective de technologies RO, MSF et MED. Le taux de croissance des parts de marché pour les deux technologies thermiques sont comparable jusqu’en 2025 et sont de l’ordre de 9%/an en moyenne.



Figure 39: Perspective d’évolution du marché du dessalement (en milliards de \$)

VI PERSPECTIVES POUR LE MARCHÉ DES BIENS DE CONSOMMATION

Dans la catégorie « biens de consommation » sont regroupées les applications du titane autres que l’aéronautique, le militaire et le secteur « industrie ». On y retrouve les biens de consommation de grande diffusion, le sport, le luxe, le médical, l’automobile, l’architecture, les piles à combustibles, les applications navales et les autres marchés de niche.

Ce secteur peut révéler des marchés émergents à fort potentiel pouvant impacter significativement l’équilibre du marché mondial. C’est par exemple le cas des piles à combustible dont l’emploi, s’il se généralise, peut rapidement consommer des volumes considérables de titane.

La Figure 40 présente une synthèse de l’évolution de la consommation de titane dans ce secteur à partir des éléments détaillés dans ce chapitre.

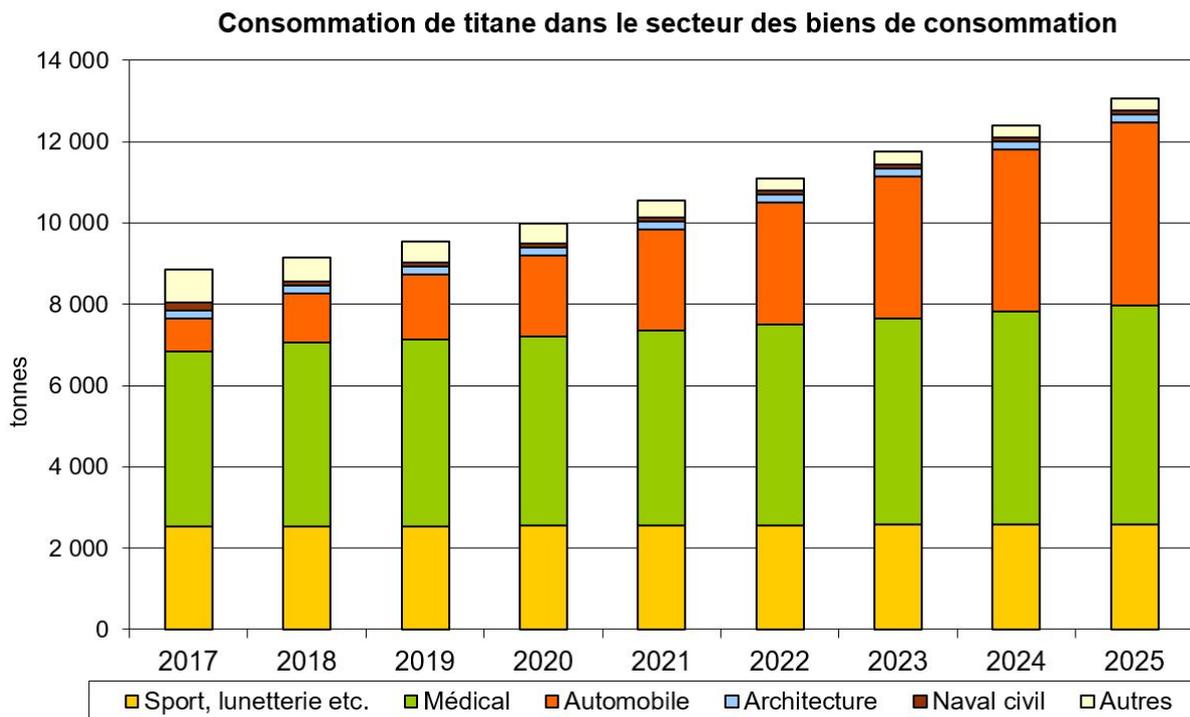


Figure 40: Evolution de la consommation de titane dans le secteur des biens de consommation

VI.1 Applications grand public : sport, lunetterie, luxe & électronique nomade

Le titane bénéficie d’une très bonne notoriété auprès du grand public grâce à son positionnement de matériau « High Tech », performant et léger. On le trouve dans les produits haut de gamme où il peut concurrencer des matériaux *high-tech* comme les composites

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	71/149

« carbone », les métaux précieux comme le platine ou des métaux plus communs comme l'acier et l'aluminium ; ainsi en est-il dans les secteurs ci-après :

- les articles de sport : clubs de golf, cadres de vélo, raquettes en tous genres...
- la lunetterie
- la joaillerie, l'horlogerie et autres produits de luxe
- les boîtiers pour l'électronique nomade etc.

La production pour ces articles de grande diffusion n'implique pas de moyens complexes et les nuances de titane utilisées sont courantes (titanes faiblement alliés, TA6V); c'est pourquoi ce segment de marché s'est particulièrement développé en Asie et en particulier en Chine (voir section II.3). Le développement fulgurant de l'application « clubs de golf » dès les années 1995 a démontré que le titane était compatible avec une industrialisation intensive et a ouvert la voie pour les applications « grand public ». Installé en Corée du Sud, à Taïwan et en Chine, le marché des clubs de golf est aujourd'hui un marché mature. Plus récemment, le titane a profité d'un effet de mode et fait une percée dans le domaine des boîtiers de biens de consommation électroniques : appareils photo, caméra, ordinateurs portables etc. Ces produits sont fabriqués en Asie dans la plupart des cas.

D'autres applications pourront encore émerger dans le domaine des biens de consommation courante dans les 5 prochaines années mais il est clair que le prérequis à ce scénario est la relance de la consommation.

VI.2 Médical

Les applications du titane dans le secteur médical se sont développées ces dernières années. Elles représentent aujourd'hui le secteur de marché le plus volumineux dans les biens de consommation avec une demande d'environ 4.000 à 5.000 tonnes/an. En progression de l'ordre de 4,9%/an⁵⁰ en moyenne sur la période 2016 – 2024, le marché des implants croît avec le vieillissement général de la population et le développement des classes moyennes et aisées. La demande se concentre aux USA (50%), en Europe (25%) et en Asie (22%). Grâce à sa biocompatibilité, le titane est un métal adapté à toutes les applications réparatrices (implants dentaires, prothèses, tiges, fixations, renforts osseux etc.) et aux outils chirurgicaux. Globalement, 70% des tiges et 80% des coquilles utilisées pour les prothèses de hanche sont en titane. 65% des prothèses de tibias et 95% des plaques et vis des prothèses de colonnes vertébrales sont également en titane. En conséquence, les perspectives d'évolution de la consommation de titane sur la période 2017 – 2025 sont estimées à 4,7%/an.

Malgré un coût unitaire élevé et une faible prise en charge par les organismes de remboursement, les prothèses en titane gagnent des parts de marché sur les solutions en acier car elles ne présentent pas de risque de rejet et elles offrent une meilleure durée de vie.

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	72/149

En 2009, alors que la demande globale en titane s'écroulait, le secteur médical était un des rares marchés à s'être maintenu. Depuis, le marché continue à se développer, soutenu par une très forte activité de recherche et développement. Il y a donc sur ce segment une vraie dynamique sur le long terme.

Seule ombre au tableau, le secteur a connu un scandale retentissant avec des problèmes de qualité sur des implants titane chinois importés aux USA. Avec de nombreux cas de patients opérés ayant subi de graves problèmes de santé, les implants chinois ont été bannis à l'importation. La décision a favorisé le développement du marché intérieur avec l'émergence de nouvelles solutions réparatrices mettant en œuvre des technologies avancées d'impression 3D, de matériaux poreux (permettant la colonisation osseuse), de nouveaux alliages etc.

Par exemple, l'Université de Rice (Huston, TA) a mis au point en 2016 un composé intermétallique titane-or très haute dureté, le β -Ti3Au pour des prothèses. Cet alliage est un bon candidat pour les applications médicales en raison de sa meilleure tenue au frottement et à l'usure qui permettrait une amélioration de la durée de vie des implants. D'autres applications sont envisagées dans le sport et l'usinage (pour les forets de perçage).

Dans le domaine de la mise en forme d'implants par techniques additives, la Food & Drug Administration (FDA) délivre de plus en plus d'autorisation pour la mise sur le marché d'implants comme des implants faciaux (fabrication additive par voie lit de poudres et fusion EBM), des implants lombaires (impression 3D de titane poreux), des prothèses cervicales (impression 3D par faisceau d'électron) etc. Globalement, le titane couvre 95% des implants métalliques fabriqués par techniques additives.

La demande est dominée par cinq grands fabricants de prothèses et implants en titane qui détiennent 60% du marché et complétée par une centaine d'acteurs plus petits. Ce marché de niche à haute valeur ajoutée bénéficie, comme évoqué plus haut, d'un certain protectionnisme vis-à-vis de la concurrence chinoise. L'approvisionnement par les distributeurs permet d'alimenter en matière première de qualité pour des besoins en volume modestes. Les perspectives de développement global du marché sont telles que des nouveaux entrants se profilent comme Google, Apple ou Amazon.

VI.3 Transports terrestres

Le premier frein à l'utilisation du titane dans le secteur des transports terrestres (automobiles, motos, camions) est son prix, tant en niveau qu'en stabilité. Au-dessus de 9 à 13 €/kg^{51,52} pour une pièce finie prête à monter, le titane ne peut concurrencer des solutions métalliques en acier ou en aluminium. Le second obstacle est la structure actuelle de la filière de production qui n'est pas adaptée à une production de masse. Malgré cela, le titane trouve sa place dans certains véhicules automobiles et les motos de haut de gamme, de prestige et de compétition.

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	73/149

Une étude menée aux USA [réf.52] a montré qu’il existait un marché potentiel de plusieurs dizaines de milliers de tonnes dans les systèmes d’échappement, les ressorts de suspension, les composants des systèmes condenseur/refroidisseur, différentes pièces moteurs (soupapes, ressorts de soupapes, bielles, vilebrequins etc.). Les réglementations anti-pollution de plus en plus drastiques en Amérique et en Europe favorisent le remplacement de l’acier par le titane sur ces applications.

Les premiers débouchés du titane sur des véhicules de série sont apparus au Japon en 1991 avec les bielles de la Honda Acura NSX V6 et en 1998 avec Toyota sur des soupapes en titane pour le modèle Altezza. En 2001, Volkswagen (Europe) conçoit des ressorts de suspensions pour la Lupo FSI (4 tonnes/an^{kk}) et la même année Chevrolet (USA) dote la Corvette Z06 (150 tonnes/an⁵³) d’une ligne d’échappement en titane. Les constructeurs allemands (Porsche, Mercedes, BMW) ont privilégié le titane sur des modèles très haut de gamme dont l’exemple ultime est la Bugatti Veyron^{ll} (groupe BMW), véritable démonstrateur de haute technologie avec plus de 40 kg de titane à bord (100 kg approvisionné). A ces applications sur véhicules de série, se rajoute la consommation de titane dans la compétition moto et automobile (Formule 1, Racing etc.). La consommation dans ce secteur est estimée à 100 tonnes/an. Dans le domaine des échappements sport, la société slovène Akrapovič a développé de nombreux modèles en titane qui équipent les véhicules haut de gamme allemand et de nombreuses motos sportives.

C’est au Japon que les exemples d’industrialisation sont les plus nombreux. Des recherches sont menées sur la qualité et sur les procédés de transformation afin de réduire autant que possible le coût de production des pièces finies. Avec une consommation de l’ordre de 1.300 tonnes/an en 2008, le Japon faisait office de leader sur ce segment d’application. Malheureusement, la très forte récession qui a frappé le Japon a fait chuter la consommation à 200 tonnes en 2009 et l’activité a commencé à reprendre en 2016 (voir Figure 41). Dans la mouvance des technologies « vertes » pour le transport terrestre, le titane a un potentiel d’utilisation dans les piles à hydrogène.

Le premier constructeur automobile qui s’est lancé dans la fabrication d’une pile à combustible⁵⁴ utilisant du titane est Toyota pour son modèle Mirai qui est entré en production en 2015. Après une présérie de 700 véhicules, l’objectif de 2017 est d’en fabriquer 3 000. Le gouvernement japonais affiche une volonté de monter en cadence avec 40 000 véhicules en 2020, 200 000 en 2025 et 800 000 en 2030.

Cette technologie pourrait consommer 40 kg de titane par véhicule. Les perspectives de consommation calculées sur la base des projections de cadence de production de la Mirai sont de 84 t en 2017, 1.200 t en 2018 et jusqu’à 8.500 t en 2020. Le titane est employé sous la forme d’un feillard jouant le rôle de séparateur dans les piles à combustible.

^{kk} Produite entre 2001 et 2005.

^{ll} En production depuis 2005 à un rythme de 75 voitures/an.

Japon: consommation pour applications automobiles

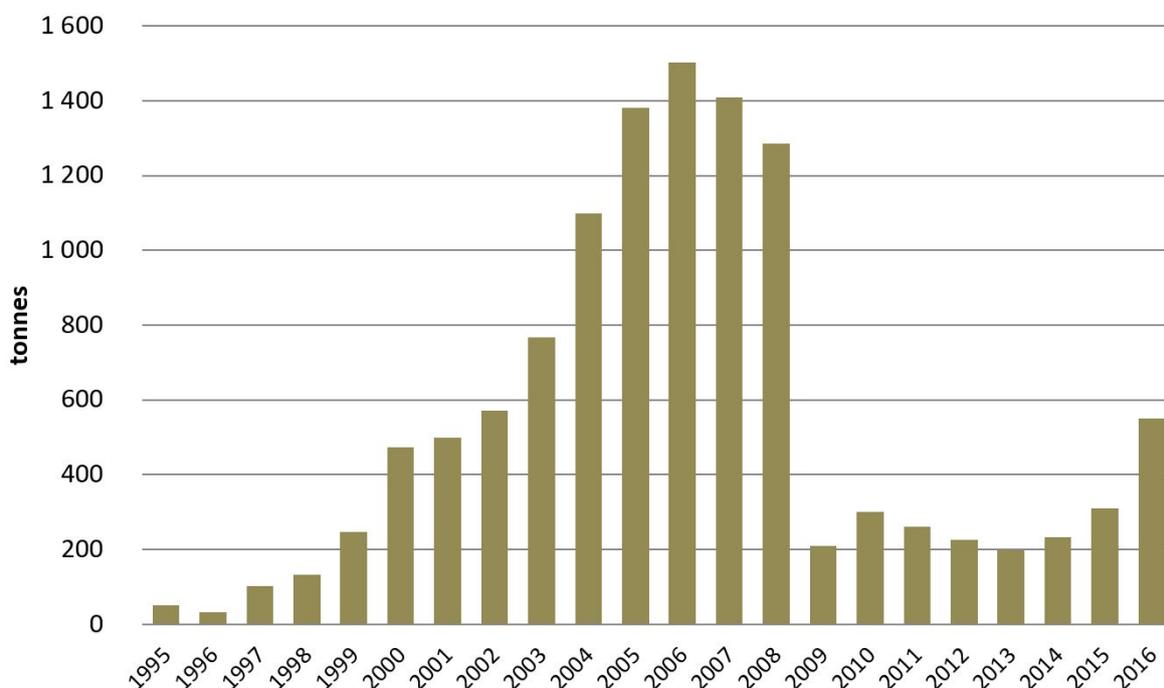


Figure 41: Consommation de titane dans le secteur automobile au Japon [réf.9]

VI.4 Constructions navales civiles : marine marchande, yacht & plaisance

Dans cette section, les applications « méthaniers » pour le transport de gaz naturel liquéfié et les constructions navales militaires ne sont pas prises en compte. Elles sont traitées respectivement dans les sections V.1 et IV.3. Le titane combine trois avantages et autant d'inconvénients majeurs qui expliquent les faibles volumes constatés sur ce segment d'application. En théorie, la résistance à la corrosion, les bonnes propriétés mécaniques spécifiques et la tenue au feu du titane permet de réaliser des superstructures de grands navires, des coques de bateaux de plaisance, des équipements et accastillages divers etc. Dans la pratique, les cas concrets d'application sont très limités, pour les raisons suivantes :

- Le prix des pièces réalisées en titane : comparées à des équivalents inox, le coût de revient des pièces en titane est 4 fois supérieur ; pour concurrencer les bases aciers, le titane devrait se situer entre 5 et 7 €/kilo.
- L'absence de technologie de soudage sous atmosphère contrôlée économiquement rentable par rapport aux procédés actuels utilisés dans les chantiers navals.
- L'absence de code de construction règlementant l'emploi du titane pour ces structures navales.

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	75/149

Le volume de titane consommé pour ce secteur est négligeable (quelques dizaines de tonnes). De nouveaux débouchés sont peu probables dans les 10 prochaines années.

VI.5 Architecture

De nombreux projets architecturaux ont utilisé le titane en tant que matériau de finition pour son aspect esthétique. Dans ce domaine, l'exemple le plus connu est le musée Guggenheim de Bilbao réalisé en 1997. Ce projet spectaculaire été suivi par de nombreuses autres réalisations partout dans le monde, tant pour les bâtiments publics que pour les projets privés. C'est certainement au Japon que les applications architecturales consomment le plus de titane. Comme l'illustre la Figure 42, la consommation annuelle est fortement dépendante du nombre et de la taille des projets qui sont menés. Les architectes envisagent également le titane en tant que matériau de construction. Outre les performances mécaniques avantageuses pour des structures élancées, la tenue à la corrosion et la résistance au feu, le faible coefficient de dilation du titane permet de concevoir des structures qui l'associent avec la pierre, le béton et le verre. Au niveau mondial, la consommation de titane peut être estimée en moyenne à quelques centaines de tonnes/an.

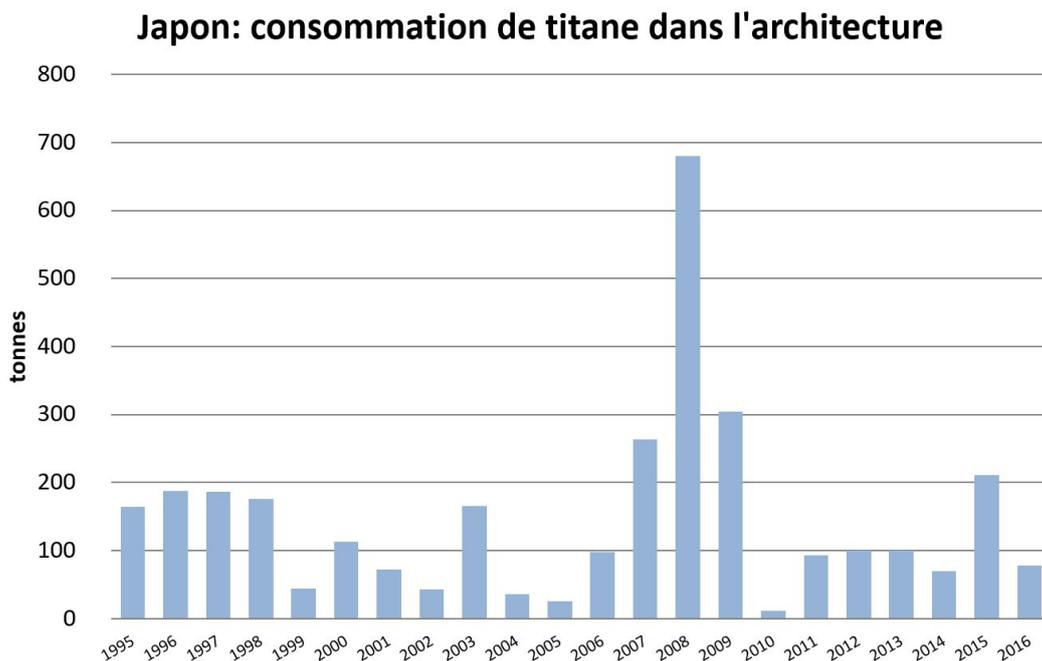


Figure 42: Consommation de titane dans l'architecture au Japon [réf.9]

VII SYNTHÈSE DE L'ÉVOLUTION DE LA DEMANDE MONDIALE

A partir des prévisions de la consommation de titane détaillées dans les chapitres III à VI, nous présentons dans la Figure 43 la synthèse de l'évolution de la demande qui constitue le scénario de référence. Le taux de croissance annuelle moyen sur la période 2017-2029 est de 5,63%/an puis il baisse à 1,75%/an jusqu'en 2025.

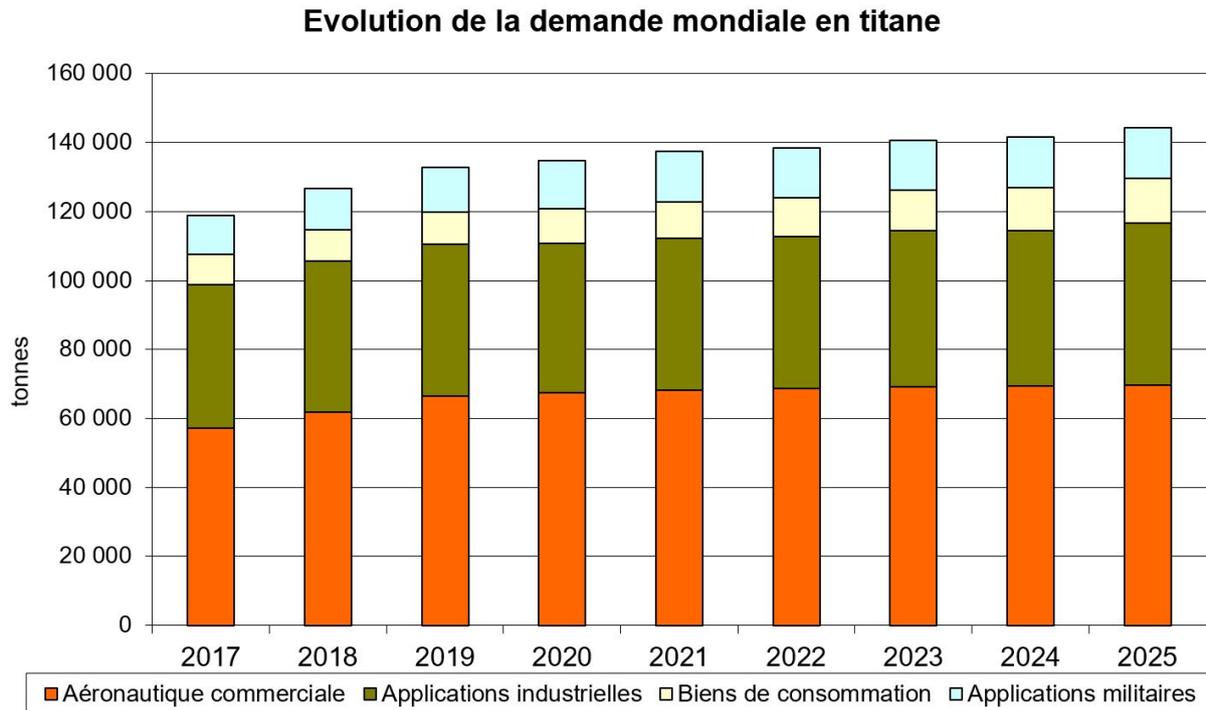


Figure 43: Évolution de la consommation mondiale de titane (scénario de référence)

Ce scénario est basé sur les déterminants de la demande listés ci-dessous :

⇒ Aéronautique

La demande aéronautique est tirée par l'augmentation du trafic aérien dans les pays hors-OCDE et le besoin de renouvellement des flottes aériennes dans les pays développés. La demande en titane est directement corrélée aux cadences de production des avions qui est elle-même influencée l'état du carnet de commande. Le scénario de référence est basé sur :

- **Cadences de production** : perspectives d'augmentation des cadences de production stables à partir de 2022 avec environ 1.900 avions livrés par an par les deux leaders Airbus et Boeing (projections à partir des annonces faites par les avionneurs) ;

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	77/149

- **Relative stabilité du backlog** (arriéré de production) supposant un rythme de prise de commande compensant peu ou prou le rythme des livraisons annuelles. Avec une demande de 35.000 à 41.000 avions neufs dans les 20 prochaines années, le rythme des prises de commande annuelle moyenne devra se situer entre 1.100 et 1.400 commandes. A raison d'environ 1.900 avions livrés par an, la demande du marché est servie.

⇒ **Industrie**

Malgré les bonnes perspectives à long terme qui prévoit une augmentation de la demande liée à celles des populations en voie de développement, ce scénario anticipe une croissance modeste de la consommation de moins de 1%/an en moyenne à l'horizon 2025. Il est basé sur les considérations suivantes :

- Un contexte économique morose encore sous les effets de la crise de 2008 (frein à l'investissement dans de nouvelles capacités de production industrielles) ;
- Une augmentation des risques de conflits armés dans de nombreuses régions du Monde (contexte peu favorable aux projets de développement de l'activité industrielle) ;
- La volonté de réduire l'impact environnemental des activités industrielles (frein aux activités polluantes et à risque : chimie, nucléaire etc.) ;
- Le remplacement des énergies fossiles par les énergies renouvelables (peu consommatrice de titane) ;

⇒ **Biens de consommation**

L'évolution de la demande en titane pour les biens de consommation est liée à l'augmentation du niveau de vie moyen dans les pays émergents, le vieillissement de la population dans les pays développés et le développement de nouvelles technologies comme les piles à combustible. Le scénario de référence est principalement basé sur :

- Les objectifs de commercialisation de la Toyota Mirai équipée de la technologie de pile à combustible baptisée TFCS utilisant un feuillard en titane ;
- Une croissance de la demande de 4,7%/an dans le domaine du médical ;

⇒ **Militaire**

Le titane est utilisé dans de nombreuses applications militaires. L'évolution du contexte géopolitique de ces dernières années a mené à une augmentation des dépenses d'armement dans le Monde. Les pays fabricants d'arme historiques (USA, Russie, France,

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	78/149

Royaume-Uni, Israël etc.) sont rejoints par les nouvelles grandes puissances comme la Chine et l'Inde. Selon notre scénario de référence la demande en titane est en croissance de +6,5%/an jusqu'en 2021 puis stable jusqu'en 2025.

Dans les sections suivantes, nous complétons ce scénario de référence par quelques commentaires sur la sensibilité du modèle aux hypothèses de calcul les plus significatives.

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	79/149

Deuxième Partie : Évolution de l'offre

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	80/149

DEUXIEME PARTIE: EVOLUTION DE L'OFFRE

CHAPITRE VIII

Résumé :

La production de titane démarre par la fabrication de l'éponge qui est extraite de l'oxyde de titane par le procédé Kroll. Ce procédé complexe et coûteux détermine l'économie de la filière de production et contribue au prix élevé du matériau. Clef de son développement, des recherches sont menées pour inventer de nouveaux procédés d'extraction, innover dans les méthodes de production.

Des progrès sont obtenus et des marchés de niches trouvent progressivement leur voie en particulier dans le domaine des méthodes de production additives. L'essentiel de la production reste toutefois sur le schéma basé sur l'éponge Kroll, les techniques alternatives d'extraction semblant toutes être vouées à l'échec.

Les capacités de production d'éponge ont triplé entre 2003 et 2012 pour atteindre 322.000 t/an. Fortement sur-capacitaires en Chine, ce pays a perdu plus de 40% de son potentiel. Elles sont actuellement de 264.600 t/an et sont localisées principalement en Chine (33%), en Europe de l'Est (32%), au Japon (26%) et aux USA (9%). Presque les deux-tiers de cette éponge sont qualifiés pour un usage aéronautique. La Chine n'en possède pas. A l'horizon 2025, les perspectives de croissance des capacités sont limitées. Fait marquant, l'Arabie-Saoudite va prochainement entrer dans le cercle des pays producteurs d'éponge de titane.

Au niveau des moyens de fusion, les capacités mondiales sont estimées à 430.000 t liquides/an (309.000 tonnes solides/an). Elles sont principalement localisées aux USA (37%), en Chine (32%), en Europe de l'Est (17%) et au Japon (12%). Selon les prévisions actuelles, ces capacités devraient peu évoluer à l'horizon 2025.

Véritable enjeu pour la filière, les capacités de recyclage des déchets de titane sont encore sous-développées dans le Monde, excepté aux USA. Progressivement, des filières se structurent comme par exemple en France où un projet d'économie circulaire est en train de se mettre en place autour de la joint-venture UKAD (EcoTitanium).

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	81/149

CHAPITRE VIII

VIII MINERAI DE TITANE

Le minerai de titane est principalement extrait des gisements pour la fabrication de pigment TiO_2 (voir Tableau 1). Seulement 6% à 7% de la production mondiale est utilisée comme matière première pour la filière du titane métal. Les fabricants d'éponge occidentaux et japonais utilisent le rutilé TiO_2 extrait naturellement ou synthétisé tandis que les méthodes de production d'Europe de l'Est (Russie, Kazakhstan, Ukraine) et de Chine sont basées sur l'extraction de scories de titane (*slag*) par fusion de l'ilménite ($FeTiO_2$). Selon les informations recueillies auprès de différents producteurs d'éponge, ces généralités cachent en réalité un savant dosage des matières premières qui constitue le savoir-faire « maison ». In fine, quel que soit le mix des matières premières utilisées en fonction de leur nature, de leur teneur en impuretés^{mmm} et de leur origine, le fabricant d'éponge doit garantir une certaine qualité d'éponge en sortie.

Selon les producteurs, les problématiques d'approvisionnement ne sont donc pas identiques.

VIII.1 Rutile naturel

Le rutilé naturel⁵⁵ est utilisé directement pour la production d'éponge de titane. Il peut contenir, selon l'origine, 4% à 7% d'impuretés (pureté 93% à 96%) sous la forme d'oxydes métalliques et d'éléments radioactifs comme l'uranium ou le thorium. Les principaux gisements naturels sont exploités en Australie, en Afrique du Sud, en Sierra Leone et en Ukraine (voir Tableau 1).

VIII.2 Rutile synthétique

Le rutilé synthétique est extrait de l'ilménite selon deux procédés^{56,57} :

- le procédé Becher (par rinçage à l'acide sulfurique) développé et exploité commercialement en Australie ;
- le procédé Benilite (par rinçage à l'acide chlorhydrique) développé aux USA exploité dans les autres pays producteurs de rutilé synthétique.

^{mmm} Parmi les impuretés, le minerai de titane peut contenir des éléments radioactifs dont la concentration doit être contrôlée en production pour des raisons évidentes de sécurité. Cette contrainte supplémentaire complique encore les paramètres de mix sur les matières premières.

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	82/149

⇒ Procédé Becher

Premier procédé commercialisé dans le Monde, il permet de transformer de l'ilménite en TiO_2 par élimination du fer contenu, voire du manganèse, mais les autres impuretés restent présentes à l'issue du traitement. Le rutile synthétique ainsi produit contient en général entre 85% et 95% de TiO_2 et nécessite une matière première qui peut être soit de l'ilménite contenant 40% à 60% de TiO_2 (noté 40% - 60% TiO_2), soit du slag de titane (72% - 85% TiO_2) soit un mélange des deux. Ce procédé est plutôt adapté aux produits moins exigeant en termes de qualité. Il faut environ une tonne de matière première pour produire 0,5 tonne de TiO_2 .

⇒ Procédé Benilite

Ce procédé présente l'avantage d'éliminer plus d'impuretés dans l'ilménite que le procédé Becher. Il traite en général le magnésium, le calcium et le chrome en plus du fer et du manganèse. Bien que plus cher, il permet ainsi de prendre en compte une plus grande variété d'ilménite, de slag de titane voire de rutile (pour purification).

VIII.3 Slag de titane

La fabrication de slag de titane se fait par réduction de l'ilménite⁵⁸ dans des fours à arcs électriques. Par adjonction de charbon (anthracite), la majorité du fer est séparée dans le four sous la forme de fonte d'acier tandis le TiO_2 est concentré dans les scories avec les autres impuretés présentes et des résidus ferreux (typiquement de 8% à 10% FeO). Ensuite, les scories subissent des traitements chimiques ultérieurs comportant des rinçages acides afin de les purifier (sulfurique ou chlorhydrique). In fine, la concentration atteinte se situe entre 80% et 95% TiO_2 selon les procédés employés.

Pour la production d'éponge de titane, l'ilménite à plus forte teneur en TiO_2 (55% – 70%) est préférée afin d'en extraire un slag enrichi par le procédé au chlorure. La concentration en TiO_2 de ce slag serait de l'ordre de 85% à 95%.

VIII.4 Du minerai à l'éponge de titane

La Figure 44 donne en synthèse un aperçu des filières actuelles de transformation des différents minerais titanifères en matières premières pour les industries utilisatrices, c'est-à-dire les pigments et l'éponge de titane.

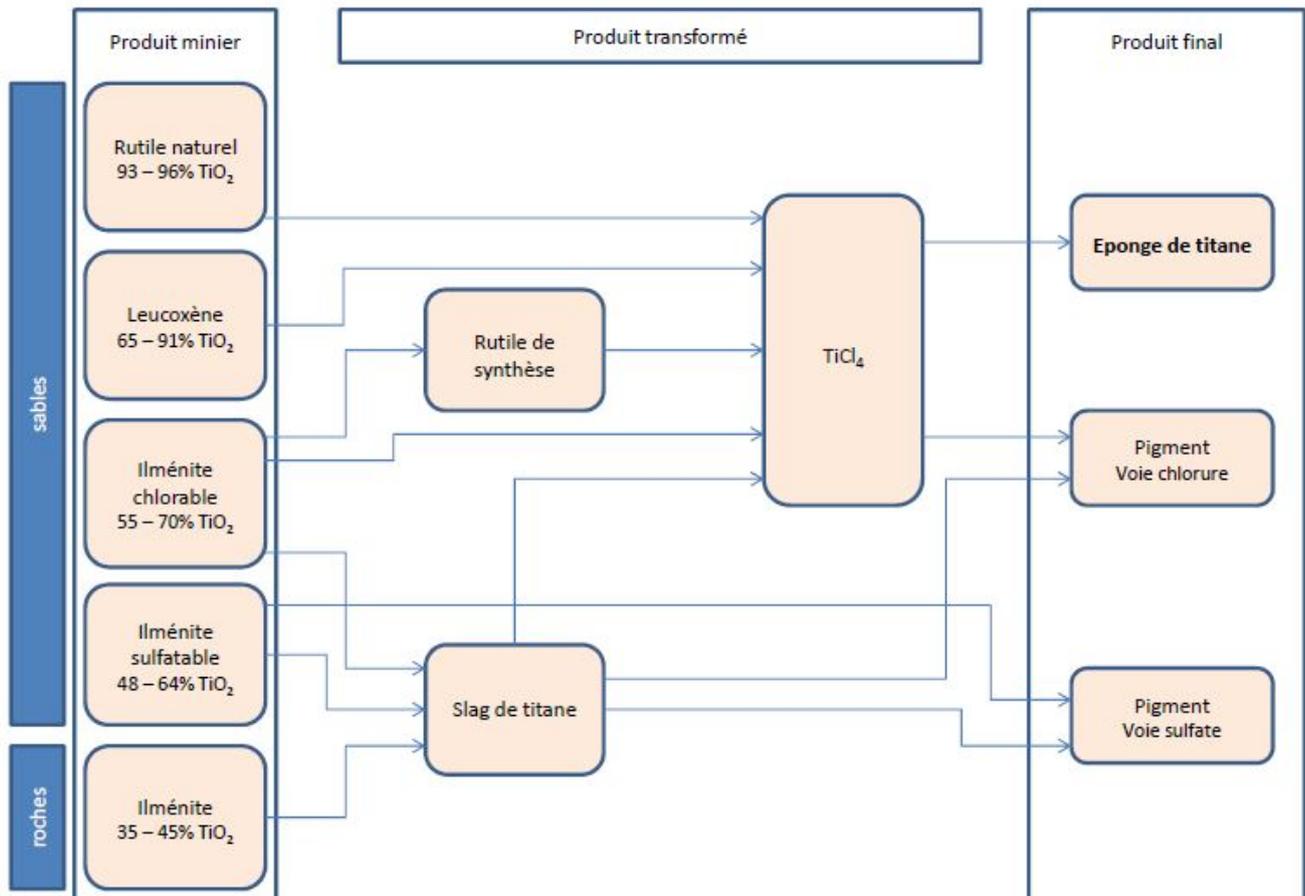


Figure 44: Filière de transformation des minerais titanifères

Comme nous le verrons au chapitre XI, des travaux de recherches sont menés dans de nombreux pays pour trouver de nouvelles méthodes d'extraction plus compétitives. En attendant, les fabricants d'éponge améliorent leur méthode afin de baisser les coûts de production.

Ainsi, les japonais ont annoncé⁵⁹ qu'ils avaient engagé en 2011 un changement important dans leur stratégie en introduisant progressivement l'emploi de minerais de moins bonne qualité. Le taux d'emploi de matière à 90 – 92% TiO₂ est passé de 0% en 2010 à 40% en 2012, en substitution de la qualité à 94 – 96% de TiO₂ utilisée jusque-là.

IX EPONGE DE TITANE

IX.1 Évolution des capacités mondiales de production d'éponge

Nous présentons dans la Figure 45 l'historique de l'évolution des capacités mondiales de production d'éponge par pays sur la période 2006 - 2016. Ces données mettent

en évidence la montée en puissance de la Chine qui a détrôné le Japon en 2007 en tant que 1^{er} pays producteur. En 2012, les capacités chinoises ont culminé à 149.500 t/an puis, sous la pression sur-capacitaire et une réglementation plus contraignante en matière protection de l'environnement, ce pays a perdu en 3 ans un 40% de ses capacités qui se sont stabilisées à 88.000 t/an. Les producteurs historiques d'éponge de titane sont : le Japon, la Russie, les USA, le Kazakhstan et l'Ukraine. L'Inde s'est dotée d'une petite capacité de 500 t/an qui a mis plusieurs années à se mettre en place. Finalement, il semble qu'elle soit opérationnelle depuis 2015. La domination capacitaire de la Chine est indiscutable en volume, toutefois le niveau de qualité de l'éponge limite son emploi à des applications courantes (qualité métallurgique). Malgré les efforts des producteurs chinois et des annonces régulièrement faites dans les congrès mondiaux, aucun producteur de ce pays n'est encore qualifié pour les pièces critiques aéronautiques. Malgré une situation sur-capacitaire de l'offre, il y a encore des projets d'augmentation de capacité dans les 5 à 10 prochaines années. Depuis la fermeture d'usine en Chine en 2013/2014, il n'y a pas eu de nouvelles annonces de création de capacité dans ce pays. Cette hypothèse n'est toutefois pas à exclure mais notre scénario de base n'en tient pas compte. Fait marquant du côté de l'offre, le groupe saoudien de production de TiO₂ Cristal en association avec le producteur d'éponge japonais Toho ont annoncé en janvier 2014 la création d'une joint-venture appelée Advanced Metal Industries Cluster Co. (AMIC) pour investir ensemble dans une usine d'éponge sur le sol saoudien à Yanbu. L'usine est actuellement en construction et devrait être opérationnelle au 1^{er} trimestre 2018.

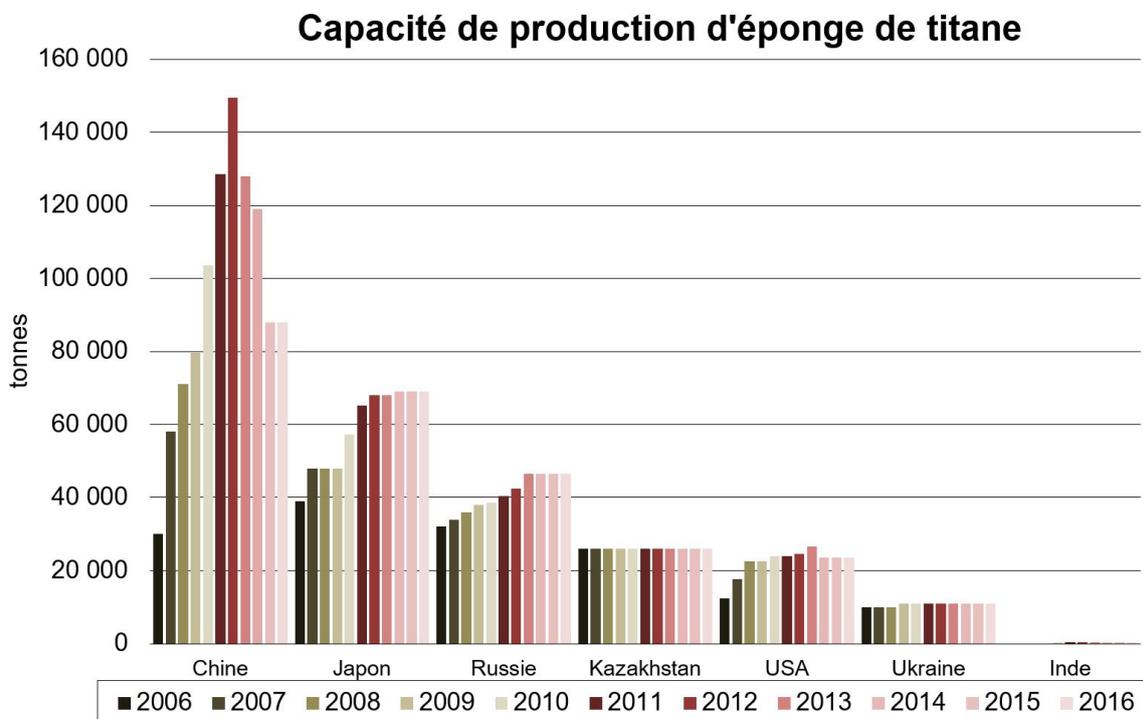


Figure 45: Capacités mondiales de production d'éponge 2006 – 2016

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	85/149

⇒ USA

La crise financière de 2008 a donné un coup d'arrêt aux projets d'expansion de capacité envisagés aux USA. Seul ATI a maintenu son investissement dans une nouvelle usine d'éponge à Rowley (Utah) en décembre 2009 et qui monte progressivement en capacité jusqu'à son potentiel cible de 11.000 t/an. L'éponge a reçu sa qualification pour pièces tournantes « moteur » en juin 2015. ATI a conçu l'usine de telle sorte qu'une extension à 19.000 t/an de capacité soit possible. Fin 2013, le producteur a annoncé la fermeture définitive de son usine d'Albany (Oregon), jugée trop ancienne. Pour compléter ses besoins en éponge, il s'approvisionne auprès de la Russie, du Kazakhstan et du Japon.

Concernant RTI (racheté par le groupe Alcoa en juillet 2015), le projet de construction d'une usine d'éponge de capacité 10.000 t/an à Hamilton (Mississippi) annoncé en 2007 a été repoussé puis finalement abandonné en 2010. Pour faire face à ses besoins en éponge, RTI s'appuie sur un approvisionnement via des contrats à long terme avec les producteurs japonais Toho et Osaka Titanium (respectivement sur les périodes 2012 – 2021 et 2013 – 2021).

Pour Timet (groupe PCC depuis janvier 2013), la dernière extension de capacité date de 2007 et concernait son usine d'éponge d'Henderson. Pour s'adapter à la baisse de la demande et à l'augmentation de capacité des autres producteurs, Timet a consolidé ses engagements contractuels d'approvisionnement d'éponge sur le long-terme^{nm} et repoussé ses projets d'augmentation de capacité à une échéance non fixée.

Il faut également signaler une capacité de 300 t/an de production d'éponge de titane de très haute pureté destinée aux applications électroniques (Honeywell Electronic Materials).

⇒ Japon

Les producteurs japonais ont annoncé qu'ils avaient engagé en 2011 un changement important dans leur stratégie en introduisant progressivement l'emploi de minerais de moins bonne qualité dans leur production d'éponge. Ainsi, alors qu'ils utilisaient un minerai contenant 94 – 96% de TiO₂, ils ont progressivement introduit à partir de 2010 du minerai moins riche (90 – 92% TiO₂) qui représente maintenant la moitié de l'approvisionnement en matière première.

Malgré un contexte économique difficile, les producteurs japonais ont poursuivi leur programme d'augmentation de capacités :

- Toho Titanium a ouvert une nouvelle usine à Wakamatsu en avril 2010, s'ajoutant aux capacités de l'usine de Chigasaki. Le nouveau site était prévu en 2014 mais le projet semble reporté sine die ;

^{nm} 19.000 à 24.000 tonnes d'éponge sur une période de 15 ans.

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	86/149

- L'autre producteur d'éponge japonais, Osaka Titanium Corp. (OTC) a augmenté la capacité de son usine de Kishiwada à Amagasaki en 2011.

⇒ **Arabie – Saoudite**

En Janvier 2014, les groupes saoudiens Tasnee (*National Industrialisation Company*) et Cristal (2^{ème} producteur mondial de TiO₂) ont annoncé la création d'une JV avec le producteur japonais Toho pour construire une usine d'éponge en Arabie-Saoudite. Située à Yanbu à côté de l'usine de TiCl₄ de Cristal, l'usine d'éponge sera alimentée en matière première par cette dernière.

Les partenaires ambitionnent de produire une éponge de haute qualité à un coût très compétitif. Le démarrage de l'usine est prévu pour le second semestre 2017 avec une production opérationnelle au 1^{er} trimestre 2018. L'éponge sera destinée à servir les marchés du dessalement, de l'énergie et de la chimie dans les pays du Golfe persique et, en second lieu, pour répondre aux besoins de Toho.

⇒ **Russie**

Le producteur russe AVISMA-VSMPO a réalisé une augmentation de capacité de production d'éponge en 2011. Une nouvelle ligne de production sera qualifiée pour les pièces tournantes aéronautiques.

Une nouvelle usine russe « Solikamsk Magnesium Works (SMW) » a démarré son exploitation en juillet 2009.

⇒ **Ukraine**

Avant la crise russo-ukrainienne qui a débuté en novembre 2013, le gouvernement ukrainien avait décidé la nationalisation des sites miniers d'extraction de titane et remis en cause les licences d'exploitation des sites d'Irshansk et Volnogorsk (fournisseurs de ZTMP, VSMPO et UKTMP) attribuées au groupe DF. Ce même groupe, proche des intérêts russes, avait pris le contrôle du producteur national ZTMK en fin 2012 pour constituer une filière intégrée verticalement.

ZTMK est situé géographiquement à Zaporozhye dans la région Est de l'Ukraine, dans la région russophone. Depuis plusieurs années, des discussions étaient en cours entre VSMPO et ZTMK pour fédérer leurs capacités de production et exploiter les synergies entre les deux producteurs : VSMPO se consacrant aux produits à forte valeur ajoutée et ZTMK aux applications plus courantes. ZTMK a pour objectif de multiplier par deux, voire par quatre, sa capacité de production d'éponge actuelle.

⇒ **Chine**

Le premier site de production d'éponge de titane (l'actuel Fushun) a démarré en 1958 après une dizaine d'année de recherche financée par le gouvernement chinois. Le titane

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	87/149

avait été identifié comme « matériau stratégique » pour des domaines clefs comme l'espace, l'aéronautique et la défense. Pendant les années 2000, la Chine a connu une phase de développement rapide et anarchique de ses capacités de production d'éponge. Le gouvernement a laissé les initiatives se multiplier sans interventionnisme en misant sur l'autorégulation de l'équilibre offre-demande sur le marché intérieur. Devant l'importance des problèmes de pollution et la multiplication des accidents liés à l'absence d'obligation sur la sûreté des installations, la politique industrielle a évolué à partir de 2007 avec des effets bénéfiques sur la filière.

D'un point de vue technique, de nombreux sites de production ne sont pas intégrés verticalement pour ce qui concerne la production de $TiCl_4$. Cela s'explique par le fait que, sans ligne de chloration/distillation, l'investissement pour démarrer une production d'éponge est bien plus faible (de l'ordre de 4 M\$ contre 40M\$ pour une ligne complète de capacité 3.000 t/an). Ces producteurs d'éponge chinois doivent donc s'approvisionner en $TiCl_4$ sur le marché intérieur, ce qui implique des aléas en termes de qualité et de maîtrise des coûts^{oo}. Par ailleurs, l'absence d'unité de recyclage du $MgCl_2$ oblige ces producteurs à acheter le magnésium au prix du marché et à revendre à bas coût le $MgCl_2$.

De manière générale, la principale faiblesse de l'éponge chinoise est sa qualité. La matière première minérale disponible en Chine est une ilménite contenant des teneurs élevées en Ca et Mg. L'éponge est obtenue à partir de slag riche en TiO_2 mais dans lequel ces impuretés se retrouvent. Par ailleurs, les teneurs en O et N sont plus élevées que dans les normes internationales. Nous donnons dans les Tableau 18 et Tableau 19 présentés en annexe XXXVIII le tableau comparatif des technologies de production d'éponge telles qu'elles sont pratiquées dans les différents pays ainsi que les standards de qualité d'éponge chinois comparés au standard japonais et européen.

Parmi les producteurs chinois d'éponge, c'est Zunyi qui semble le plus avancé dans la mise au point d'une éponge grade 0 avec sa dernière ligne de production inaugurée en décembre 2009 (investissement commun avec Baosteel). Ce producteur mène des travaux de R&D pour améliorer la qualité de ses produits et réduire la durée de cycle du procédé Kroll. La filière industrielle chinoise compte très peu d'intégration verticale entre producteurs d'éponge et transformateurs. Outre l'accord de partenariat signé en 2006 entre Zunyi et Baosteel, seul le producteur d'éponge Jinzhou Huashen Titanium s'est associé avec le premier producteur de titane chinois Baoji Titanium (BaoTi) pour former Baoti Huashen Titanium industry Co.

En 2013, le producteur Panzhihua Xinyu Chemical a dû cesser son activité et l'année suivante c'est trois nouveaux sites de production représentant une capacité totale de plus de 20.000 t/an qui n'ont pu démarrer ou maintenir leur production en raison de la faible demande. D'autres producteurs ont dû réduire leur capacité opérationnelle comme Zunyi Titanium, Fushun Titanium plant, Tangshan Tianhe, Anashan Hailiang et Baoji Lixing Ti

^{oo} A titre indicatif, 1 kg de titane métal produit nécessite 4 kg de $TiCl_4$.

Industrie. Des nouvelles capacités peuvent encore émerger en Chine si le contexte économique s’améliore.

IX.1.1 Éponge de qualité aéronautique

Les seuls producteurs qualifiés pour la production d’éponge de qualité aéronautique sont les japonais, les américains, les russes et les kazakhs. En 2014, les capacités de production de qualité aéronautique représentent 61% des capacités mondiale. La Figure 46 donne l’évolution des capacités de production d’éponge « aéronautique » comparée aux capacités totales sur la période 2006 – 2026.

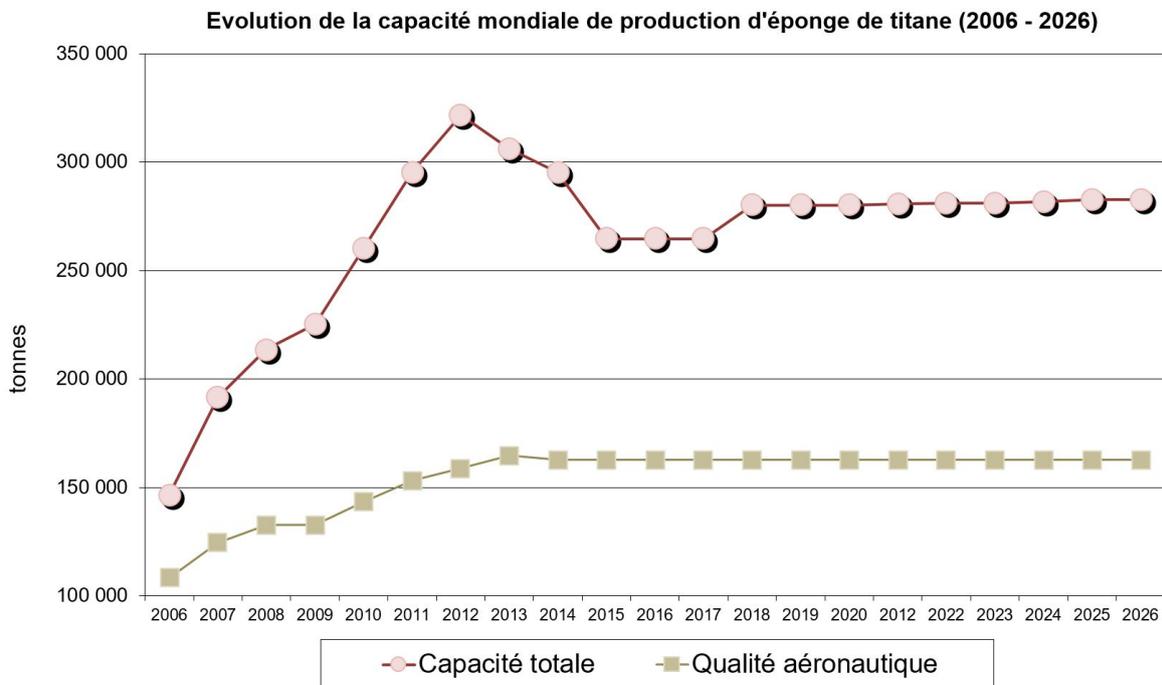


Figure 46: Capacités de production d’éponge de qualité aéronautique 2006 – 2026

IX.2 Évolution de la production d’éponge

La Figure 47 donne l’évolution de la production mondiale d’éponge par pays producteur. En 2009, la chute de la production d’éponge était liée à l’écroulement de la demande lié à la crise financière et à l’importance des stocks liés aux encours de production de 2008.

En 2013 et 2014, la production a rechuté en raison de l’excédent produit en 2012. L’offre avait trop anticipé l’augmentation de la demande associée aux grands projets dans le secteur industriel (usine de dessalement de Yanbu III par exemple, voir section V.3) et la montée en cadence moins rapide qu’espérée du B787 (voir paragraphe III.1.1).

La Chine est le seul pays^{PP} qui pratique une politique de soutien de sa filière industrielle de production par l'achat de stock de matière sous la forme d'éponge et de lingot. Ce stock, qualifié de « réserve nationale », a été constitué sur la période 2008 – 2010 (20.000 t), puis complété en novembre 2013 (+8.700 t)⁹⁹.

Le graphe de la Figure 48 donne l'évolution comparée entre capacité de production d'éponge et production effective.

Dans le secteur non-aéronautique, la situation sur-capacitaire est particulièrement marquée malgré la fermeture de nombreuses usines en Chine.

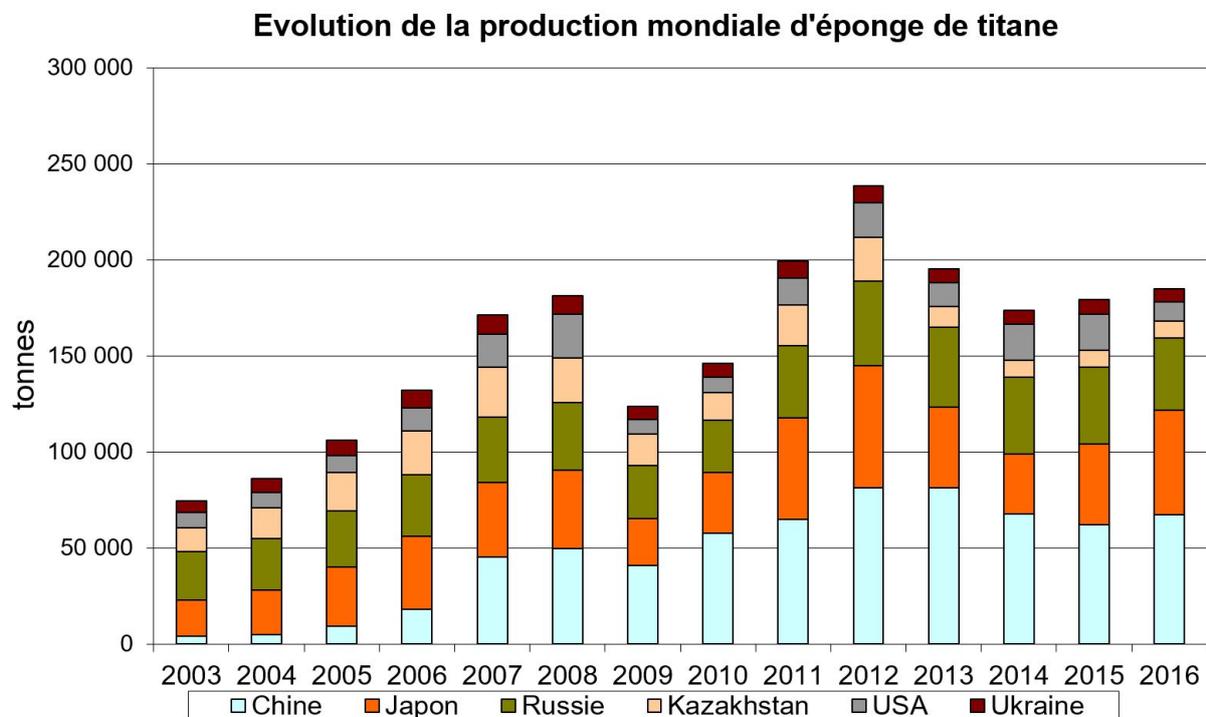


Figure 47: Évolution de la production mondiale d'éponge de titane 2003 – 2016

^{PP} Les USA ont mis un terme à leur stock stratégique d'éponge de titane en 2005 (voir section II.1)

⁹⁹ Voir section II.3

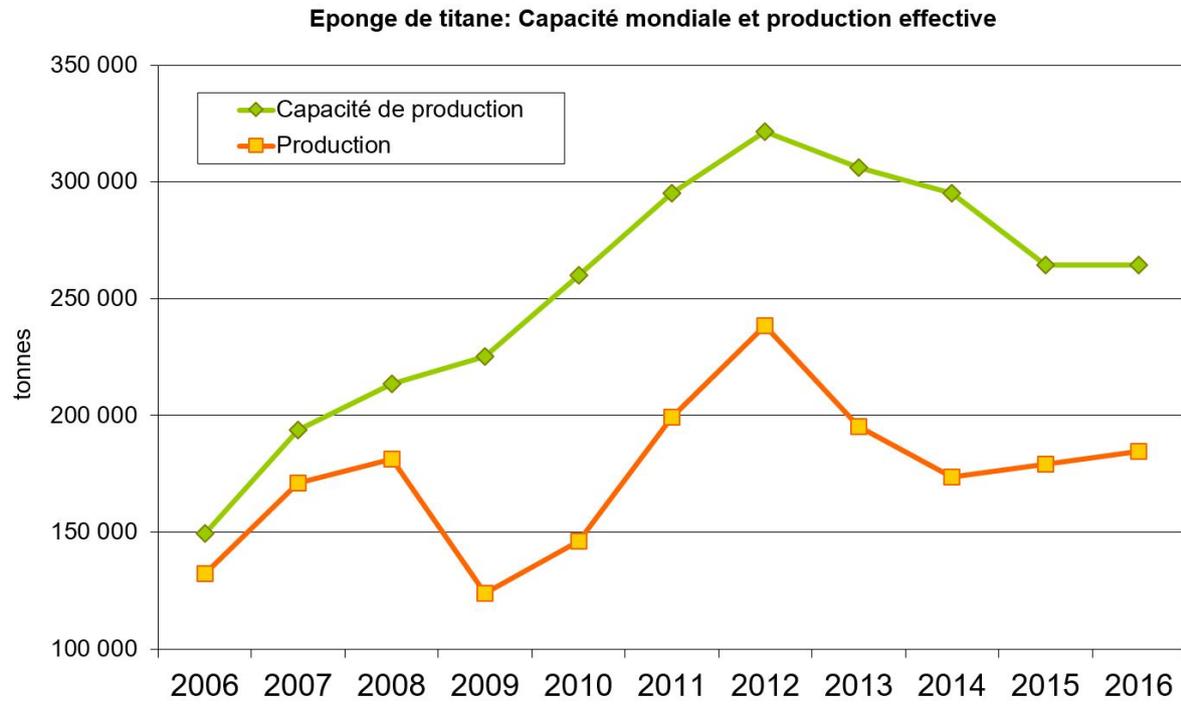


Figure 48: Capacité et de la production effective mondiale d'éponge 2006 – 2016

X LINGOTS & DEMI-PRODUITS EN TITANE

X.1 Évolution des capacités de production de lingot

L'évolution des capacités de fusion de lingot de titane par pays est présentée dans la Figure 49. Les volumes indiqués sont donnés en tonnes liquides puis convertis en tonnes solides avec un coefficient de pondération C^r . Les capacités de production européennes appartenant au groupe américain Timet sont comptabilisées aux USA.

^{rr} Les « tonnes liquides » correspondent à la capacité maximum de production d'un four utilisé à 100% en simple fusion. Pour tenir compte des refusions on pondère cette capacité par un coefficient C tel que : Capacité « tonnes solides » = Capacité « tonnes liquides » x C.

Evolution des capacités de fusion de lingot de titane

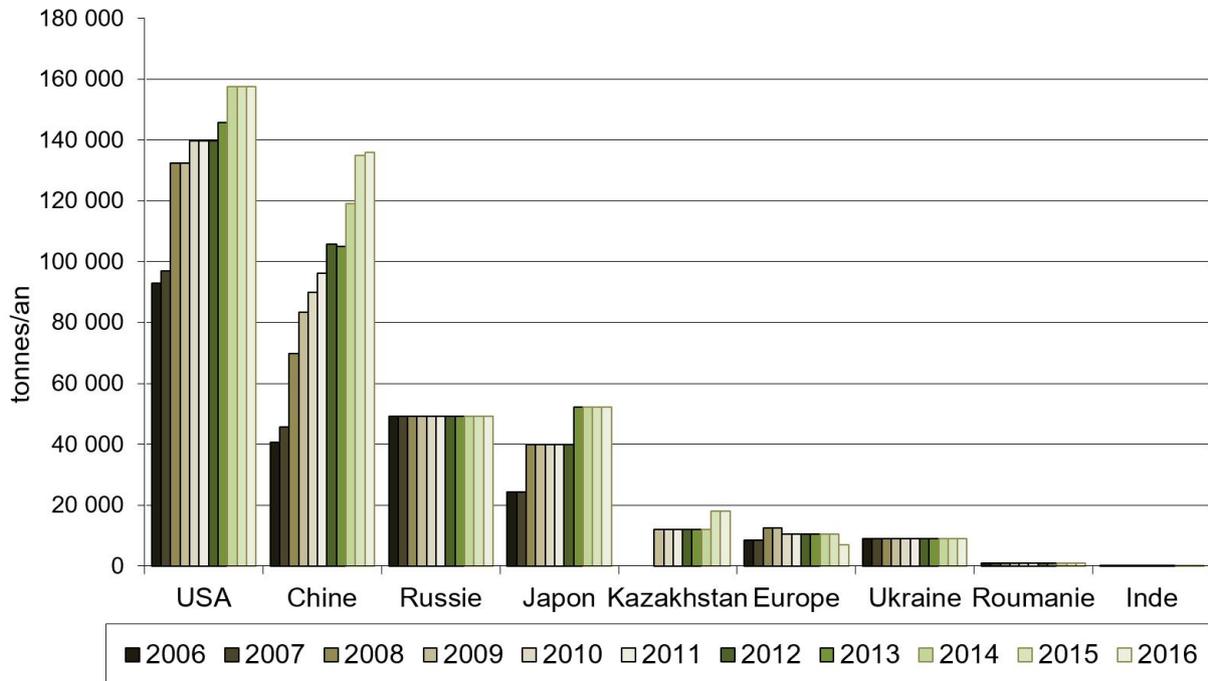


Figure 49: Évolution des capacités de fusion de lingot de titane par pays

Les USA gardent le leadership en moyens de fusion avec 37% des capacités mondiales. La Chine est deuxième avec 32% mais ses capacités sont réparties sur un grand nombre de producteur. Seuls Baoji et Baosteel disposent d'une capacité supérieure à 10.000 t/an.

On peut noter que les moyens de fusion qualifiés pour les alliages aéronautiques représentent 61% des capacités mondiales en tonnes liquides (soit 258.100 t/an). Compte tenu que ces moyens sont mobilisés en double ou triple fusion, ils représentent une capacité de fusion d'environ 100.000 t/an de tonnes solides.

Très majoritairement concentrés aux USA, les fours capables de recycler le scrap de titane (technologie EB, PAM, VIM) sont maintenant présents dans tous les pays producteurs mais ces capacités devraient encore se développer à l'avenir. Le besoin est particulièrement identifié dans les pays disposant d'une filière de transformation et de parachèvement importante comme la Chine, le Japon et l'Europe.

X.2 Évolution de la production de lingot de titane

La Figure 50 donne une comparaison entre la production effective de lingot et la capacité théorique disponible en tonnes liquides et solides. La détermination du coefficient C a été faite en s'appuyant sur l'hypothèse qu'en 2007 les capacités ont été complètement mobilisées pour la production.

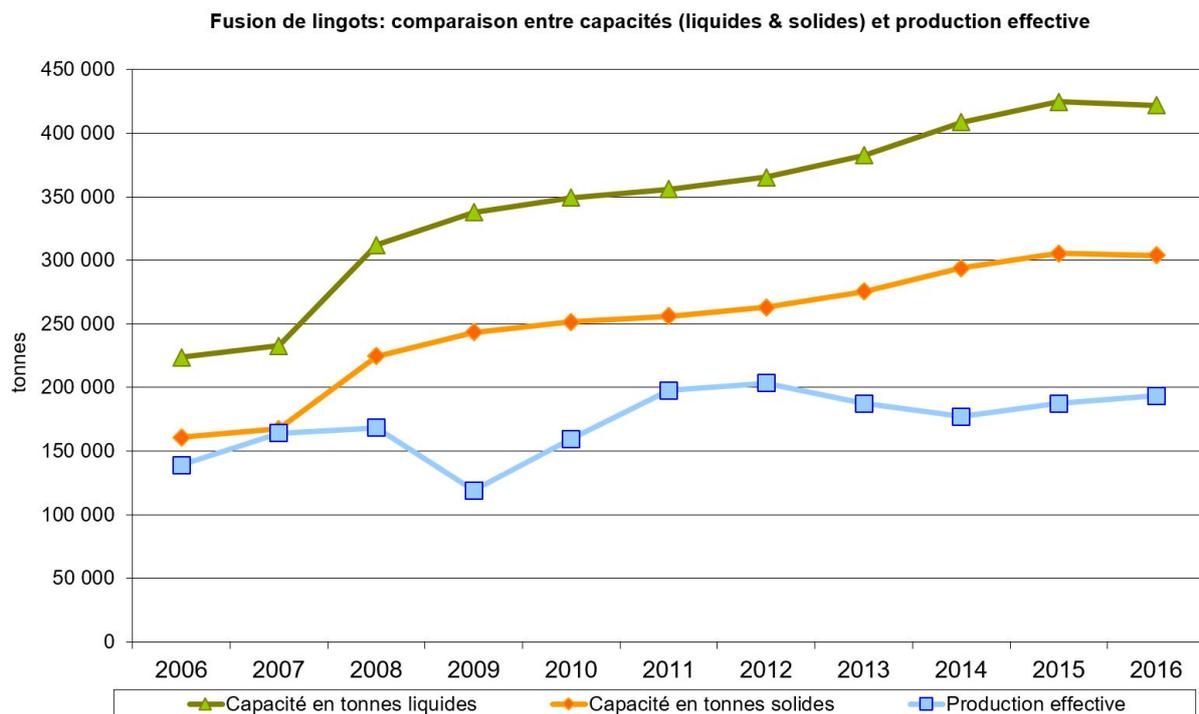


Figure 50: Capacité de fusion et production effective de lingot de titane 2006 – 2016

X.3 Faits marquants de l'offre en lingot & demi-produits

⇒ Kazakhstan

Au Kazakhstan, le producteur d'éponge UKTMP s'est intégré verticalement en se dotant d'une capacité de fusion VAR qui a démarré sa production de lingot au 2^{ème} trimestre 2010. Il a conclu un accord avec le groupe français Aubert & Duval en créant la « joint-venture » UKAD qui transforme une partie des lingots en billettes et barres pour des matricés depuis septembre 2011. L'usine de transformation des lingots kazakhs est implantée à Saint-Georges-de-Mons (63), à proximité de l'usine Aubert & Duval des Ancizes. UKAD a conclu un accord avec Airbus pour livrer des matricés sur les 10 prochaines années.

UKTMP a signé une seconde JV avec le sidérurgiste sud-coréen POSCO pour fabriquer des produits plats à Pohang à partir de lingots de titane fondus au Kazakhstan puis forgés en slabs et laminés en Corée. Initialement prévu pour une mise en service en 2013, le

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	93/149

four EB cofinancé dans le cadre de cette JV a été déclaré en service fin 2014. Il est destiné à fondre directement des lingots rectangulaires de titane pur (grade 1 et 2) pour alimenter la filière.

⇒ France

La JV UKAD, sous l’impulsion du groupe Aubert & Duval, a également décidé d’investir dans une capacité de fusion dédiée au recyclage des déchets de titane sur son site de Saint-Georges-de-Mons. Ainsi, la filière UKAD pourra tirer profit des effets de l’économie circulaire pour sa propre production mais elle pourra également revaloriser sur place des déchets qui, très majoritairement, sont actuellement exporté vers les USA. Le titane sera recyclé dans un four plasma (PAM) adapté aux alliages tels que le TA6V. L’usine baptisée EcoTitanium a été inaugurée en septembre 2017.

UKAD a également annoncé deux investissements sur le site industriel de Florange en Moselle. L’un, nommé RecyTiAl, prévoit l’installation d’un four pilote destiné au recyclage des intermétalliques TiAl. Les technologies de fabrication des pièces TiAl nécessitent l’emploi de four PAM pour la fabrication des lingots primaires mais également pour recycler les grandes quantités de matières sacrifiées lors des étapes de production. Le second investissement porte sur la création d’un pilote de fabrication de poudre de titane^{ss} par atomisation sous argon dans le but de produire, in fine, la matière première qui sera utilisée dans les méthodes additives de fabrication.

⇒ USA

Aux USA, les opérations de restructuration du paysage industriel se sont succédé au sein de la filière de production de titane (rachat, fusion...) avec une claire orientation vers l’intégration verticale. Le mouvement s’accompagne d’une tendance à la relocalisation sur le sol américain favorisée par la baisse du coût énergétique dans ce pays et l’augmentation de l’index du coût de production en Chine.

La première intégration d’un producteur de titane indépendant a été celle de Timet qui a été racheté par le groupe Precision Castparts Corp (PCC) en janvier 2013. Après cette opération, PCC a consolidé en amont son outil de production. Ce rachat inclut tous les sites industriels, y compris les capacités de production au Royaume-Uni (Timet UK). Les capacités de production en France sont restées propriété de Cezus mais l’exploitation commerciale est assurée par Timet Savoie. A moyen terme, se pose la question de la pérennité de la capacité de R&D du producteur de titane et de l’éventuelle rationalisation au sein du groupe. Pour l’instant, PCC n’envisage pas de centraliser ses ressources de R&D et laisse une autonomie importante à ses filiales.

Autre évènement marquant, le producteur d’aluminium Alcoa a annoncé fin 2013 la création d’une JV avec VSMPO pour développer des synergies entre les deux groupes sur la

^{ss} Projet Titan

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	94/149

production des forgés et des matricés de grandes dimensions : train d’atterrissage, composants de voilure etc. Dans ce cadre, Alcoa exploite la forge de 50.000 t de son site de Cleveland. Un mois plus tard, Alcoa annonçait un nouvel accord avec Airbus dans lequel il fournit à l’avionneur des pièces forgées en titane pour le prochain A320neo ainsi que de grands forgés en aluminium pour les A330 et A380. En mars 2015, Alcoa a racheté le dernier producteur indépendant de titane RTI. Bien que RTI ne possède pas de capacités propres de production d’éponge, son rachat a donnée à Alcoa un panel riche de capacités de transformation en titane. Avec ces opérations, Alcoa a consolidé une nouvelle offre pour le secteur aéronautique en élargissant significativement la gamme de ses produits forgés en aluminium et en titane.

Avant de passer sous la bannière d’Alcoa, RTI avait mené une politique active de consolidation de ses capacités de transformation en rachetant plusieurs entreprises. En janvier 2012, RTI a consolidé sa position dans le domaine du médical en rachetant Remmele Engineering. Il a également fait l’acquisition en octobre 2013 d’Osborn Steel Extrusions (Royaume-Uni) et en janvier 2014 de racheter l’entreprise Direct Manufacturing (Austin, TX) dont le cœur de métier est la fabrication de pièce par méthode additive (Direct Laser Sintering, Plastic Laser Sintering).

Le groupe ATI a lui aussi réalisé plusieurs acquisitions. Il a absorbé en mai 2011 le fabricant américain de pièces aéronautique Ladish Co (produits forgés, pièces de fonderie, capacités d’usinage et de parachèvement) et en février 2014 Dynamic Flowform Corp. dans le domaine de la mise en forme par fluotournage.

En 2013, Perryman a annoncé le doublement de sa capacité de production de produits longs pour répondre à la demande dans le domaine des fixations aéronautiques et dans le médical.

⇒ **Russie**

En juillet 2009, l’usine « Ural Boeing Manufacturing » issue d’une JV entre Boeing et VSMPO – AVISMA a été inaugurée. Situé à Salda en Russie, ce site réalise l’usinage des grandes pièces forgées chez VSMPO qui sont ensuite expédiées aux USA pour les dernières étapes de parachèvement. Ce premier investissement réalisé en prévision du programme B787 a été complété par une deuxième tranche en 2013 pour doubler la capacité d’UBM à partir de 2016. L’accord prévoit également l’extension du contrat d’approvisionnement entre les deux industriels jusqu’en 2023.

Dans le cadre de la JV conclue avec Alcoa en octobre 2013, le russe prévoit de fabriquer des fixations aéronautiques. Il a également financé la rénovation de la presse de 75.000 t pour les très grandes pièces forgées.

⇒ **Ukraine**

En 2013, le producteur d’éponge ZTMK contrôlé par le groupe DF s’est équipé d’une capacité de fusion EB permettant de fabriquer des lingots ou des slabs. Il ambitionne

d'améliorer la qualité de son éponge dans le but de la qualifier pour les applications aéronautiques.

⇒ Chine

La Chine compte, selon les sources, entre 24 et 27 producteurs de lingot. La capacité de production est passée en 10 années de 40.600 t/an à 135.850 t/an. La quasi-intégralité des fours est en technologie VAR. Seuls deux industriels disposent d'une capacité supérieure ou égale à 10.000 t/an : Baoji et Baosteel. En 2010, Baosteel est le second producteur après Baoji à avoir mis en service un four EBCH pour la production de slabs destinés au marché aéronautique. Ces slabs devraient être transformés en produits plats pour le futur avion chinois C919. Une nouvelle presse à extruder de 6.000 tonnes a également été mise en service pour produire des tubes non-soudés.

Selon les statistiques chinoises [réf.7], une trentaine d'industriels transforme le titane en produits plats et longs. La Figure 51 donne la répartition de cette production entre 2007 et 2016.

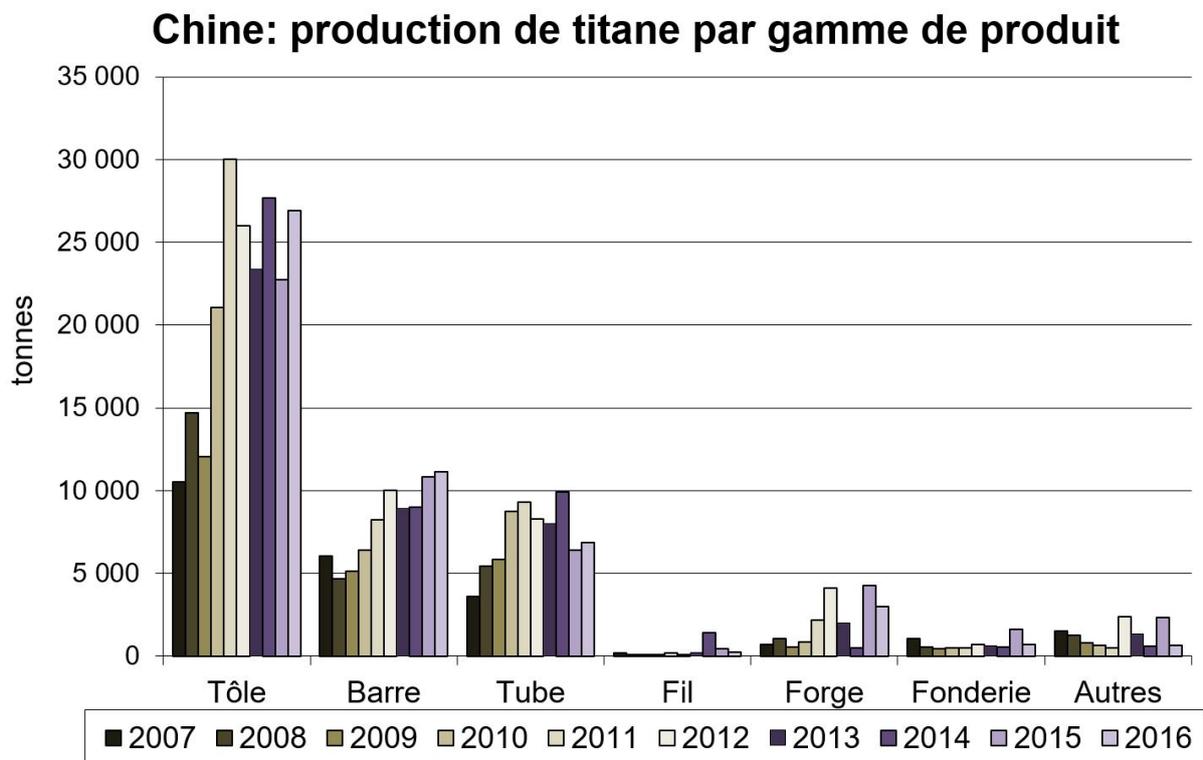


Figure 51: Production chinoise par type de produit 2007 – 2016

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	96/149

XI NOUVEAUX PROCÉDES D'EXTRACTION

Nous abordons dans ce chapitre les développements technologiques qui pourraient avoir un impact sur l'offre en titane. En premier lieu, nous faisons un point de situation sur les recherches de procédé d'extraction. Sur l'ensemble des recherches et études qui sont menées⁶⁰ pour remplacer le procédé Kroll, nous passerons en revue celles qui font l'objet de développements avec un potentiel d'industrialisation :

- le procédé FFC développé par la société Metalysis (R.-U) ;
- le procédé Armstrong développé par le groupe Cristal (Arabie-Saoudite) ;
- le procédé MER développé par la société MER Corporation (USA) ;
- le procédé JTS développé par l'association JTS (Japon) ;
- le procédé HDH développé par la société ADMA (USA) ;
- le procédé TiRO développé par le CSIRO (Australie) ;
- le procédé CSIR développé par le CSIR (Afrique du Sud) ;
- le procédé Bradford développé par l'Université (USA).

Malheureusement, aucun de ces procédés ne paraît être en mesure de réellement remplacer le procédé Kroll. Tout au plus, peuvent-ils proposer une filière de production alternative pour certaines pièces industrielles ciblées. Le développement de ces procédés suivra donc plutôt le modèle d'un marché de niche que celui d'une technologie de rupture.

Parmi les développements en cours, il faut également citer les nombreux travaux menés dans l'objectif de réduire le coût de production du procédé Kroll, en particulier en tentant de le faire évoluer d'une technologie par batch (donc discontinue) à un processus continu. Dans ce domaine, ce sont les scientifiques japonais qui mènent les travaux les plus prometteurs avec le procédé JTS. Ces travaux sont importants car ils permettraient aux producteurs japonais de réduire le coût de production de l'éponge Kroll de l'ordre de 30%. Les japonais publient très peu d'information sur le niveau de maturité de ce procédé.

Alors que les publications sur l'émergence de nouveaux procédés d'extraction du titane avaient disparu depuis 2010, une équipe de l'Université de Bradford a présenté en 2014 ses travaux sur une nouvelle approche. Depuis, aucune avancée significative n'a été publiée dans le domaine.

Enfin, compte tenu de la tendance des recherches à mettre au point des procédés « poudre », nous présentons, dans la dernière section, les travaux sur les techniques de mise en forme et de transformation associées.

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	97/149

XI.1 Procédé FFC

Le procédé FFC est un procédé d'extraction du titane métal par réduction électrolytique qui a été inventé en 1997 à l'Université de Cambridge (R.-U.) par D. Fray, G.Z. Chen et T. Farthing. Le matériau de départ, une poudre de TiO_2 , est compactée sous la forme de galettes que l'on empile sur un conducteur métallique qui joue le rôle de cathode dans un bain de chlorure de calcium $CaCl_2$ porté à $950^\circ C$. L'anode est constituée d'une tige de graphite qui plonge également dans le bain. Lorsque l'on applique un courant électrique entre les deux électrodes, l'oxygène présent dans l'oxyde de titane s'ionise et se dissout dans le bain de $CaCl_2$, laissant le métal réduit (libéré de l'oxygène) sur la cathode. On récupère ainsi une grappe de titane métal présentant un aspect visuel proche de celui de l'éponge de titane issue du procédé Kroll. Une analyse détaillée du procédé a été présentée dans un précédent rapport⁶¹.

Très prometteurs à l'échelle du laboratoire, ces travaux n'ont toujours pas abouti à une production industrielle de titane malgré les nombreux financements qui y ont été consacrés en Europe^{tt} et aux USA^{uu}. La société de statuts anglais Metalysis (South Yorkshire, R.-U.) a racheté les droits d'exploitation du brevet initial pour l'extraction de tous les métaux et alliages à l'exception de ceux contenant plus de 40% de titane. La société poursuit les travaux en privilégiant l'application du procédé à l'extraction du Tantale dont la chimie semble moins complexe que celle du titane. Pour le titane pur et les alliages contenant plus de 40% de titane, c'est la société de statut norvégien « Norsk Titanium AS » issue d'une « joint-venture » entre la société anglaise British Titanium (BTi) et le producteur d'aluminium Norsk Hydro qui poursuit la mise au point du procédé dans le Centre de Recherche de Heroya au sud d'Oslo.

En 2006, Metalysis a créé la « joint-venture » « Metalysis Titanium Inc. » avec le groupe BHP Billiton pour mener un développement conjoint sur le procédé « Polar », très proche du procédé FFC. Depuis, la société a annoncé en 2008 la mise au point d'une unité pilote semi-continue destinée à produire prioritairement de la poudre de Tantale et de TA6V. Depuis, une première unité pilote d'une capacité d'une tonne/mois aurait été mise en service fin 2010 puis, une seconde de 50 t/an opérationnelle fin 2012/début 2013.

En 2013, Metalysis a déclaré être en mesure de produire des poudres de titane en contrôlant la granulométrie pour la rendre compatible des divers procédés de fabrication par méthode additive à un coût de l'ordre de 100 \$/kg. Des pièces destinées à une application automobile ont été réalisées en impression 3D à l'Université de Sheffield à partir des poudres Metalysis (partenariat avec Renishaw).

Au niveau des moyens de production des poudres de titane, Metalysis annonçait fin 2012 la création imminente d'une unité pilote qui précéderait une usine industrielle de 10.000

^{tt} Financement de la « Defence Research Agency » puis de QinetiQ (R.-U)

^{uu} « DARPA Initiative in Titanium » piloté par Timet sur financement de la « Defence Advanced Research Projects Agency »

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	98/149

t/an pour 2013-2014. Ces moyens de production ne semblent pas avoir été mis en service. En 2016, Metalysis évoquait plutôt une capacité de 10 t/an.

En février 2014, le groupe minier australien Iluka Ressources a annoncé une prise de participation à hauteur de 18,3% dans le capital de Metalysis. Iluka bénéficiera d'une licence mondiale non-exclusive pour la production de poudre de titane par le procédé FFC et sera consulté prioritairement pour toute commercialisation sur les autres métaux : tantale, terres rares etc. Iluka assurera par ailleurs l'approvisionnement en TiO_2 à forte concentration pour alimenter les sites de production industriels de poudres FFC.

Au niveau applicatif, le projet TiPOW a été financé en 2015 pour soutenir le développement de poudre titane FFC à bas coût pour la fabrication additive. Ce projet de 3,1 M€ est piloté par GKN Aerospace et implique également le groupe Safran pour des applications train d'atterrissage.

XI.2 Procédé Armstrong

Dans le cadre du même programme de la DARPA cité ci-dessus, la société International Titanium Powder – ITP (USA) a été financée pour développer un procédé continu de production de poudre de titane pur et d'alliages à basse teneur en O_2 pour les applications navales. Le principe d'obtention de la poudre par réduction chimique consiste à faire circuler des vapeurs de $TiCl_4$ dans un réacteur contenant un bain de sodium. La poudre présente une morphologie irrégulière semblable à du corail plutôt adaptée à une consolidation directe de poudre. En contrôlant l'adjonction de composés chlorés de type $AlCl_3$ et VCl_4 on peut obtenir directement des poudres pré-alliées. Plus généralement, le procédé permet également de produire en continu nombre de métaux pouvant se présenter sous la forme d'halogénures volatiles. Le procédé a été présenté en détail dans un précédent rapport [réf.51].

La société ITP a été rachetée en 2008 par le groupe international d'origine saoudienne Cristal⁶² offrant ainsi au procédé Armstrong une source d'approvisionnement intégrée en $TiCl_4$. Rebaptisé Cristal Metals, l'industriel a annoncé fin 2010 la construction d'une usine pilote assistée d'un centre de R&D à Lockport (Illinois, USA) et d'une usine de production à Ottawa (Illinois, USA). La poudre de TA6V produite viserait la fourniture de plaques transformées par laminage direct pour les blindages de l'US Army. La capacité de l'usine était annoncée à 2.000 t/an de poudre. Le catalogue de Cristal Metals propose du titane pur et du TA6V sous la forme de poudres, de poudres mouillées et de briquettes pré-compactées. Toutefois, l'activité industrielle ne semble pas s'être développée à ce jour (fin 2017).

XI.3 Procédé MER

Le procédé électrolytique MER⁶³ développé par la société MER Corporation (Materials & Electrochemical Research Corp., USA) vise à corriger les inconvénients du procédé Kroll en provoquant la transformation in situ du TiO_2 en $TiCl_4$ puis en Ti. En évitant

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	99/149

que la réaction s'initie sur les parois du réacteur comme c'est le cas dans le procédé Kroll, cette approche permet d'une part d'être entretenue dans un processus continu et d'autre part d'éviter la contamination par le fer. Le produit de réaction est une poudre de titane pur ou une poudre alliée si des chlorures métalliques sont introduits dans le réacteur pendant le processus.

Bien que la faisabilité de différentes pièces en titane^{vv} élaborées à partir de poudres MER et consolidées par prototypage rapide ait été démontrée, les débouchés industriels ne semblent pas aboutir. Les dernières publications associées au financement de la technologie par l'EPA^{ww} aux USA datent de 2011 et, sur le plan scientifique, un travail de thèse⁶⁴ datant de 2017 fait état des dernières avancées sur le procédé de production.

La commercialisation du procédé MER est assurée par la société MER Holdings LLC qui développe de nouvelles technologies dans le domaine des matériaux et des procédés. Elle valorise, entre-autres, les brevets MER et travaille sur les procédés de mise en forme comme l'impression 3D. Les moyens de R&D sont basés à Tucson (Arizona, USA).

XI.4 Procédé JTS

Du nom de l'association japonaise du titane qui coordonne son développement, le procédé JTS est une évolution du procédé Kroll qui vise à produire du titane par un processus semi-continu. Ces travaux qui impliquent les deux producteurs japonais d'éponge Toho et Osaka Titanium Corp. et Kobe Steel sont financés par le Ministère de l'Industrie japonais.

Le procédé fonctionne en boucle fermée. Il utilise du $TiCl_4$ issu du procédé classique de chloration tel qu'on peut le trouver dans le procédé Kroll. Le $TiCl_4$ est injecté dans un réacteur et réduit en particules de titane dans un bain de calcium qui se recombine avec le chlore et est recyclé dans une cellule d'électrolyse fonctionnant en boucle fermée avec le réacteur. Les particules de titane sont entraînées en aval du réacteur et fondues par l'action d'un plasma ce qui permet d'isoler le titane du bain de $CaCl_2$.

Le principe n'est pas très éloigné du procédé Kroll si ce n'est que le magnésium est remplacé par le calcium dans la réaction de réduction. Le progrès le plus important réside dans le fait que le processus de réduction est continu et qu'il permet de supprimer l'étape de récupération du titane telle qu'elle apparaît dans la technologie par batch du procédé conventionnel. De ce fait, les Japonais estiment que le gain sur les coûts de production est de l'ordre de 30%.

La première ligne de production industrielle était prévue pour 2010 mais aucune annonce officielle n'a été faite pour confirmer cette échéance. Les industriels japonais n'ont

^{vv} Plaques de protection balistique en alliage de titane et réalisation d'assemblages TiB_2/Ti par PTA (Plasma Transfer Arc)

^{ww} United States Environmental Protection Agency

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	100/149

pas donné de précision sur les niveaux de qualité du titane issu de ce procédé mais il semble être plutôt destiné aux applications ne nécessitant pas des matières de qualité supérieure.

XI.5 Poudres d'hydrure de titane (procédé HDH)

Les poudres d'hydrure de titane (TiH_2) ont été mises au point initialement en Ukraine par des instituts de recherche et produites par ZTMK depuis 1990. Le procédé HDH vise à produire de la poudre de TiH_2 par un procédé Kroll modifié où le Mg liquide est partiellement remplacé par du H_2 gazeux pour la réduction du $TiCl_4$. La poudre ainsi obtenue est ensuite consolidée sous la forme de lingots puis transformées par les procédés conventionnels de métallurgie des poudres, filage, laminage, forgeage etc. Lors de la fabrication du lingot l'hydrogène est éliminé par chauffage et atteint des niveaux compatibles avec les exigences normatives.

Le procédé est maintenant est développé aux USA par la société ADMA⁶⁵ créée par les scientifiques ukrainiens à l'origine de l'invention. Selon le modèle technico-économique mis en avant par ADMA, la poudre HDH aurait un coût de revient comparable à l'éponge Kroll ce qui offre un avantage concurrentiel qui, au final, ne semble pas si important. La Figure 78 en annexe XL illustre les diverses voies possibles de mise en forme de produits issus de la poudre d'hydrure de titane.

ADMA a annoncé avoir bénéficié en 2012 d'un financement du Congrès américain^{xx} pour construire une unité pilote à Twinsburg (Ohio, USA) de capacité 110t/an. La matière produite est destinée à des applications critiques (défense, aéronautique etc.). ADMA devrait ensuite augmenter la capacité de production jusqu'à 2.000 t/an en 2014/2015 puis, à partir de 2016, il est envisagé la construction d'une nouvelle usine à Sheffield Village (Ohio, USA) de capacité 20.000 t/an. Fin 2017, l'état d'avancement de ces projets n'est pas connu.

Par ailleurs, l'Université de l'Utah aux USA a développé une approche alternative pour l'emploi direct des poudres de TiH_2 selon un procédé de métallurgie qui tire profit de l'excellent comportement à la compaction de ces poudres. Ainsi, il a été prouvé que l'on pouvait obtenir directement des taux de densification supérieurs à 99%, sans frittage sous pression ni post-traitement. Les avantages du procédé résident dans :

- la capacité à contrôler la microstructure et la taille de grain en jouant sur la température et la pression d' H_2 pendant le frittage ;
- le gain important sur le coût de fabrication des pièces ;
- la pureté des poudres et la sécurité de manipulation car les poudres de TiH_2 ne s'oxydent pas à l'air ;
- la bonne cinétique de densification par l'autodiffusion du titane pendant le frittage.

^{xx} Defense Appropriations Act Congressional Award

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	101/149

XI.6 Procédé TiRO

Le procédé TiRO est développé par l'organisation australienne CSIRO^{yy}. Basée sur le même principe que Kroll, le procédé TiRO permet de produire du titane métal par réduction continue de $TiCl_4$ par le Magnésium. La différence porte sur le fait que les particules sont réduites alors qu'elles sont portées par un lit gazeux dans un réacteur. De ce fait, le procédé permet par un processus continu d'obtenir des particules métalliques directement sous la forme de poudres de granulométrie contrôlée. Ces poudres sont utilisables dans les méthodes de fabrication additive mais aussi le frittage par pressage isostatique à chaud (HIP), l'injection métallique (MIM), l'injection métallique par poudre (PIM), le formage laser, le dépôt cinétique de poudre à froid (Gas Dynamic Cold Spray - GDCS) etc.

Une première démonstration a été réalisée en laboratoire avec un réacteur permettant de produire 200 g/heure de poudre de titane. En 2013, une unité pilote offrant une capacité de 2 kg/h a été réalisée en partenariat avec le chimiste Coogee Chemicals sur leur site de Laverton (région de Victoria). La poudre est destinée à être utilisée pour les projets de CSIRO mais aussi à être commercialisée. Le procédé serait prêt pour une industrialisation. Les marchés visés sont : le médical, l'automobile, les tubes pour les applications industrielles.

XI.7 Procédé CSIR

CSIR^{zz} est un organisme sud-africain de recherche et développement qui a pour mission de valoriser les ressources nationales, minières en particulier. Compte tenu de la présence de riches gisements de titane, le CSIR a développé son propre procédé continu de production du titane métal par réduction du $TiCl_4$ en bain de sel⁶⁶.

En septembre 2012, CSIR a annoncé la signature d'un accord avec Airbus et Aerosud pour développer la technologie de fabrication additive par fusion laser de poudre (Laser additive Manufacturing – LAM). Le projet prévoit de démarrer une unité pilote en 2013 qui utiliserait les poudres (titane pur et alliages) fabriquées par CSIR à partir du 2^{ème} trimestre 2013 au rythme de 2 kg/h. En 2017, les travaux de développement du procédé semblent toujours actifs sur le plan de la recherche et du développement.

XI.8 Procédé Bradford

En 2014, l'Université de Bradford a présenté ses travaux de laboratoire ayant pour objectif de réduire directement le TiO_2 (anastase) par réaction avec du calcium⁶⁷. Le procédé présente l'intérêt de consommer très peu d'énergie (3.500 kJ/kg) en comparaison du procédé Kroll (335.000 kJ/mol) ou même du procédé FFC (125.000 kJ/mol). La réaction chimique est rapide puisque le cycle se déroule en 5 heures seulement (Kroll: 2 semaines, FFC: ~15 heures). A l'issue du processus, l'Université de Bradford a obtenu une éponge de pureté > 98%

^{yy} Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation

^{zz} Council for Scientific and Industrial Research

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	102/149

mais la démonstration n'a été faite que sur de très faibles quantités (100 g). Les travaux futurs porteront sur une étude de faisabilité pour transformer une quantité de 1 à 5 kg, la mise au point d'un procédé d'électrolyse pour recycler le Ca et l'application du procédé à d'autres métaux (Zr, Ta, Hf).

XII INNOVATIONS DANS LES PROCÉDES DE MISE EN ŒUVRE

XII.1 Technologies de fabrication additive

Par opposition aux procédés traditionnels de fabrication où on « retire » de la matière pour arriver au produit dans sa forme finale, la fabrication additive désigne *les procédés de mise en forme d'une pièce par ajout de matière, par empilement de couches successives. C'est aussi le nom donné à la technologie d'Impression tridimensionnelle (impression 3D)*⁶⁸. Ces procédés sont, dans la majorité des cas, assistés par ordinateur.

Le premier avantage des méthodes additives est la réduction des déchets de production avec un impact espéré sur le coût de production et la réduction du « buy-to-fly » pour l'aéronautique. Comme les poudres utilisées sont issues des méthodes traditionnelles de production par atomisation (plasma, pulvérisation sous gaz, électrode rotative etc.), l'avantage économique des procédés additifs perd de son intérêt puisque les poudres elles-mêmes sont élaborées à partir de lingots de fusion. Malgré cela, les possibilités nouvelles en termes de géométrie ont mené à l'industrialisation de pièces de forme complexe où le gain économique est obtenu par la simplification de la gamme de fabrication.

La communauté scientifique et technique est mobilisée pour tenter de valoriser les poudres issues des nouveaux procédés d'extraction (FFC, Armstrong, ADMA etc.) avec les méthodes additives afin de cumuler les intérêts économiques des deux approches. Le principal écueil est que, pour l'instant, ces nouvelles poudres présentent des caractéristiques (morphologie des particules, tailles, répartition granulométrique, homogénéité etc.) non compatibles avec ces nouveaux procédés de consolidation.

Dans les techniques additives applicables au titane, on distingue :

- les techniques par fusion qui consolide des grains de poudre grâce à l'apport thermique d'un laser ou d'un faisceau d'électrons déplacé sur la surface d'un lit de poudre (Electron Beam Melting (EBM) et Laser Beam Melting (LBM)). De telle méthode permettent de fabriquer des pièces de A à Z avec des formes géométriques quelconques ;
- les techniques par déposition où l'apport de métal est fait soit par une buse projetant de la poudre placée sur l'axe de la tête laser (Laser Metal Deposition) soit par la fusion sous faisceau d'un fil d'apport. La technique permet de fabriquer des pièces complètes mais également de procéder à des réparations par rechargement de matière sur des pièces existantes.

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	103/149

XII.2 Développements industriels

Les USA sont leader dans le domaine. Ils regrouperaient 38% des capacités mondiales de fabrication additives suivis par le Japon (11%) et l'Europe (10%). Les machines de production par méthodes additives sont commercialisées par une trentaine de société dans le monde dont 16 localisées en Europe, 7 en Chine et 5 aux USA.

La société norvégienne Norks Titanium Components (NTIC) développe une technologie de consolidation par dépôt plasma pour la production de pièces en titane (technologie PTA - Plasma Transfer Arc). Le procédé aussi appelé « Rapid Plasma Deposition - RPD », permet grâce à une torche plasma robotisée de réaliser des pièces proches des cotes finies par consolidation progressive, couche par couche. La matière de consolidation est apportée sous la forme d'un fil d'apport. Cette technologie permet d'envisager la fabrication de pièces de structure aéronautique pouvant aller jusqu'à 200 à 300 kg. Actuellement, le procédé utilise comme matière première de l'éponge approvisionnée au Japon et du fil titane acheté aux USA. Toutefois, la société Norks Titanium poursuit ses recherches pour réduire le coût des matières premières. Des travaux sont en cours sur différents procédés électrolytique, dont le procédé FFC et sur de nouvelles technologies de production directe de fil titane.

La société norvégienne a annoncé en 2016 la création d'une usine à Plattsburgh dans l'Etat de New-York. La filiale américaine de Norsk Titanium a reçu commande de l'Etat de New-York de 20 machines Merke IV RPD dans le cadre du programme de coopération technologique et industriel avec Alcoa. Ce site industriel est opérationnel depuis 2017. La cadence annoncée est de 6 kg/h, pour réaliser des pièces pouvant atteindre jusqu'à 1 mètre d'envergure. Le projet prévoit à terme un doublement de la capacité avec un doublement du parc machine.

Aux USA, le groupe GE a également investi dans les techniques additives en rachetant deux acteurs européens du secteur, le suédois Arcam AB et l'allemand SLM Solutions Group. Ces deux entreprises étaient précurseurs du développement des techniques additives de production par voie de lits de poudre.

Ainsi, vu l'intérêt grandissant pour ces nouvelles technologies, la filière émergente de production par méthodes additives est captée par les grands groupes. On peut regretter que l'effet d'enrichissement de l'offre par des solutions alternatives de production ne bénéficie pas au plus grand nombre. Globalement, la croissance des volumes de production par ces procédés est forte mais les volumes concernés sont encore modestes.

La majorité des techniques additives utilise des poudres de titane dont la demande est en forte progression. Lockheed Martin prétend utiliser plus de 900 pièces fabriquées par de telles méthodes dans des applications non structurales sur l'avion de combat F35 Lightning II. D'autres développements ont été réalisés comme par exemple la fabrication des pièces d'attache pour l'A350XWB d'Airbus par LZN (Laser Zentrum Nord).

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	104/149

L'émergence des méthodes additives étant assez récente, la Chine a pu investir très tôt dans la recherche. Les premiers développements datent de 1995 et ont été axés sur les méthodes de dépôt laser (LMD) à l'Université d'Aéronautique de Pékin et à l'Université Polytechnique du Nord-Ouest. Selon les publications chinoises, des pièces seraient en service sur les avions de combat J-15, J-16 et J-20 ainsi que sur l'avion de transport Y-20. Des pièces seraient également à l'étude pour le programme civil C919. Au niveau R&D, les chinois communiquent sur leur capacité à fabriquer des pièces de très grandes dimensions comme une poutre titane de plus de 3 mètres et un cadre titane pour structure d'avion de combat.

Pour exploiter les poudres aux morphologies irrégulières issues des nouveaux procédés d'extraction, de nombreux travaux sont menés pour mettre au point des méthodes de consolidation adaptées à ces poudres : laminage direct, extrusion directe, consolidation de poudre, injection rapide de poudre, compactage dynamique etc. In fine, ces nouvelles méthodes aboutiraient à de nouvelles filières de production en parallèle des filières traditionnelles « éponge – lingot – ½ produits – produits ».

Les procédés qui visent à écrouir la matière après la phase de consolidation sont particulièrement intéressants car ils permettent d'améliorer les caractéristiques métallurgiques et thermomécaniques des pièces fabriquées. Ainsi, le groupe Alcoa a développé une voie alternative de fabrication de pièces titane de grande dimension par un procédé combinant la méthode RPD et la forge (procédé Ampliforge). L'Université de Cranfield au Royaume-Uni propose un post-traitement d'écrouissage par laminage directement sur le cordon déposé par RPD.

XII.3 Développements dans les technologies de soudage

Les développements de technologies de soudage automatisées⁶⁹ pour la réalisation de grandes structures mécanosoudées se poursuivent aux USA (EWI) et au Royaume-Uni (TWI): soudure hybride laser + arc pulsé (GMAW-P), soudure linéaire par friction (Friction Stir Welding – FSW). Ces développements permettent d'envisager des réalisations dans de nombreux domaines : pièces de structures aéronautiques, superstructures navales, structures militaires terrestres aérotransportable (canons, caisses de véhicules). La technologie très prometteuse du FSW nécessite encore des améliorations sur la durée de vie des outils pour l'application au titane.

Dans le domaine de l'assemblage multi-matériaux, EWI a mis en évidence le potentiel des techniques de soudage en phase solide assistées par ultrason (Ultrasonic Additive Manufacturing – UAM). L'effet de malaxage de la matière à l'état solide comparable au FSW est obtenu, dans cette technique, par la vibration de l'outil sous lequel défilent les couches de matériaux métalliques à assembler. Des pièces de démonstration présentant des panneaux sandwich pour applications à fort gradient thermique ont illustré un exemple d'assemblage de feuillards combinant des alliages réfractaires (Mo, Ta, Nb...) avec des alliages « froids » (Titane, inox...).

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	105/149

XIII RECYCLAGE & VALORISATION DES DECHETS

Le recyclage du titane se fait principalement par la valorisation des déchets (scrap) au sein de la filière de transformation (scrap de « **cycle court** » ou « **scrap neuf** »). Ce recyclage nécessite une bonne traçabilité des lots de matière et des techniques adaptées pour le contrôle et le nettoyage de ces déchets. Les blocs massifs de matière (« *solids* ») qui sont générés lors des phases de mise en forme sont en général bien valorisés: il s’agit des chutes de mise au mille (« *offcuts* »), des bouts de barres ou des ogives de tôles. La traçabilité des lots de matière et une bonne gestion des déchets permettent également de valoriser les copeaux d’usinage (« *turnings* ») après tri, nettoyage, analyse et conditionnement.

Tous ces déchets de cycle court, lorsqu’ils présentent suffisamment de garanties de qualité, peuvent être refondus en lingots par les procédés de fusion à foyer froid développés spécifiquement pour ce type de recyclage (EB, PAM, ISM, voir Annexe XV) ou assemblés par soudage MIG^{aaa} pour former des électrodes « totem » refondues ensuite par le procédé VAR^{bbb}.

Lorsque les exigences de qualité ne sont pas atteintes, le déchet de titane est déclassé et valorisé dans d’autres industries comme élément d’addition et d’alliage (sidérurgie, superalliages, aluminium, voir chapitre I). Il s’agit en général d’éponge de basse qualité (présence d’impureté, croûte oxydées) ou de copeaux d’usinage mélangés ou souillés (« *unprocessed scrap* »).

Enfin, le recyclage issu du démantèlement de produits industriels (scrap de « **cycle long** » ou « **scrap usagé** ») ne permet pas, en général, de revaloriser le titane comme matière première dans sa propre filière. Au mieux, cette matière est utilisée pour la fabrication de ferrotitane destiné à l’industrie sidérurgique (« *ferro quality* » ou « *ferroscrap* »).

XIII.1 Capacités de recyclage

⇒ USA

Les Etats-Unis sont pionniers dans le domaine du recyclage du titane. En 2017, la capacité mondiale de fusion par recyclage représentait environ 110.000 t/an, soit 30% de la capacité mondiale totale (voir section X.1). Les USA concentrent 70% de ces moyens sous la forme de fours EB et PAM. Les statistiques sur consommation de scrap de titane sont publiées trimestriellement par l’USGS. Nous donnons dans le tableau ci-dessous la synthèse annuelle de ces données. Le scrap utilisé dans la sidérurgie est destiné en premier à la production d’acier (environ 90%). Quelques centaines de tonnes sont utilisées dans les superalliages et le reste dans d’autres industries de production d’alliages.

^{aaa} « *Metal Inert Gas* » : technique de soudage

^{bbb} « *Vacuum Arc Reduction* » : technique de fusion sous vide par électrode consommable

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	106/149

<i>En tonne</i>	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Scrap recyclé dans la filière titane USA	23.800	23.200	25.700	29.200	30.900	38.700	36.900	37.000	38.100	38.200
Consommation de scrap dans la sidérurgie USA	13.200	12.000	9.300	11.700	12.500	12.900	13.100	13.100	11.900	11.560

Tableau 10: Consommation de scrap de titane aux USA [réf.4]

⇒ **Russie**

En Russie, le déchet de titane était historiquement utilisé dans la filière sidérurgique ou, dans de faible proportion, pour fabriquer des produits d'usage courant. A cette époque, la filière soviétique étant donc quasi-exclusivement alimentée par de l'éponge de titane fondue par la technologie VAR. Avec le développement des activités aéronautiques à l'export, VSMPO a dû faire évoluer ses moyens de production en intégrant des capacités de recyclage pour suivre les gammes de production des clients nord-américains.

⇒ **Asie**

Au Japon, la production de titane est très majoritairement axée sur le titane pur ou faiblement allié avec des moyens de fusion VAR. Comme pour la Russie, le recyclage des déchets de titane est une orientation très récente motivée, d'une part, par la volonté de développer l'activité dans le domaine des alliages de titane pour l'aéronautique et, d'autre part, par un objectif d'optimisation de l'emploi des ressources. Ainsi, le Japon a commencé à s'équiper en moyens de fusion EB à partir de 2008 et des recherches industrielles ont été menées sous l'égide de l'association japonaise du titane (JTS) pour valoriser le scrap de titane. Le taux de recyclage dans la filière titane métal est encore très faible comparé à la production annuelle. Le reste est utilisé en sidérurgie ou exporté vers les USA et le Royaume-Uni. En 2013, Toho a mis en service de nouvelles capacités de fusion EB qui hissent à 42% la capacité de fusion de recyclage par rapport à la capacité totale japonaise.

En Chine, les moyens de recyclage de scrap sont, comme au Japon, embryonnaires. En 2014, la capacité de fusion EB est estimée à environ 20.000 t/an soit 18% de la capacité de fusion chinoise. Dans les faits, le taux de recyclage dans la filière titane métal est extrêmement faible et ne concerne pas les produits techniques.

⇒ **Europe occidentale**

L'industrie européenne génère de gros volumes de scrap de titane par son activité de transformation. Selon les estimations du producteur allemand Thyssen Titanium, elle se situerait en seconde place derrière les USA et au même niveau que le Japon. En raison de sa capacité très limitée en fours de fusion, l'Europe recycle peu de déchet dans sa propre

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	107/149

industrie du titane: le scrap est soit exporté vers les USA (déchets de qualité), soit transformé en ferrotitane au Royaume-Uni (ferrosrap). Concernant les moyens de fusion à foyer froid, Thyssen a investi dans un four EB en 2008. Malheureusement, en mars 2016 la branche titane de Thyssen a complètement cessé son activité. La relève a été prise en France avec le démarrage du site de recyclage d'EcoTitanium inauguré en septembre 2017. Cette usine crée au sein de la joint-venture UKAD entre Aubert & Duval le producteur d'éponge UKTMP, accueille un four de recyclage PAM.

XIII.2 Production de scrap de titane

Nous présentons dans le Tableau 11 une estimation de la production mondiale de déchets de titane. Les données d'entrée pour le calcul sont tirées des productions annuelles de demi-produits titane. Le cumul est fait pour les deux qualités de scrap : recyclable dans la filière titane et non recyclable. En théorie, la seconde catégorie est potentiellement utilisable dans la sidérurgie.

<i>x</i>	<i>1.000</i>	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<i>tonnes</i>											
Scrap recyclable		60 à 75	62 à 77	48 à 60	61 à 76	72 à 90	70 à 87	65 à 82	69 à 87	70 à 87	70 à 88
Scrap non recyclable		43 à 59	45 à 61	35 à 47	45 à 60	55 à 72	53 à 70	49 à 65	53 à 70	53 à 70	53 à 71

Tableau 11: Estimation de la production mondiale de scrap de titane

XIII.3 Volumes de scrap de titane recyclés dans la filière titane

Sur ces quantités théoriques calculées précédemment, seulement une fraction est effectivement valorisée par économie circulaire. Le scrap le mieux valorisé est le déchet de cycle court (fusion, demi-produits) qui, souvent, est recyclé en interne chez les producteurs de titane disposant des moyens de fusion adaptés. Comme indiqué dans la section II.1, les USA se placent largement en tête puisqu'ils recyclent 80% du volume total de scrap réutilisé pour fabriquer des lingots de titane dans le Monde.

Par ailleurs, les constructeurs aéronautiques ont compris l'intérêt économique des déchets générés dans les étapes de production des pièces qu'ils achètent. Des clauses spécifiques dans les contrats d'approvisionnement et des dispositions prises en interne et avec le réseau de sous-traitants leur ont permis de mettre en place des flux de collecte des déchets à des fins de recyclage. Grâce à cela et aux investissements dans de nouveaux moyens de fusion, les volumes de scrap recyclés dans la filière titane augmentent d'année en année.

Nous présentons dans le Tableau 12 une estimation des volumes de titane recyclés dans la filière titane et, dans la Figure 52, la comparaison avec les quantités de scrap recyclable.

<i>x 1.000 tonnes</i>	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Scrap recyclé	25 à 27	28 à 30	27 à 30	32 à 36	40 à 43	46 à 50	45 à 48	45 à 48	45 à 48	44 à 47

Tableau 12: Estimation des volumes de scrap de titane recyclés dans la filière

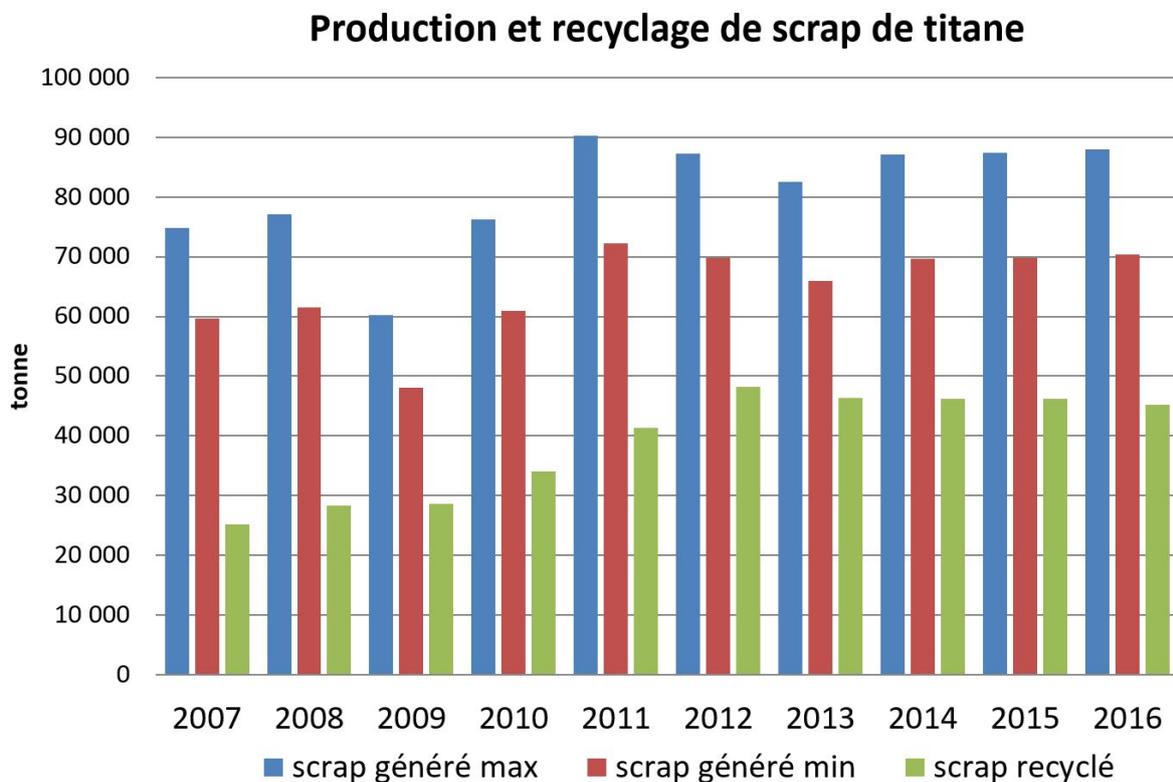


Figure 52: Production et recyclage de scrap de titane dans la filière

XIII.4 Consommation de scrap de titane par les autres filières métallurgiques

Le scrap de titane non recyclable au sein de la filière titane peut être valorisé comme élément d'addition dans d'autres filières métallurgiques (acier bas carbone, inox, superalliages etc.). Ces filières utilisent en priorité le scrap de titane non recyclable pour des raisons de coût mais, en fonction de la disponibilité des matières, elles peuvent aussi consommer du scrap recyclable. Le scrap est utilisé tel quel ou comme charge pour produire

du ferrotitane à haute teneur en titane. La qualité enrichie la plus courante est le FeTi70%^{ccc} alors que la qualité à faible teneur, produite sans adjonction de scrap de titane, est le FeTi30%.

Comme indiqué précédemment, les quantités de titane recyclées à partir du démantèlement des produits en fin de vie sont négligeables par rapport à celles issues de la filière de production (environ 1.000 t/an). Finalement, la Figure 53 ci-dessous fait la synthèse entre le besoin en matières pour les emplois hors filière titane et les ressources en scrap généré par la filière titane (scrap « non recyclable » du Tableau 11).

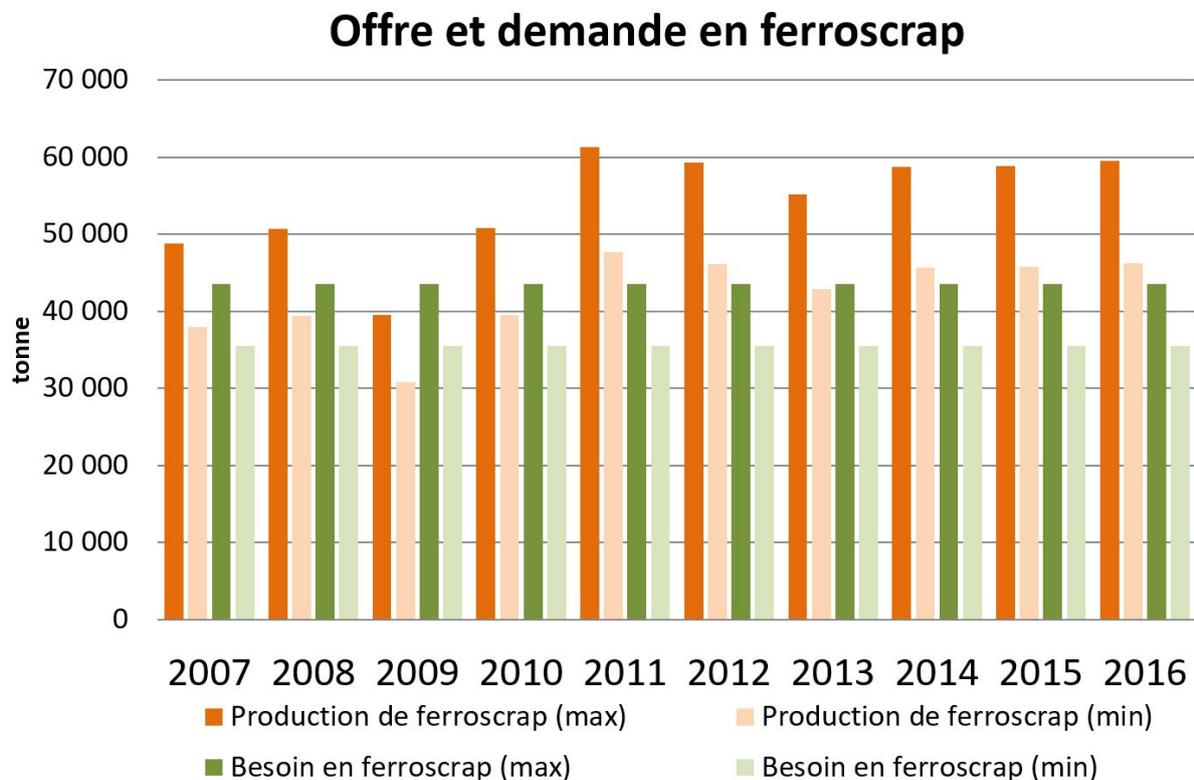


Figure 53: Offre et demande en ferroscrap de titane

^{ccc} 70% de titane contenu

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	110/149

CONCLUSION

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	111/149

XIV CONCLUSION

En 2017 le prix de l'éponge de qualité métallurgique sur le marché libre européen a retrouvé son niveau d'avant la crise de 2008 à 7/8 \$/kg. Pendant la période, il a chuté à 2,6 \$/kg à l'été 2009 avant de culminer deux an plus tard à plus de 10 \$/kg puis de décroître à nouveau de 2011 à 2016 jusqu'à 4 \$/kg. La dernière brusque remontée du prix s'est faite début 2017. Le prix du scrap (déchet) de titane a suivi globalement les mêmes tendances que celui de l'éponge avec un écart de l'ordre de – 2 \$/kg et avec une volatilité moins forte.

Du côté de la demande mondiale, le marché du titane est un marché organisé autour de deux grands domaines d'application, l'aéronautique et le secteur industriel, et deux segments plus modeste en volume, le militaire et les biens de consommation. Entre 2003 et 2013, la consommation de titane a doublé en volume en passant de 53.000 t/an à 106.000 t/an. Le taux de croissance moyen sur la période de 7%/an s'est maintenu jusqu'en 2016 où la demande a atteint 120.000 t/an. Ces valeurs moyennées cachent la réalité d'un marché cyclique et instable qui a connu une période de forte croissance jusqu'à la crise de 2008 où la consommation a dépassé les 100.000 t. Après la chute brutale de 2009 à 75.000 t, le marché s'est à nouveau emballé jusqu'en 2011 pour atteindre un record à 126.500 t. Deux ans plus tard, le marché repassait par un point bas à 106.000 t. Pour la suite, notre scénario de référence prévoit une croissance de la demande avec un taux plus faible de 5,2%/an jusqu'en 2019 puis de 1,1%/an jusqu'en 2025.

Dans le **secteur aéronautique** le titane est utilisé sous la forme d'alliages de haute technicité dont on valorise les bonnes performances mécaniques spécifiques (rapportée à sa densité), tant dans les structures que dans les moteurs. Le fait technique le plus marquant ces dernières années est le développement de l'emploi des matériaux composite pour alléger les avions. La demande en titane a augmenté conséquemment car les deux matériaux présentent une bonne compatibilité sur le plan des performances mécaniques, de la dilatation thermique et de la tenue au vieillissement. La priorité est maintenant donnée à la réduction du ratio « buy-to-fly » (titane acheté/titane volant) et à une meilleure valorisation économique des déchets. Les approvisionnements en titane sont cadrés par des contrats à moyen et long termes pour sécuriser les besoins en volume associés aux cadences de production des avions.

Entre 2003 et 2016, la consommation de titane dans l'aéronautique a augmenté en moyenne de 10,7%/an. L'année 2009 a été la seule année de baisse provoquée par la réduction des cadences de certains programmes et l'arrêt de la politique de sur-stockage de Boeing pour le B787. Ces dernières années, le secteur aéronautique a montré une capacité de résilience face aux crises qui s'explique, de notre point de vue, par la solidité des excellentes perspectives à 20 ans du trafic aérien. A l'horizon 2036, on estime que la demande en avion neuf est de 35.000 à 41.000 avions dont environ 12.400 sont déjà dans les carnets de

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	112/149

commande (backlog) soit 30 à 35%. Selon les projections actuelles d'augmentation des cadences de production de notre scénario de référence, le rythme des livraisons d'Airbus et de Boeing continuera à croître jusqu'en 2020 pour atteindre environ 1.900 avions/an. Au-delà, les cadences ne devraient plus augmenter significativement car elles correspondent au besoin du marché à 20 ans. Compte tenu de l'état actuel du backlog, les commandes moyennes annuelles devraient se situer entre 1.150 et 1.450 commandes/an. Toute dérive par rapport à cette tendance pourrait impliquer une correction des cadences de production afin de maintenir la cohérence avec les perspectives du marché à long terme.

Les autres segments de consommation dans le domaine aéronautique n'ont pas d'impact significatif sur l'évolution de la demande : avions régionaux, jets privés etc. Du côté des nouveaux entrants sur le segment de marché occupé par le duopole Airbus/Boeing, la concurrence se met en place avec le C919 du chinois COMAC. Cet avion a fait son premier vol en mai 2017. Le besoins en titane de ce programme représente moins de 1% du secteur aéronautique.

La plus grande incertitude concerne les évolutions technologiques à venir sur les architectures des avions et de leurs systèmes de propulsion. Concernant les structures, la transposition des solutions composites pour le fuselage des A320 et B737 de nouvelle génération pourrait induire un surplus de consommation de titane important. Dans le domaine de la propulsion, la révolution de l'hybride et du tout électrique qui est en cours dans le secteur automobile n'a pas d'équivalent en aéronautique. La question de la substitution de l'énergie fossile par une source d'énergie plus durable n'est pas encore d'actualité.

Selon notre scénario de référence, la demande en titane dans le secteur aéronautique augmentera jusqu'en 2019 à un rythme de 7,8%/an puis n'augmentera plus que de 0,7%/an jusqu'en 2025.

L'autre grand pilier de la demande en titane est le **secteur des applications industrielles** où l'excellente tenue à la corrosion du titane en fait un bon candidat pour de nombreuses applications de l'industrie chimique, des technologies d'extraction et de transformation de ressources naturelles (pétrole, gaz, dessalement...) et de production d'énergie (nucléaire, charbon, cycles combinés...). Comme pour l'aéronautique, la demande est surtout tirée par les besoins croissants en ressources liés au développement des pays asiatiques et du Moyen-Orient. Le titane est employé principalement sous sa forme pure ou faiblement allié avec un niveau de technicité moins élevé que pour l'aéronautique. Les approvisionnements sont négociés en contrat spot et au gré des besoins des projets industriels concernés.

Ce segment de marché est une source potentielle de déstabilisation de l'équilibre offre-demande car les volumes concernés par un seul projet peuvent représenter plusieurs centaines à plusieurs milliers de tonnes de titane à livrer dans un délai court. C'est le cas des super-projets d'usines de dessalement qui se sont succédé au Moyen-Orient entre 2011 et 2016. Ces projets ont eu pour effet bénéfique de booster la consommation de titane alors que les autres secteurs industriels subissaient les effets de la crise de l'investissement, des

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	113/149

fluctuations du prix du pétrole ou des catastrophes comme Fukushima. Finalement, l'évolution de la demande dans ce secteur n'est pas directement corrélable à un indicateur macroéconomique et est donc, à ce titre, difficilement prévisible. Globalement, la consommation a triplé entre 2003 et 2011 avec un point bas en 2009. Depuis l'année record de 2011, la demande oscille entre 40.000 t et 50.000 t. A lui seul, le secteur de la chimie concentre environ 30% du titane utilisé dans le secteur industriel. La stagnation de la consommation est principalement associée au ralentissement de la croissance chinoise depuis 2011. Notre scénario de référence prévoit une consommation de titane stable dans le secteur industriel comprise entre 40 .000 et 47.000 t entre 2017 et 2025.

A plus long terme, l'énergie thermique des mers (ETM) est un nouveau domaine d'emploi du titane à très fort potentiel de consommation. Le degré de maturité de cette technologie est encore trop faible pour pouvoir faire une prévision fiable de son industrialisation mais de grands groupes industriels y travaillent, comme Naval Group en France. Le potentiel mondial de la production d'énergie par la technologie ETM a été estimé à plusieurs centaines de GW. A raison de 12.400 à 18.000 tonnes de titane pour une seule centrale de capacité 1 GW, la consommation potentielle de titane se chiffre en millions de tonnes.

Dans le domaine des **applications militaires**, le titane est un matériau incontournable. Il est utilisé principalement sous la forme d'alliage à hautes performances soumis à des conditions d'emploi extrêmes. Les volumes de consommation représentent une faible portion de la demande mondiale (5 à 15%), mais c'est un secteur stratégique pour les pays qui entendent développer leur propre capacité de défense. Après le démantèlement des capacités soviétiques, les USA ont été les plus gros consommateurs de titane dans le domaine de l'armement. Ils sont maintenant rattrapés par les superpuissances émergentes comme la Chine ou l'Inde qui développent leur propre industrie militaire. Le Russie profite également de cette dynamique par le biais de la coopération militaro-industrielle avec ces pays.

En baisse entre 2009 et 2013, la consommation de titane est repartie à la hausse à partir de 2014 avec l'augmentation des dépenses d'armement dans de nombreuses régions du Monde. Selon notre scénario de référence, la demande en titane est prévue en croissance de +6,5%/an jusqu'en 2021 puis stable jusqu'en 2025. Le nouveau programme d'avion multi-rôle F-35 *Joint Strike Fighter* mené par les USA en coopération avec 8 autres pays devrait concentrer la plus forte demande en titane militaire. Pénalisé par de nombreux retards et une forte dérive budgétaire, le F-35 devrait finalement atteindre sa cadence nominale en 2021 avec une consommation de titane de l'ordre de 3.500 t/an.

Enfin, dans le secteur **biens de consommation**, le titane est utilisé pour ses propriétés physiques et sa réputation de matériau « high-tech ». Il entre dans la composition de produits techniques dans les domaines du sport, du médical, de l'automobile et dans des produits haut de gamme voire de luxe. Son potentiel d'emploi est considérable mais le principal frein est son prix.

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	114/149

Un des marchés les plus porteurs est celui des implants médicaux qui croît avec le vieillissement général de la population et le développement des classes moyennes et aisées. Le titane est un matériau de prédilection en raison de sa propriété de biocompatibilité. Les perspectives d'évolution de la demande sur la période 2017 – 2025 sont estimées à 4,7%/an dans notre scénario de référence.

Un fait marquant dans le secteur des biens de consommation est l'émergence de l'utilisation du titane dans une solution de pile à combustible développée par les besoins de la Toyota Mirai. Entrée en production en 2015, ce véhicule devrait être fabriqué à 200.000 exemplaires en 2020.

Globalement les prévisions d'évolution de la demande pour le secteur des biens de consommation est de 5%/an sur la période 2017 – 2025.

Du côté de l'offre mondiale, les capacités mondiales de production d'éponge de titane se sont développées sur la période de 2003 à 2012 pour culminer à 322.000 t/an. A partir de 2013, la baisse de l'activité dans le secteur industriel a obligé la Chine à fermer 40% de ses sites de production. En 2017, la capacité mondiale de 264.000 t/an est répartie principalement en Chine, en Europe de l'Est, au Japon et aux USA.

Un paramètre discriminant de l'offre en éponge est la qualification pour un usage aéronautique. Seuls les producteurs historiques russes, kazakhs, japonais et américains maîtrisent ce niveau de qualité. La Chine n'a pas encore réussi à qualifier une seule de ses usines mais c'est un objectif prioritaire pour servir ses ambitions de développement dans des secteurs stratégiques comme l'aérospatial, le nucléaire et la défense. Compte-tenu qu'un processus de qualification aéronautique met environ 4 ans et qu'aucune annonce d'une telle démarche n'ait été faite à ce jour, on peut estimer que la Chine ne sera pas productrice d'éponge aéronautique avant 2021 au plus tôt.

En 2017, les capacités mondiales de production d'éponge de qualité aéronautique représentent environ 60% du total mondial. Les USA n'ont pas fait évoluer leur capacité de production d'éponge à la hausse malgré la situation de dépendance vis-à-vis des importations de matière en provenance du Japon.

Fait marquant dans la filière de production, il est prévu que l'Arabie-Saoudite inaugure en 2018 une usine d'éponge. Fruit de la collaboration entre le producteur japonais d'éponge Toho et le groupe saoudien Cristal producteur de TiO₂ et TiCl₄, le site bénéficiera d'un niveau de technicité et de maîtrise de la qualité compatible du standard aéronautique. Ce marché n'est clairement pas ciblé puisque l'objectif est de servir les marchés industriels du dessalement, de l'énergie et de la chimie. Pour autant, la capacité sera en place et pourra être mobilisée en cas de besoin. A l'horizon 2025, il n'y a pas d'autres projets de création ou de développement de nouvelle capacité dans le Monde.

Concernant les moyens de fusion, ils ont augmenté de 86% entre 2003 et 2017 pour atteindre 428.000 t/an. Contrairement à l'éponge, les capacités de fusion n'ont pas été

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	115/149

corrigées à la baisse malgré le ralentissement d'activité dans le secteur industriel après 2011. En 2017, elles sont principalement localisées aux USA, en Chine, en Europe de l'Est et au Japon.

En Europe occidentale, la société franco-kazakhe UKAD a inauguré en septembre 2017 sa nouvelle usine de retraitement EcoTitanium localisée en France et disposant d'une unité de fusion plasma compatible avec les exigences de qualité aéronautique. Après la fermeture de la branche titane du groupe allemand Thyssen en 2009, il faut constater que la France est le seul pays européen à s'être doté d'une filière industrielle cohérente, sécurisée en amont et disposant de sa propre capacité de recyclage. En marge de l'activité principale centrée sur les alliages aéronautiques classiques, l'entreprise s'intéresse également au recyclage des alliages intermétalliques TiAl pour accompagner le développement de la production de pièces pour les moteurs aéronautiques de dernière génération.

Aux USA, les opérations de restructuration du paysage industriel se sont succédé au sein de la filière de production de titane (rachat, fusion...) avec une claire orientation vers l'intégration verticale. En amont de la filière, le dernier producteur d'éponge indépendant RTI a été absorbé en 2015 par Alcoa. En aval, des acteurs européens émergents dans le domaine des techniques de production additive ont également été intégrés par de grands groupes industriels américains. Ces stratégies de rachat ont pour conséquence de réduire les opportunités d'approvisionnement pour les industriels européens tant au niveau des matières premières que pour l'accès aux nouvelles technologies de mise en œuvre et aux savoir-faire associés. Les technologies additives dans le domaine du titane sont l'une des voies privilégiées pour atteindre les objectifs de réduction du ratio « titane acheté/titane utilisé » (*buy-to-fly*).

Enfin, la thématique de recherche autour du remplacement du procédé Kroll, procédé en place pour produire l'éponge, continue à générer des espoirs de gain sur le coût d'extraction du titane. L'émergence d'une solution industrielle semble toutefois être repoussée d'année en année malgré les résultats encourageants obtenus au stade des unités pilotes (FFC, Armstrong, MER, HDH, CSIR, TiRO...). Notre scénario de référence ne prévoit pas d'émergence de nouvelle technologie de production d'éponge ou de poudre de titane plus compétitive que Kroll à l'horizon 2025.

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	116/149

ANNEXES

XV ANNEXE : TECHNIQUES DE FUSION A FOYER FROID

Soutenus par les programmes de la Défense, les producteurs américains de titane ont mis au point des procédés de fusion permettant de recycler massivement les déchets de titane afin de réduire le coût de la matière première dans la fabrication des lingots de titane.

Ces développements ont abouti aux technologies de fusion à foyer froid. Deux techniques sont utilisées aujourd'hui : la fusion par faisceau d'électrons (Electron Beam – EB) et la technique par torche plasma (Plasma Arc Melting –PAM). Une représentation des procédés EB et PAM est donnée dans les figures suivantes.

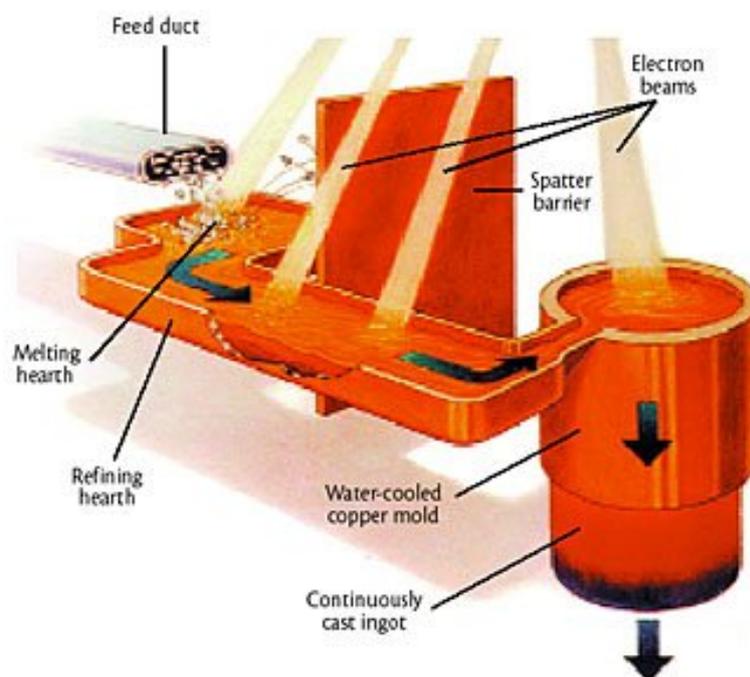


Figure 54: Principe de fusion à foyer froid par faisceau d'électrons EB (source :Timet)

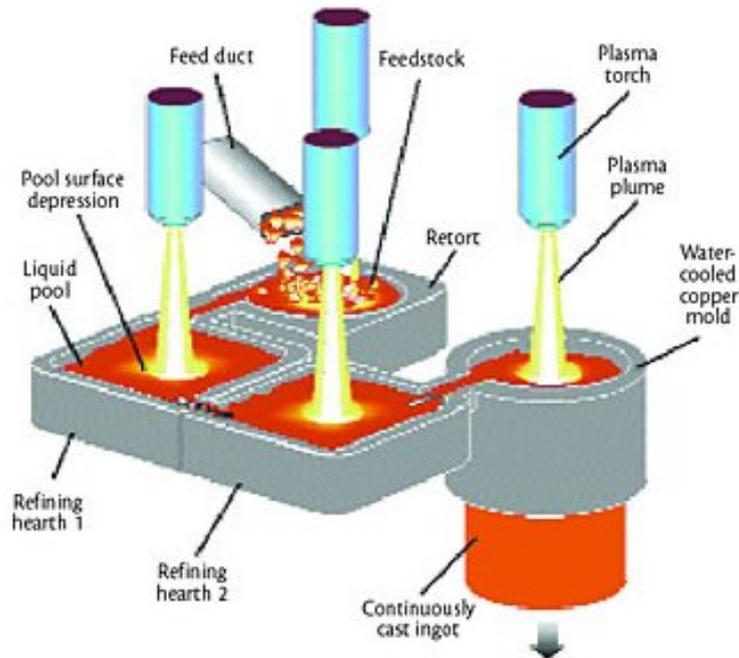


Figure 55: Principe de fusion à foyer froid par torche plasma PAM (source Timet)

Ces principes de fusion permettent l'utilisation de grande quantité de scrap en raison du mode d'introduction de la matière première qui se fait par le biais d'un large canal où la matière est déversée. La circulation du bain de métal se faisant de bac en bac, l'écoulement de la matière et le brassage du liquide permet d'éviter les problèmes de ségrégation et de présence d'inclusion de métaux lourds (High Density Inclusion – HDI). Ces problèmes sont bien connus dans la technologie classique de la fusion VAR. On peut ainsi envisager une seule fusion alors que par le procédé VAR, il faut deux voire trois fusions successives. Dans la pratique, trois fusions VAR sont remplacées par une fusion EB ou PAM suivie d'une fusion VAR. Les techniques EB et PAM permettent également de limiter l'apparition des inclusions de phase alpha (Hard Phase Inclusion – HAI) qui ont été identifiées comme étant la cause du crash historique en 1989 d'un DC10 à Sioux City.

Un inconvénient de ces deux techniques est la complexité des réglages de teneur en éléments d'addition à cause des faisceaux d'énergie qui favorisent l'évaporation des métaux à faible tension de vapeur. Le problème est crucial pour l'aluminium. Par ailleurs, ces méthodes énergétiques sont complexes et coûteuses en entretien.

Aujourd'hui, la moitié des lingots produits aux USA sont fabriqués avec les procédés EB et PAM.

XVI ANNEXE : HISTORIQUE DU PRIX DE L'EPONGE

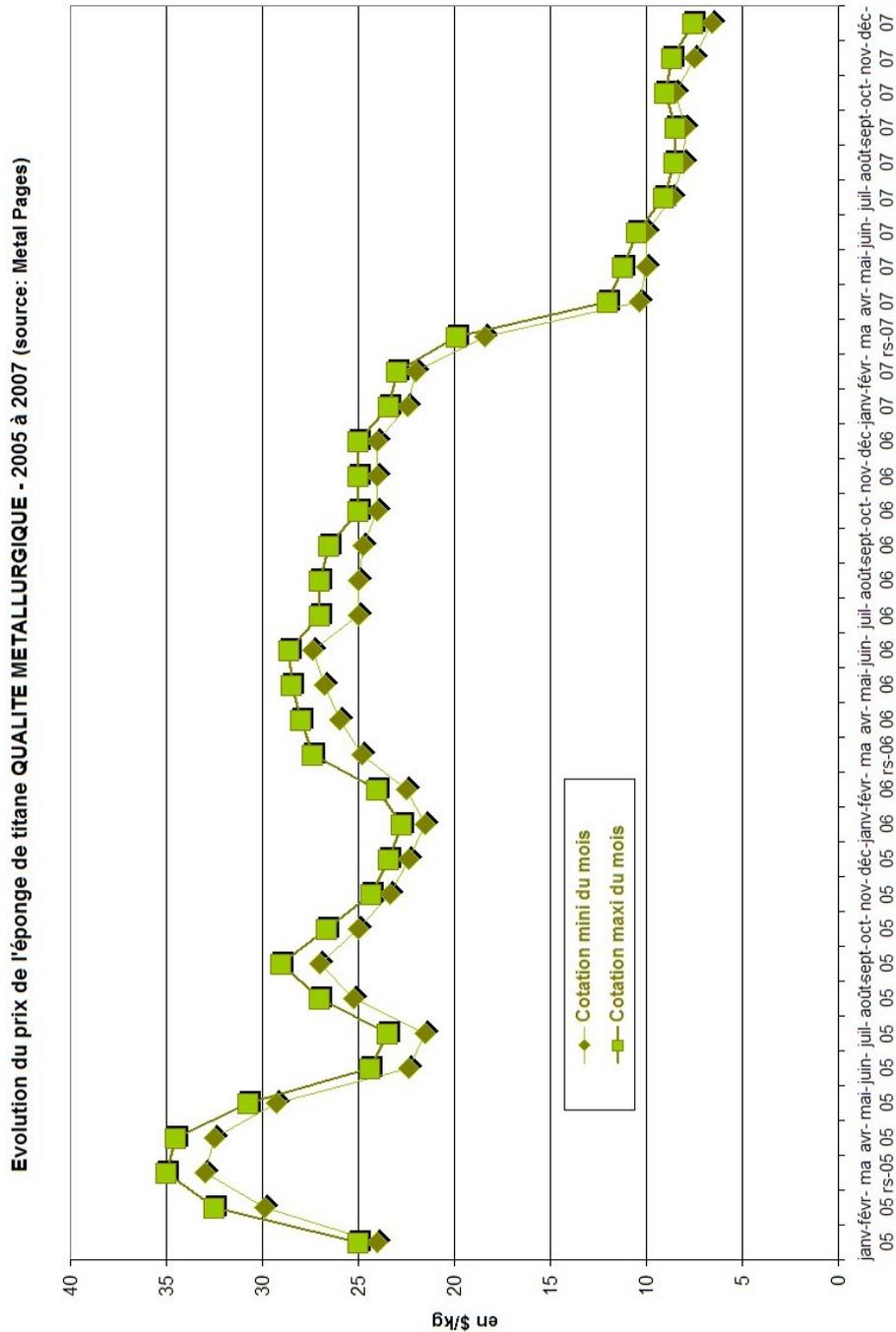


Figure 56: Évolution du prix de l'éponge de qualité métallurgique entre 2005 et 2007 [réf.3]

XVII ANNEXE : HISTORIQUE DU PRIX DU FERROTITANE 70%

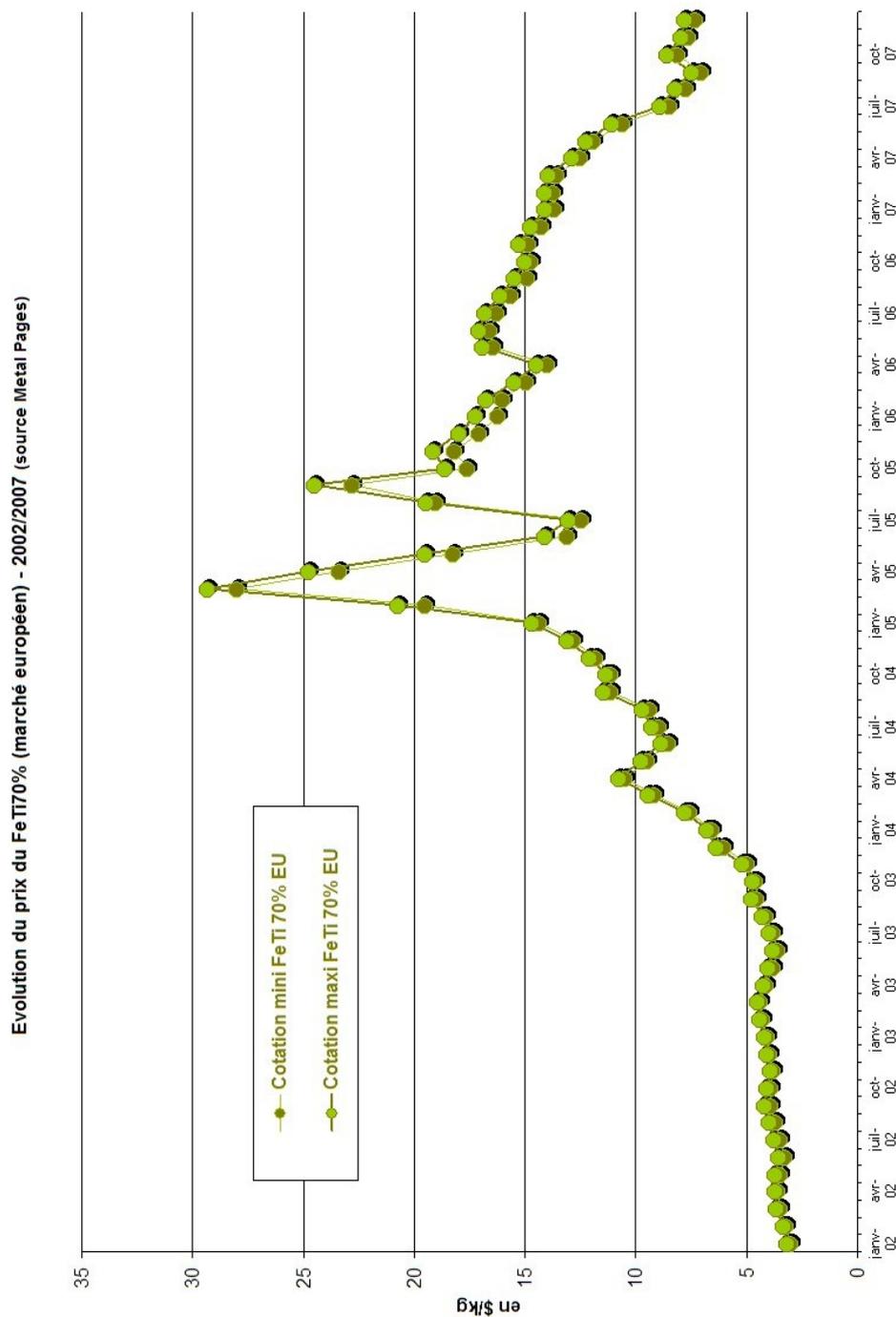


Figure 57: Évolution du prix du ferrotitane 70% entre 2002 et 2007 [réf.3]

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	121/149

XVIII ANNEXE : SCENARII D'EVOLUTION DU PRIX DES MATIERES PREMIERES

Scenario « générique » en phase de reprise de la demande

1. La chute de la demande a été causée par une crise de dimension internationale dont les effets affectent l'ensemble de l'économie ;
2. Les premiers signes de reprise sont perçus d'abord par l'industrie sidérurgique en raison de ses liens avec les produits de grande consommation ;
3. La filière titane subissant la crise, les usines produisent peu de déchets et les moyens de production d'éponge tournent à régime réduit : en conséquence les stocks de scrap sont au plus bas et la disponibilité en éponge, faible ;
4. Avec la relance de la production d'acier, les sidérurgistes stimulent la production de ferrotitane 70% ce qui provoque la montée des prix du scrap ;
5. Les prix du FeTi70% montent d'autant plus que la disponibilité en scrap est faible : cela pousse les sidérurgistes à chercher une alternative avec l'éponge de qualité métallurgique ;
6. Le redémarrage des usines d'éponge est un processus progressif. Tant que l'offre n'est pas suffisante, l'inflation des prix sur le FeTi70% et le scrap est entretenue ;
7. Lorsque la demande en titane repart, les prix des matières premières sont élevés et leur disponibilité est très limitée. Toutes les conditions sont réunies pour une augmentation des coûts de production et un allongement des délais de livraison pour les fabricants de titane.

Scenario générique en phase de chute de la demande

1. Une crise de dimension internationale se déclenche ;
2. La chute de la demande induit un ralentissement des cadences de production d'éponge, de scrap de titane et de ferrotitane ;
3. La disponibilité en éponge sur le marché spot augmente dans un premier temps (elle n'est pas transformée en lingot), puis se raréfie ;
4. Le stock disponible en scrap s'accumule et les prix s'écroulent ;
5. La majorité du stock de scrap finit par s'écouler à des niveaux de prix bas ;

Tableau 13: Mécanisme d'évolution des prix et de disponibilité des matières premières

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	122/149

XIX ANNEXE : REFERENCES HISTORIQUES DE PRIX DES MATIERES PREMIERES

Évènement	Prix (\$ constant)
• Valeurs pic lors de la très forte demande en mars 2005	
○ de l'éponge de titane de qualité métallurgique	35 \$/kg
○ du FeTi70%	29 \$/kg
○ du scrap de titane TA6V traité	27 \$/kg
• Valeur moyenne de l'éponge de titane de qualité métallurgique en phase de demande soutenue (période de juillet 2005 à fin 2006)	25 \$/kg
• Valeur moyenne de l'éponge de titane de qualité métallurgique en période « normale » avec une bonne disponibilité en matière (période avril 2007 à septembre 2008)	8 – 9 \$/kg
• Valeur basse en phase de crise de la demande (1 ^{er} semestre 2009)	
○ de l'éponge de titane de qualité métallurgique	2,5 \$/kg
○ du FeTi70%	2,5 \$/kg
• Seuil apparent de rentabilité pour la production de FeTi30%	7 – 8 \$/kg

Tableau 14: Prix des matières premières en fonction de l'équilibre offre-demande

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	123/149

XX ANNEXE : CONSOMMATION DE TITANE PAR SECTEUR EN CHINE

En tonne	Chimie	Aérospatial	Naval	Métallurgie	Énergie électrique	Médical	Dessalement	Off-shore	Sport & Loisir	Autres
2009	11.918	2.519	836	1.658	2.006	1.030	1.320	622	1.746	1.310
2010	19.718	3.603	626	2.472	1.443	1.083	2.256	766	2.904	2.183
2011	27.156	4.080	720	2.742	3.253	1.027	2.556	1.343	2.414	4.101
2012	25.216	4.261	1.279	2.139	6.131	1.313	2.110	572	4.743	2.567
2013	22.878	4.866	402	2.481	5.206	538	1.376	680	2.151	760
2014	20.867	4.861	881	2.840	6.499	698	1.744	807	3.030	2.241
2015	19.486	6.862	1.279	2.168	5.537	884	1.715	541	2.031	3.214
2016	18.553	8.519	1.296	1.604	5.590	1.834	1.175	1.512	2.090	1.983

Tableau 15: Consommation de titane détaillée par secteur en Chine [réf. 7]

XXI ANNEXE : EXPORTATIONS ET IMPORTATIONS DU JAPON

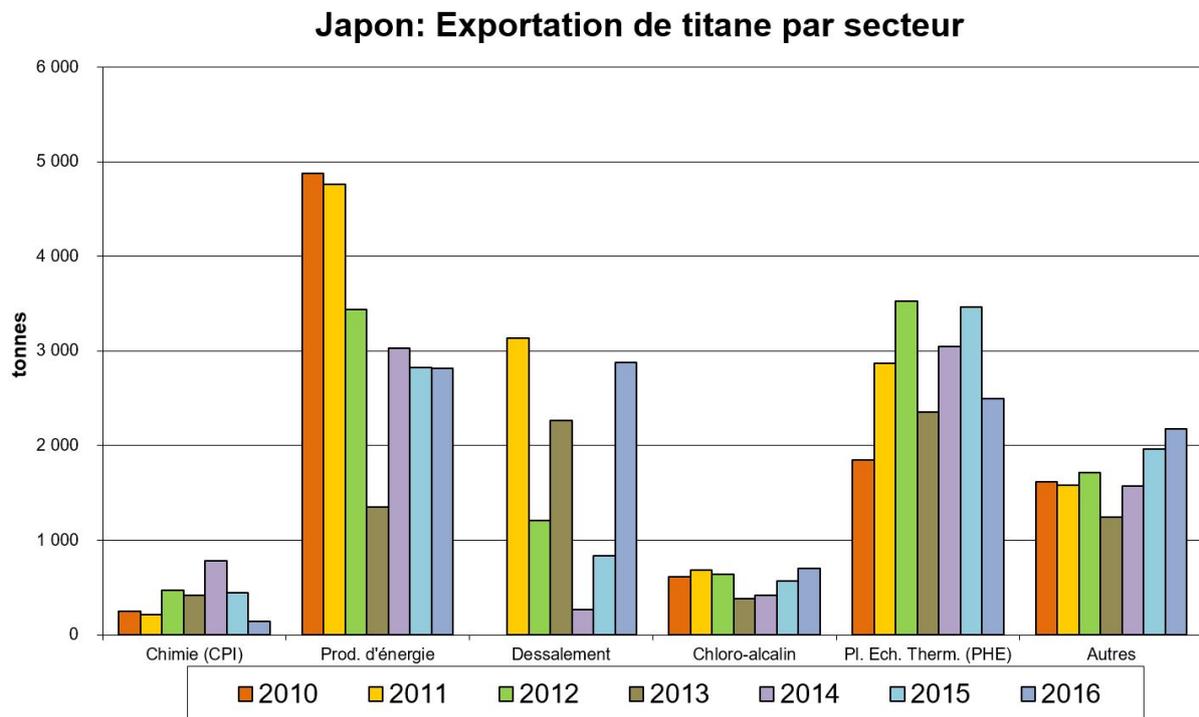


Figure 58: Exportations de produits titane du Japon par secteur [réf. 9]

Japon: Importation d'éponge et de lingot

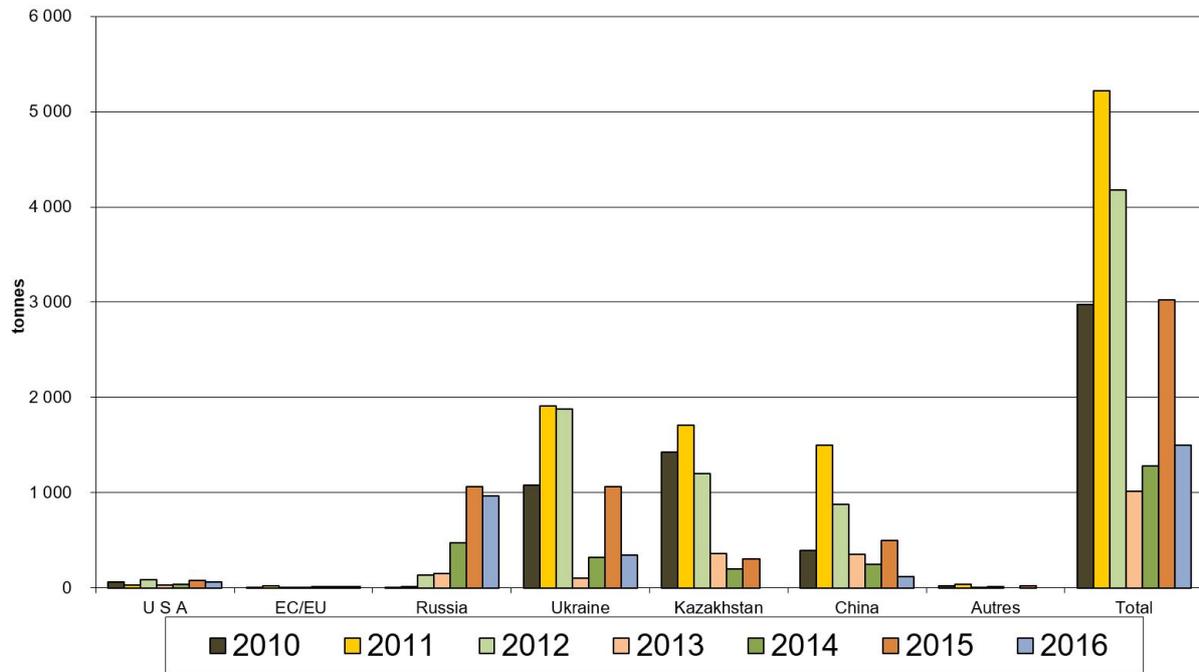


Figure 59: Importation d'éponge du Japon [réf. 9]

Japon: Importation de produits titane

(en tonne)

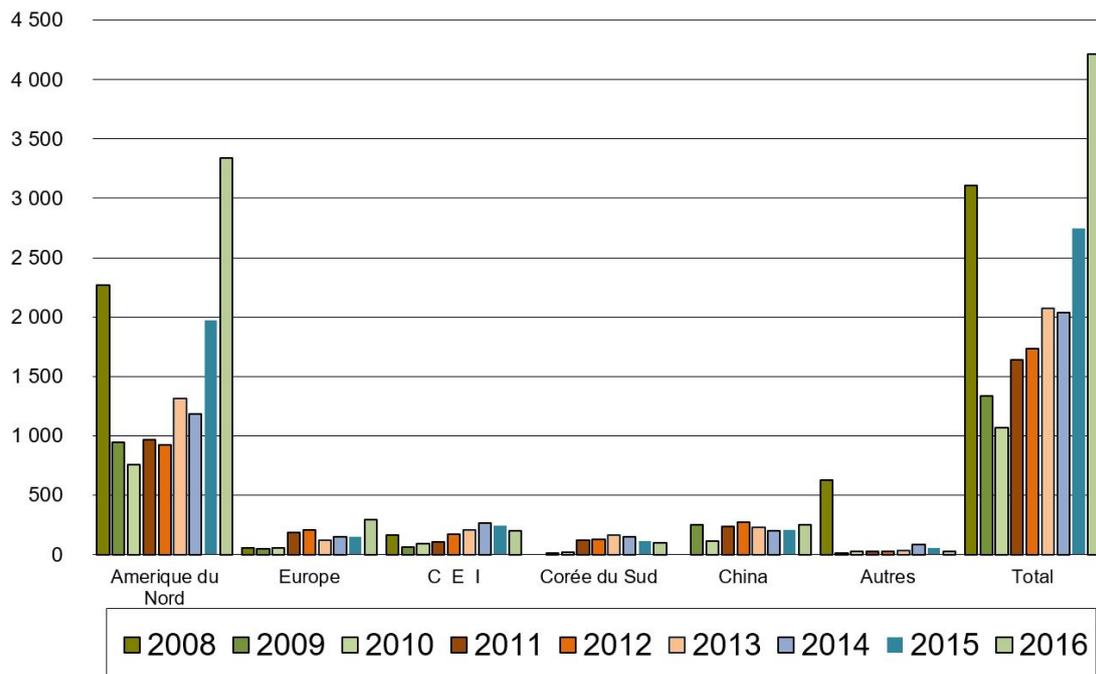


Figure 60: Importation de produits titane du Japon [réf. 9]

XXII ANNEXE : EMPLOI DES COMPOSITES DANS LES AVIONS DE NOUVELLE GENERATION

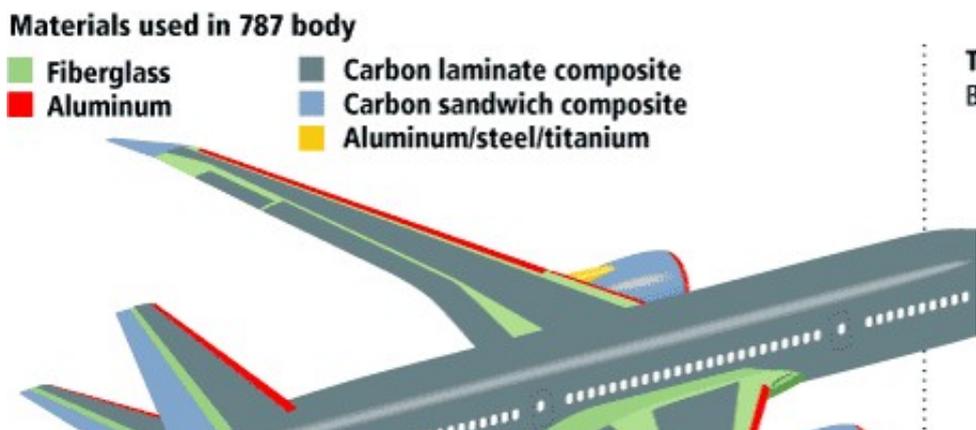
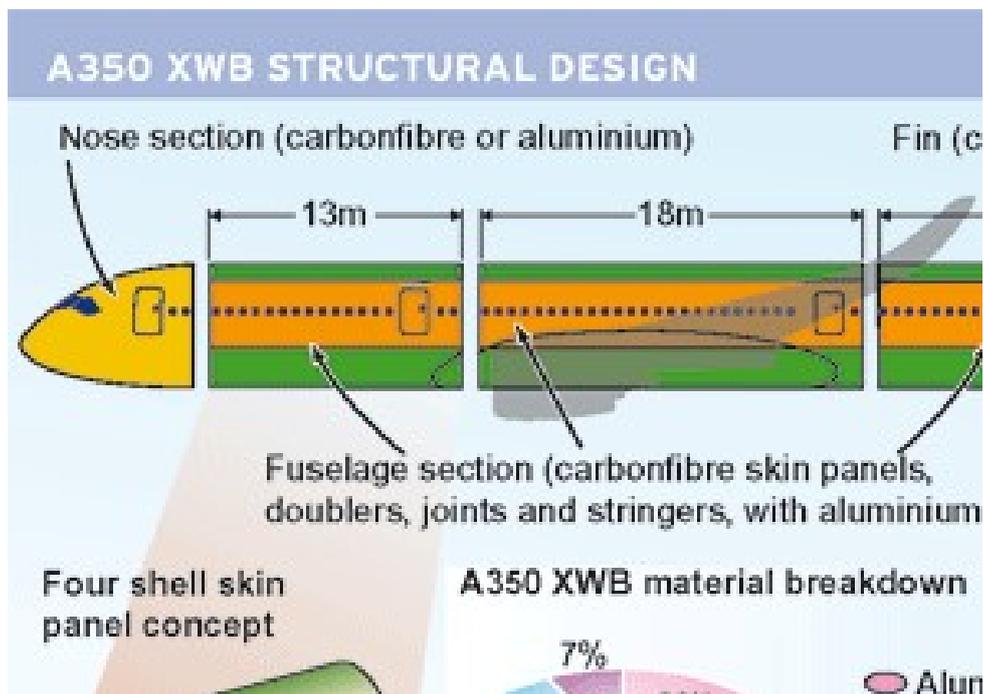


Figure 61: Utilisation des matériaux composites et des métaux dans l'A350 et le B787

XXIII ANNEXE : EVOLUTION DU PRIX DU BARIL DE PETROLE

Long-term oil price outlook marked by uncertainty

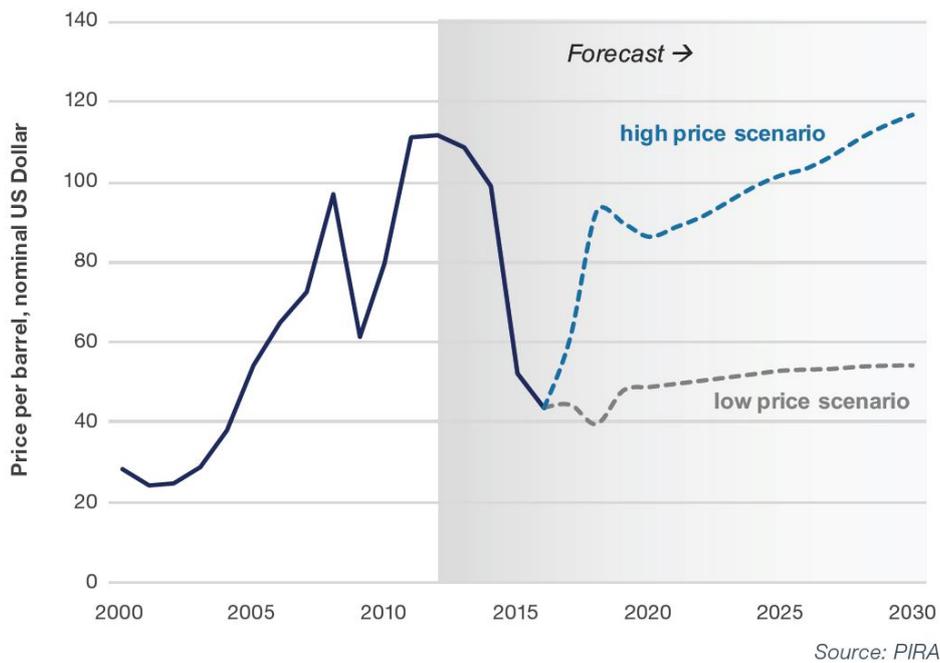


Figure 62: Evolution du prix du pétrole jusqu'en 2016 et projection au-delà [réf.14]

Retirements closely correlated with oil price

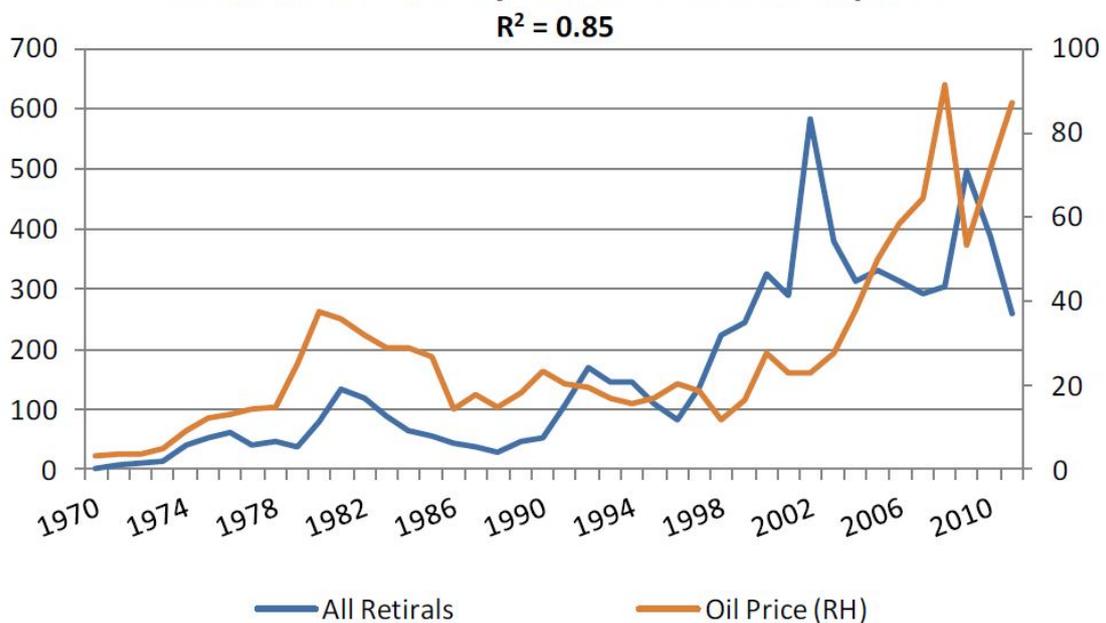


Figure 63: Corrélation entre le prix du pétrole et le retrait du service des avions [réf.16]

XXIV ANNEXE : HISTORIQUE DE PRODUCTION D’AIRBUS ET BOEING

Livraisons d'avions de ligne

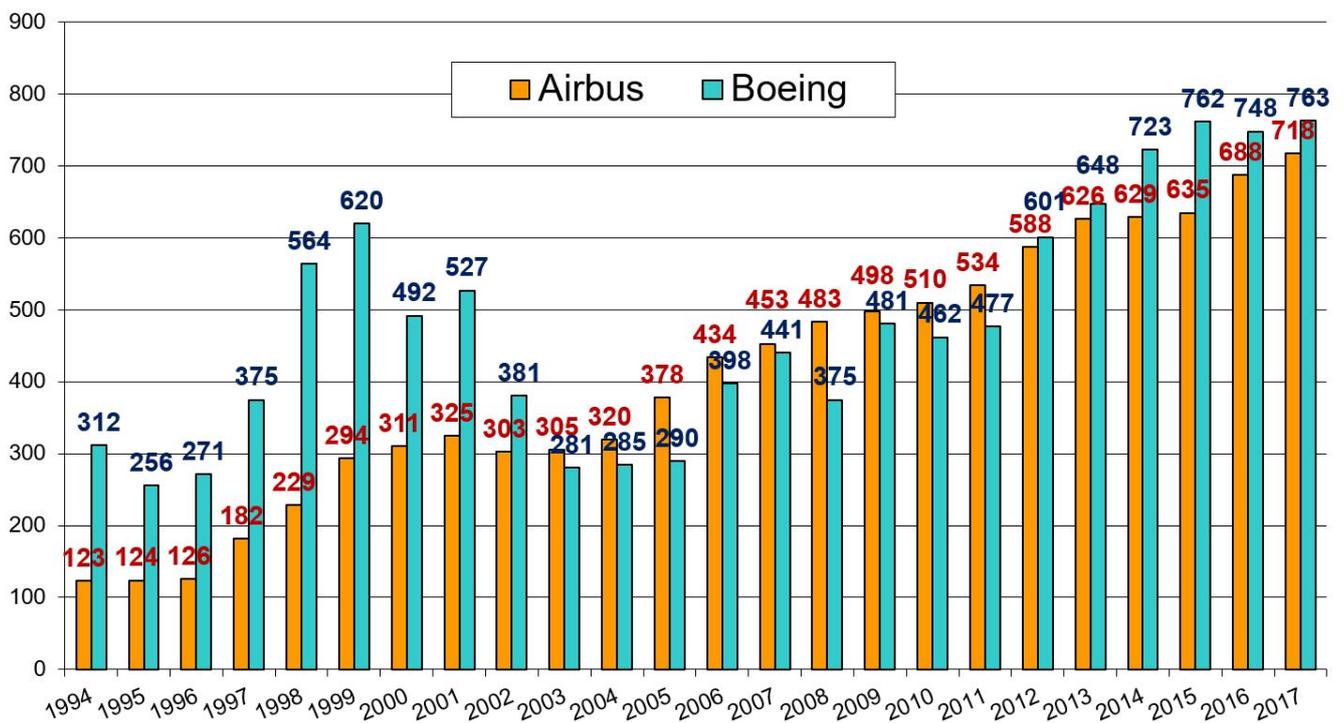


Figure 64: Historique des livraisons annuelles d'avions d’Airbus et Boeing (1994-2017)

XXV ANNEXE : PRISES DE COMMANDE D’AIRBUS ET DE BOEING

Avions de ligne: commandes nettes d'avions

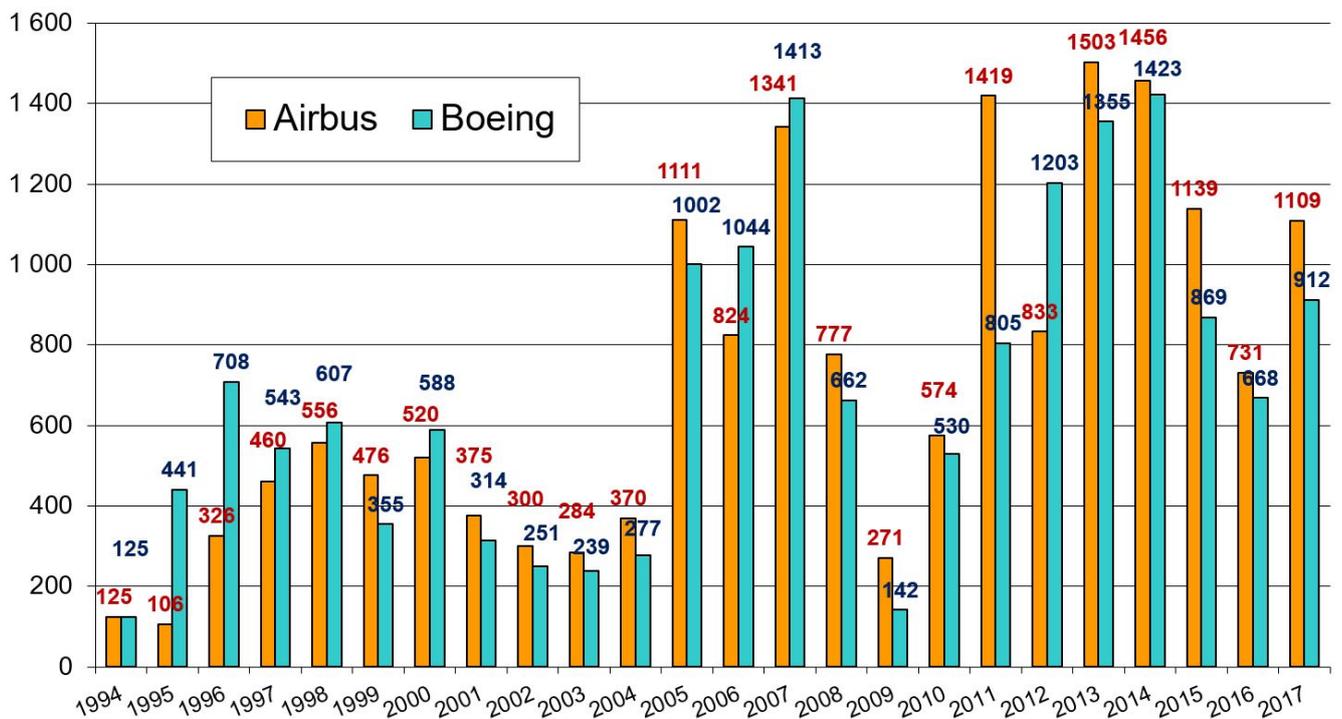


Figure 65: Historique des prises de commande d’Airbus et de Boeing (1994-2017)

XXVI ANNEXE : BACKLOG DE COMMANDE AIRBUS & BOEING

Avions de ligne: carnet de commande (Backlog)

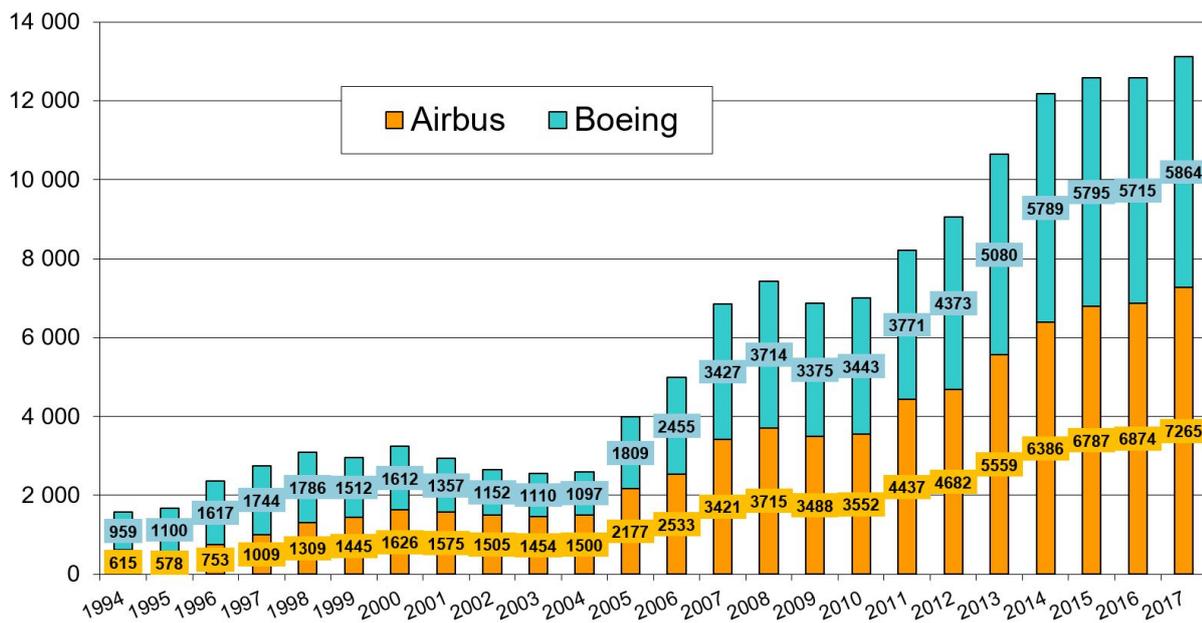
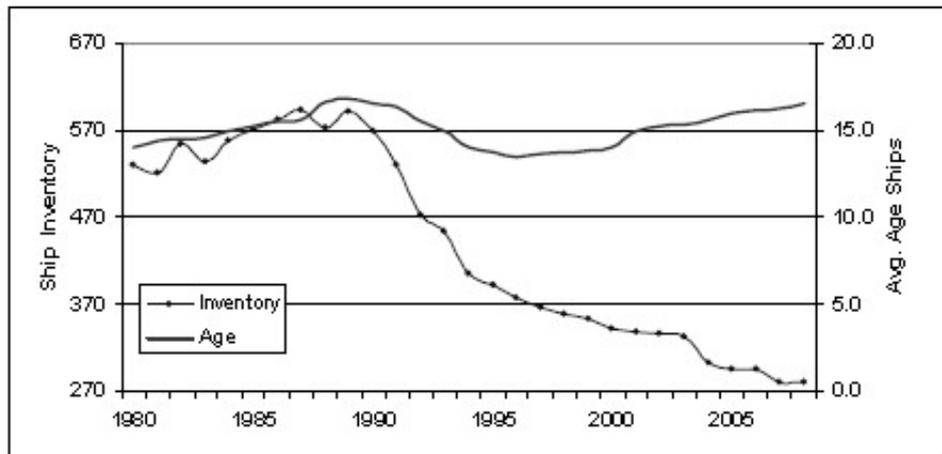


Figure 66: Évolution du backlog d'Airbus et de Boeing (1994-2017)

XXVII ANNEXE : AGE MOYEN DES EQUIPEMENTS MILITAIRES US

DoD's Aging, Declining Equipment Inven

Navy Ships



USAF

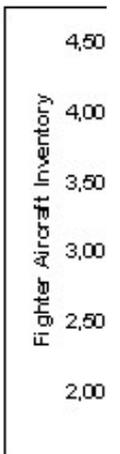


Figure 67: Inventaire et âge moyen des équipements militaires américains

XXVIII ANNEXE : NACELLE DU FUTUR AVION CHINOIS C919

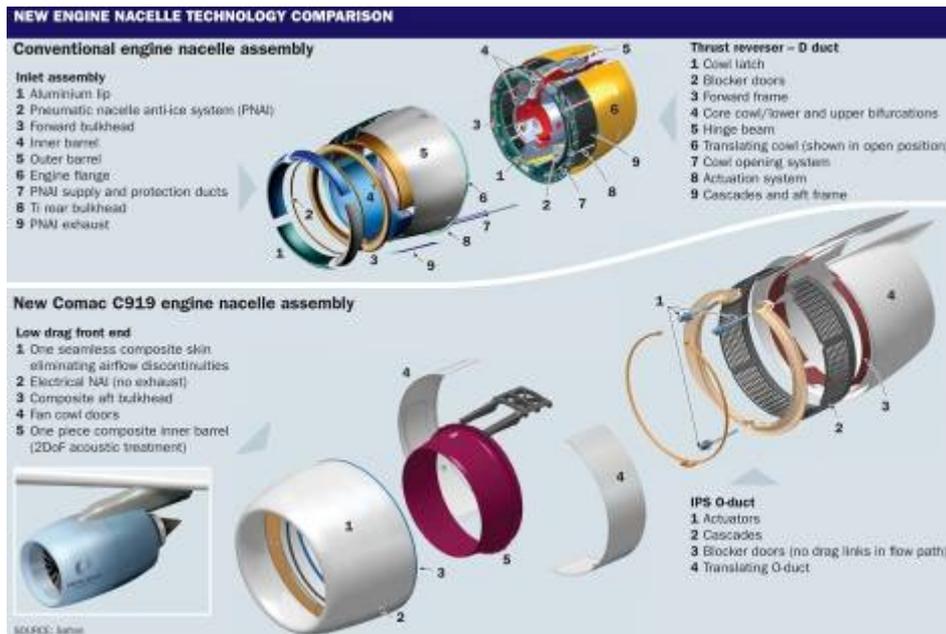


Figure 68: Nouvelle technologie de nacelle « moteur » de l'avion chinois C919

XXIX ANNEXE : EVOLUTION DE LA FLOTTE ACTIVE D'AVIONS

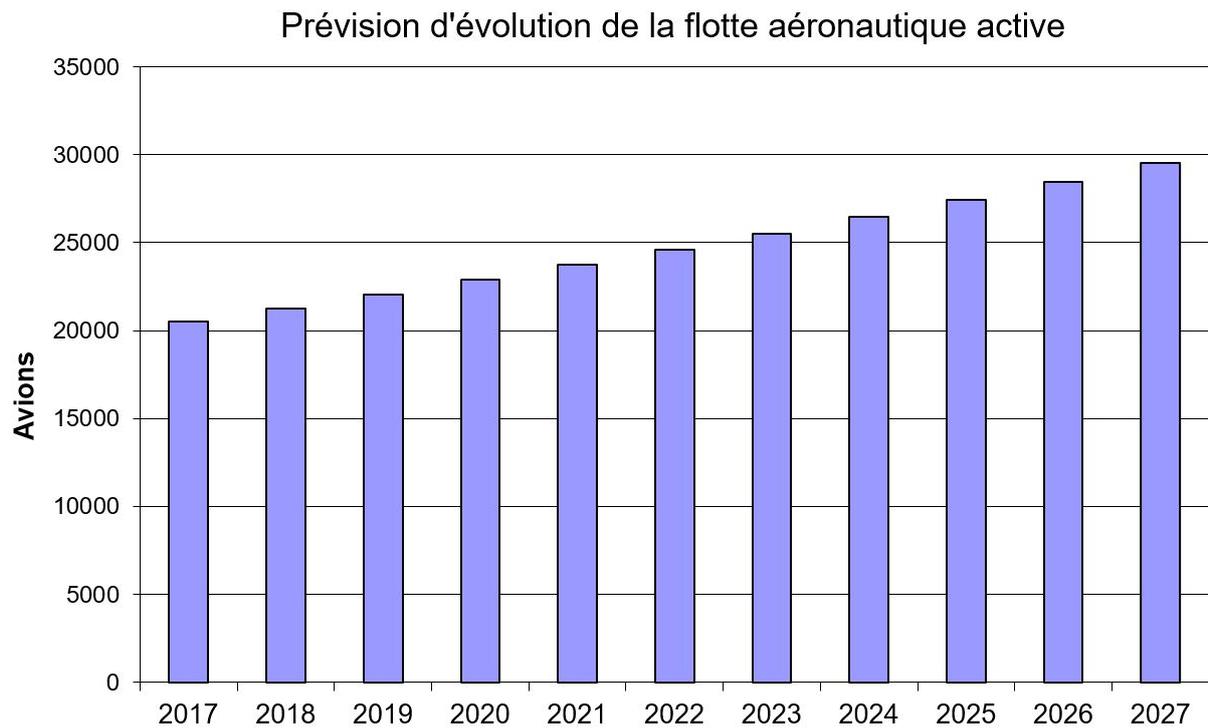


Figure 69: Évolution de la flotte active d'avions tous types confondus

XXX ANNEXE: BLINDAGES EN TITANE



Figure 70: Exemples de kits de protection balistique en titane [réf. 23]

XXXI ANNEXE : CANON HOWITZER 155MM CHASSIS EN TITANE



Figure 71: Châssis en titane du canon d'artillerie Howitzer de 155mm [réf.24]

XXXII ANNEXE: CHASSIS EN TITANE POUR LE FUTUR VEHICULE FCS



Figure 72: Projet de châssis en titane du “Futur Combat System” (US Army)

XXXIII ANNEXE : AVION DE CHASSE CHINOIS

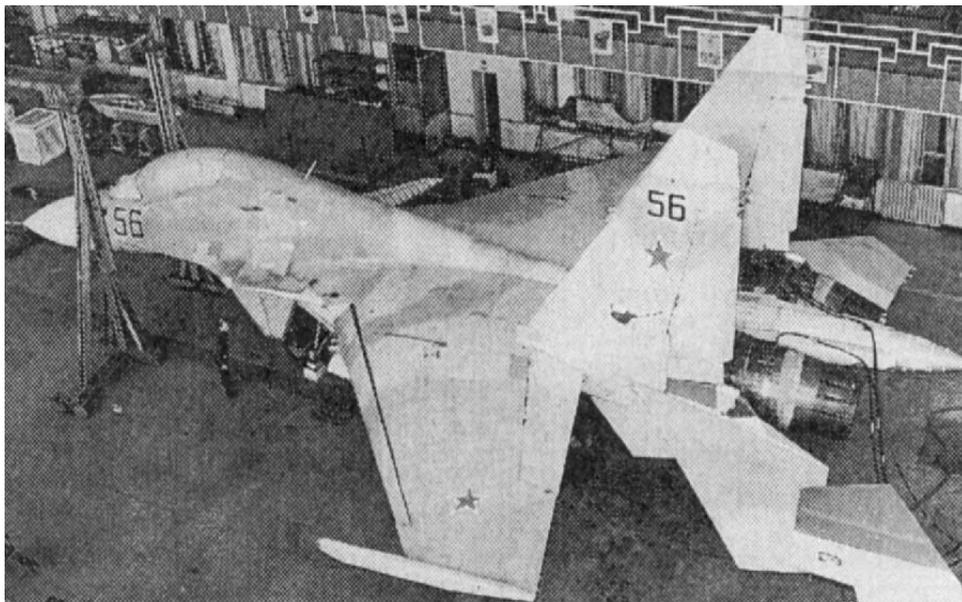


Figure 73: Le J-11, avion de chasse chinois assemblé sous licence Sukhoï Su-27SK

XXXIV ANNEXE : PROGRAMMES NUCLEAIRES

TABLE 1. OVERVIEW OF POWER REACTORS AND NUCLEAR SHARE, 31 DEC. 2016

Country	Operational reactors		Reactors in long term shutdown		Reactors under construction		Nuclear electricity supplied in 2016	
	No. of units	Net capacity MW(e)	No. of units	Net capacity MW(e)	No. of units	Net capacity MW(e)	TW(e)-h	% of total
ARGENTINA	3	1632			1	25	7.7	5.6
ARMENIA	1	375					2.2	31.4
BELARUS					2	2218	NA	NA
BELGIUM	7	5913					41.4	51.7
BRAZIL	2	1884			1	1245	15.0	2.9
BULGARIA	2	1926					15.1	35.0
CANADA	19	13554					95.7	15.6
CHINA	36	31384			21	21622	197.8	3.6
CZECH REP.	6	3930					22.7	29.4
FINLAND	4	2764			1	1600	22.3	33.7
FRANCE	58	63130			1	1630	386.5	72.3
GERMANY	8	10799					80.1	13.1
HUNGARY	4	1889					15.2	51.3
INDIA	22	6240			5	2990	35.0	3.4
IRAN, ISL. REP	1	915					5.9	2.1
JAPAN	42	39752	1	246	2	2653	17.5	2.2
KOREA, REP. OF	25	23077			3	4020	154.3	30.3
MEXICO	2	1552					10.3	6.2
NETHERLANDS	1	482					3.7	3.4
PAKISTAN	4	1005			3	2343	5.4	4.4
ROMANIA	2	1300					10.4	17.1
RUSSIA	35	26111			7	5520	184.1	17.1
SLOVAKIA	4	1814			2	880	13.7	54.1
SLOVENIA	1	688					5.4	35.2
SOUTH AFRICA	2	1860					15.2	6.6
SPAIN	7	7121	1	446			56.1	21.4
SWEDEN	10	9740					60.6	40.0
SWITZERLAND	5	3333					20.3	34.4

Country	Operational reactors		Reactors in long term shutdown		Reactors under construction		Nuclear electricity supplied in 2016	
	No. of units	Net capacity MW(e)	No. of units	Net capacity MW(e)	No. of units	Net capacity MW(e)	TW(e)-h	% of total
UAE					4	5380	NA	NA
UK	15	8918					65.1	20.4
UKRAINE	15	13107			2	2070	76.1	52.3
USA	99	99869			4	4468	804.9	19.7
Total	448	391116	2	692	61	61264	2476.2	NA

Note:

The total includes the following data from Taiwan, China:

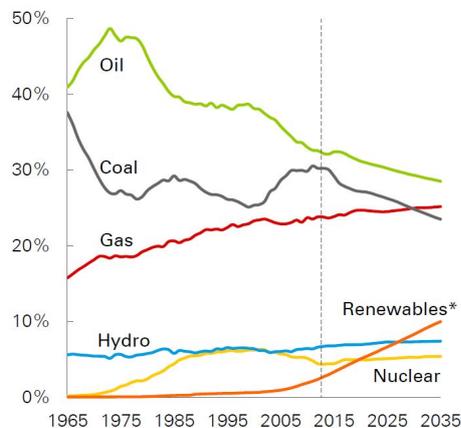
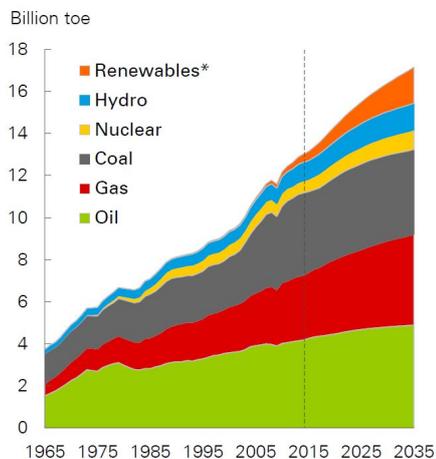
— 6 units, 5052 MW in operation; 2 units, 2600 MW under construction;

— 30.5 TW(e)-h of nuclear electricity generation, representing 13.7% of the total electricity generated there;

Tableau 16: Réacteurs nucléaires en service et en cours de construction [réf.35]

Primary energy consumption by fuel

Shares of primary energy



*Renewables includes wind, solar, geothermal, biomass, and biofuels

Figure 74: Part du nucléaire dans les ressources énergétiques mondiales [réf.36]

XXXV ANNEXE: ENERGIE THERMIQUE DES OCEANS (OTEC)

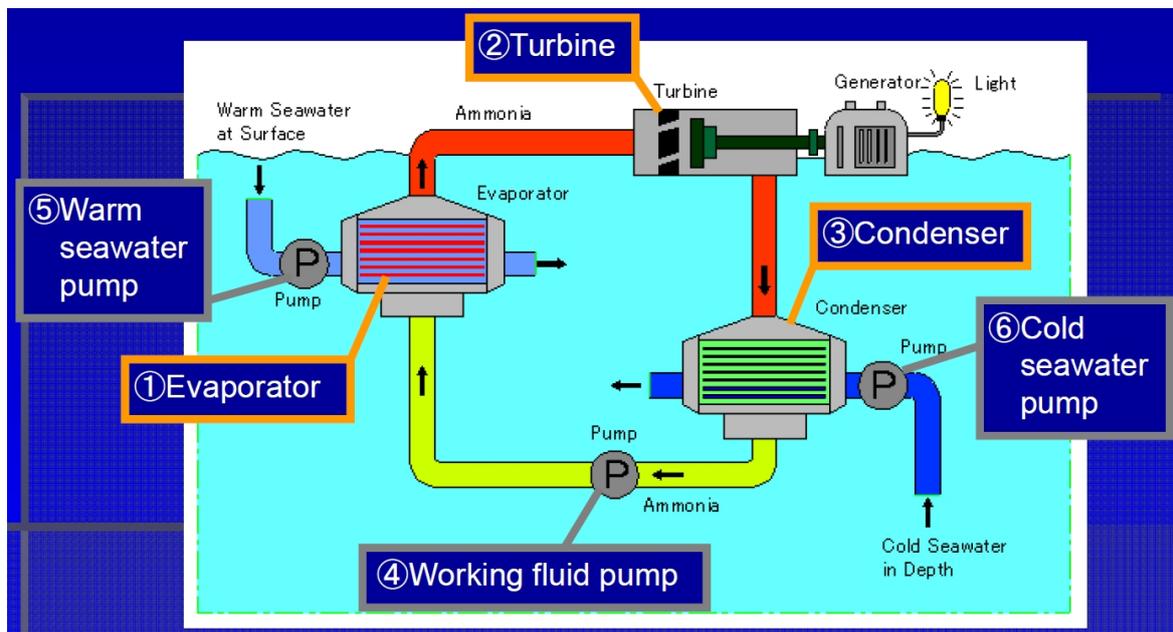
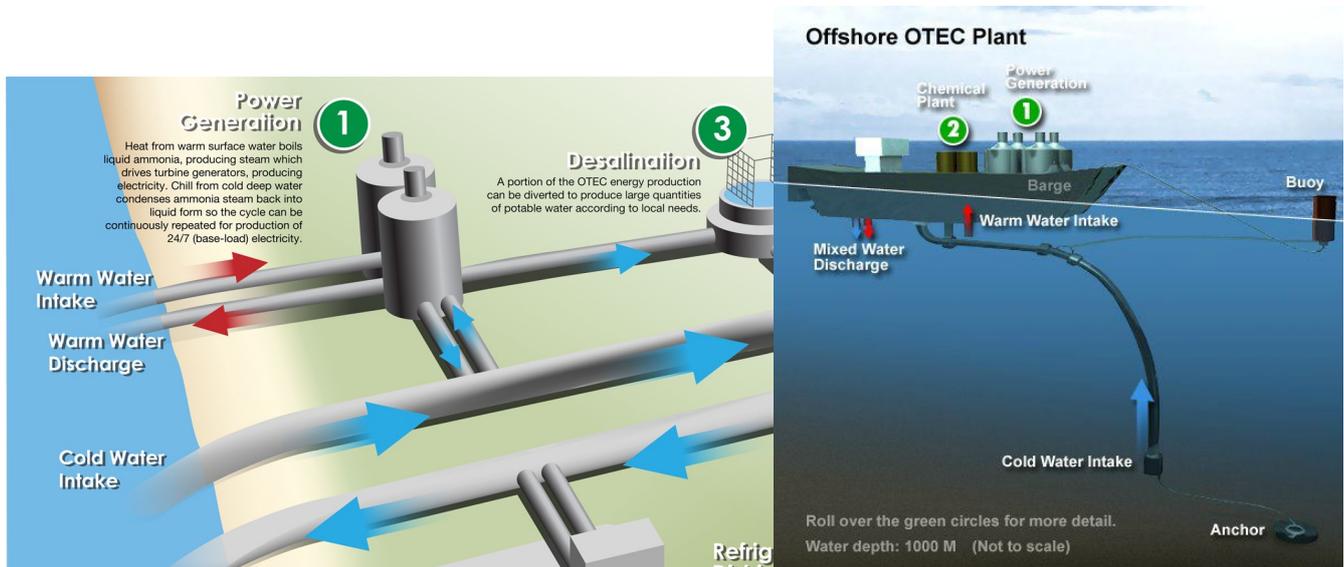


Figure 75: Principe de la technologie OTEC^{70,71}

Le procédé OTEC « Ocean Thermal Energy Conversion » (ou ETM – Energie thermique des mers) est une technique de production d’énergie qui exploite les différences de température entre eaux profondes et eaux de surface. La faisabilité est démontrée en 1930 par l’ingénieur français G. Claude qui met en œuvre une première usine flottante en 1935. Au premier choc pétrolier, les études sont relancées et un projet d’une mini-centrale de 5MW est initié pour Tahiti en 1979. Ce projet est stoppé avec le contre-choc pétrolier. En 1974, les américains lancent le « Natural Energy Laboratory of Hawaii » qui accueille dès 1979 une

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	140/149

usine « mini-OTEC » à Keahole Point à la pointe de l'île de Big Island, une des îles d'Hawaï. L'usine réalise la première production nette d'électricité par le biais d'une centrale en cycle fermé. Le projet se développe et en 1985, l'Etat législatif d'Hawaï crée le HOST (Hawaï Ocean Science and Technology) qui développe une économie locale exploitant deux systèmes de canalisations en profondeur et en surface et une troisième, la plus large et profonde au monde allant jusqu'à 900 mètres, est en voie de développement.

Outre les développements menés en France par NAVAL GROUP et Lockheed Martin aux USA (voir paragraphe V.1.5), les japonais s'intéressent aussi à la technologie et en 2003, un site d'expérimentation démarre au Japon en partenariat avec l'IOES^{ddd} de l'Université de Saga. En plus de la production d'électricité (30 kW), les ingénieurs japonais ont développé une technique de dessalement (10 tonnes/jour), de production et de stockage d'hydrogène, et d'extraction de lithium. La même année, un site de production de glaçons d'eau de mer de 10 tonnes/jour a été installé au Japon. D'autres projets sont également à l'étude pour exploiter les propriétés des eaux profondes pour développer la biomasse océanique et répondre ainsi globalement aux besoins des populations côtières en énergie, eau douce et nourriture.

La liste des projets actuellement en cours dans le Monde⁷² est donnée dans les tableaux ci-dessous.

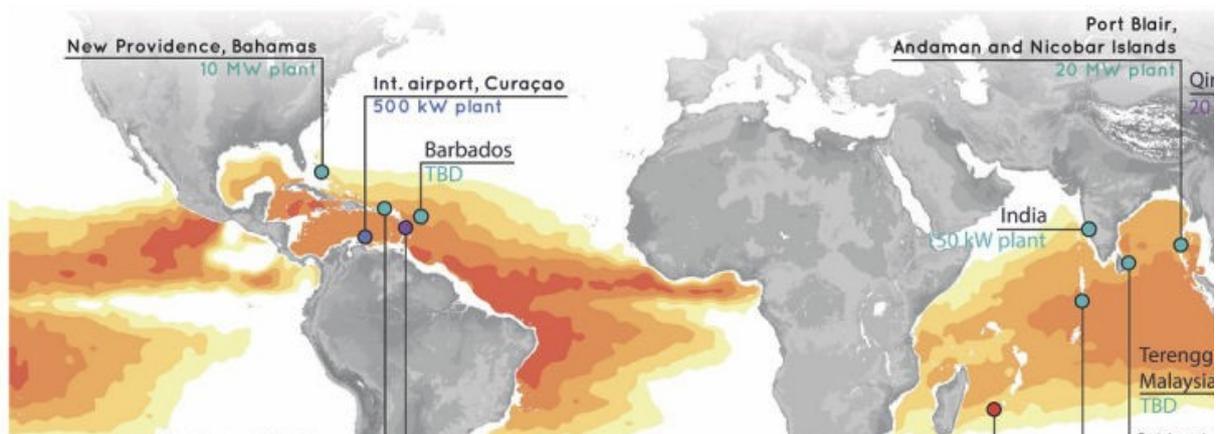


Tableau 17: Projets OTEC dans le Monde (mai 2017) [réf.72]

^{ddd} Institut of Ocean Energy

XXXVI ANNEXE: CAPACITES MONDIALES DE PRODUCTION D'EPONGE

Capacité mondiale de production d'éponge de titane (2017)

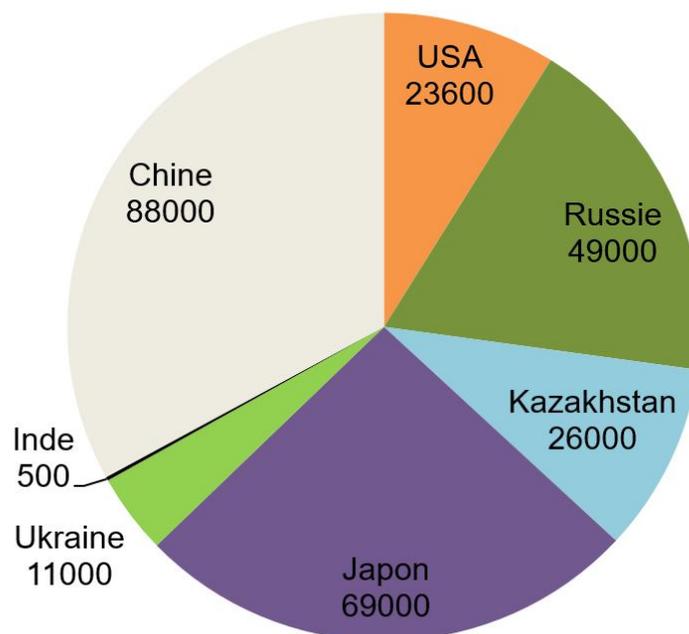


Figure 76: Capacité de production d'éponge par pays en 2017

XXXVII ANNEXE : TECHNOLOGIE DE PRODUCTION D'ÉPONGE

Technology Comparison of Titanium Sponge Production in China & Abroad

Country	China	Japan	America	Russia	Kazakstan	Ukraine
Raw material	92% high-Ti slag	95% rutile	95% rutile	87% high-Ti slag	87% high-Ti slag	87% high-Ti slag
Chlorination	φ1.2 ~ 2.6m boiling chlorinator	φ1.9 ~ 3m boiling chlorinator	φ3m boiling chlorinator	φ5m salt chlorinator	φ5m salt chlorinator	φ5msalt chlorinator
Refining	Removing vanadium by copper thread-float valve tower	Removing vanadium by mineral oil -float valve tower	Removing vanadium by mineral oil-float valve tower	Removing vanadium by aluminum powder-bubble cap tower distillation	Removing vanadium by aluminum powder - bubble cap tower distillation	Removing vanadium by aluminum powder - bubble cap tower distillation
Reduction-distillation	5 ~ 8 t upside-down U type consolidate stove, 3 ~ 4 t I type half consolidated stove	5 ~ 10 t upside-down U type consolidate stove	8 ~ 10 t upside-down U type consolidate stove	4 ~ 5 t I type half consolidated stove	4 ~ 5 t I type half consolidated stove	4 t I type half consolidated stove
Magnesium electrolysis	110KA electrolysis slot without separating board	Homo-polar electrolysis slot	electrolysis slot without separating board	150 ~ 170KA electrolysis slot without separating board	150 ~ 170KA electrolysis slot without separating board	150 ~ 170KA electrolysis slot without separating board

Source: Beijing General Research Institute of Nonferrous Metals Publications

Tableau 18 : Comparaison des différentes technologies de production d'éponge [Réf.73]

XXXVIII ANNEXE : STANDARDS DE QUALITE D'EPONGE DE TITANE

China sponge national standard

Grade	Brand	No less Than	Chemical Elements (quality grade)%									brinell hardness	
			impurity, No More Than										No More Than
			Fe	Si	Cl	C	N	O	Mn	Mg	H		
0 级	MHT-100	99.7	0.06	0.02	0.06	0.02	0.02	0.06	0.01	0.06	0.005	100	
1 级	MHT-110	99.6	0.1	0.03	0.08	0.03	0.02	0.08	0.01	0.07	0.005	110	
2 级	MHT-125	99.5	0.15	0.03	0.1	0.03	0.03	0.1	0.02	0.07	0.005	125	
3 级	MHT-140	99.3	0.2	0.03	0.15	0.03	0.04	0.15	0.02	0.08	0.01	140	
4 级	MHT-160	99.1	0.3	0.04	0.15	0.04	0.05	0.2	0.03	0.09	0.012	160	
5 级	MHT-200	98.5	0.4	0.06	0.3	0.05	0.1	0.3	0.08	0.15	0.03	200	

Japanese makers standard

Grade	Ti (%min)	Impurity									BHN
		Fe	Cl	Mn	Mg	Si	N	C	H	O	
Soft	99.8	0.03	0.08	0.002	0.04	0.02	0.006	0.01	0.003	0.05	90
Sponge	99.7	0.04	0.08	0.002	0.04	0.02	0.006	0.01	0.003	0.06	95
Mild	99.6	0.08	0.1	0.005	0.05	0.02	0.01	0.02	0.004	0.07	100
Sponge	99.5	0.12	0.12	0.01	0.06	0.02	0.015	0.02	0.005	0.1	120

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	144/149

Grades CEI	Ti (min.%)	Fe (max.%)	Si (max.%)	Ni (max.%)	C (max.%)	Cl (max.%)	N (max.%)	O (max.%)
TG-90	99.74	0.05	0.01	0.04	0.02	0.08	0.02	0.04
TG-100	99.72	0.06	0.01	0.04	0.3	0.08	0.02	0.04
TG-110	99.67	0.09	0.02	0.04	0.03	0.08	0.02	0.05
TG-120	99.64	0.11	0.02	0.04	0.03	0.08	0.02	0.06
TG-130	99.56	0.13	0.03	0.04	0.03	0.10	0.03	0.08
TG-150	99.45	0.20	0.03	0.04	0.03	0.12	0.03	0.10
TG-Tv	97.75	1.90	-	-	0.10	0.15	0.10	-

Tableau 19: Standards de qualité des éponges chinoises, japonaises⁷³

XXXIX ANNEXE: PROCEDE DE TRAITEMENT DE L'EPONGE DE TITANE

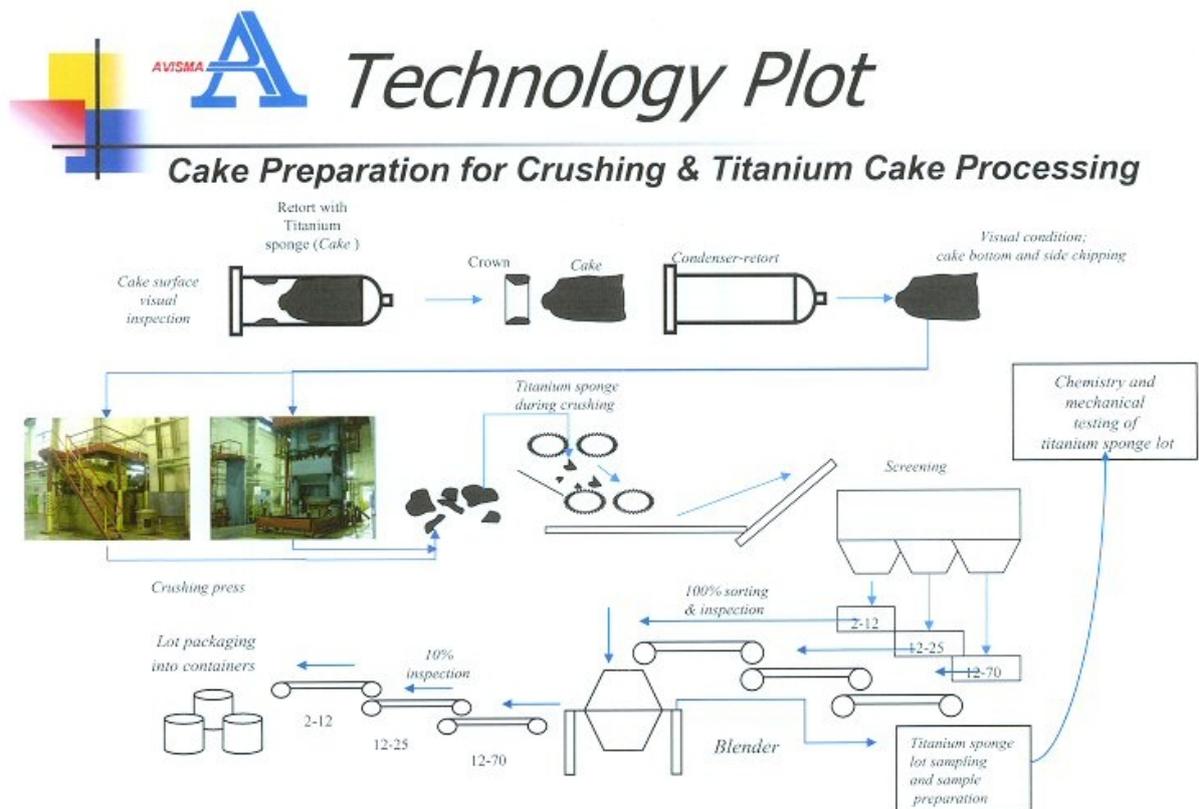


Figure 77: Procédé de traitement de l'éponge de titane chez VSMPO-AVISMA (Russie)

XL ANNEXE: MISE EN FORME DES POUDRES ADMA (HDH)

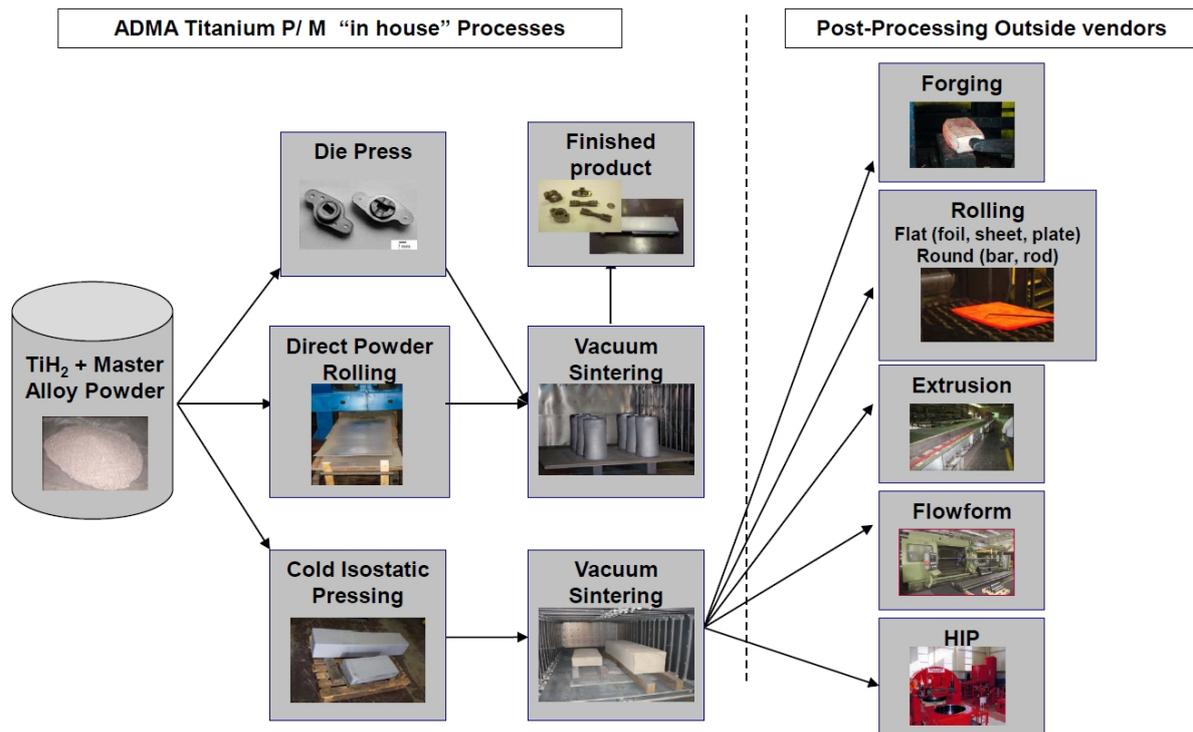


Figure 78: Mise en forme et transformation de produits titane élaborés à partir de TiH₂ [réf. 65]

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	147/149

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ¹ Black sand, The history of Titanium, Kathleen L. Housley, Metal Management Inc., ISBN 0-935297-43-X, 2007
- ² U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Titanium mineral concentrates, January 2017, p.178-179
- ³ Argus Media, <https://direct.argusmedia.com/>
- ⁴ U.S. Geological Survey, Mineral Industry Survey, Minerals Yearbook Titanium 2007 to 2014, Titanium in the fourth quarter 2015 & 2016 (<http://minerals.usgs.gov/minerals>)
- ⁵ Russian titanium market update, M. Metz, Proc. International Titanium Conference 2014 à 2017
- ⁶ China Titanium 2007, Beijing International Ti Expo 2007, Metal Pages Conference, October 23-25, 2007, summarized by Ming Xiao and published by the International Titanium Association, Decembre 1, 2007
- ⁷ Annual Review Chinese Titanium Market, Metal Pages Research, 2008 to 2016
- ⁸ Oriental Patron Equity Research Industrial, Tiangong International case, Vivien Chan, January 2014
- ⁹ Japanese Titanium Statistics by JTS (The Japan Titanium Society), <http://www.titan-japan.com>
- ¹⁰ Statistical review 2005 – 2009, International Titanium Association
- ¹¹ Statistical review 2009 – 2011, International Titanium Association
- ¹² Statistical review 2011 – 2015, International Titanium Association
- ¹³ Airbus Global Market Forecast, Growing horizons 2017 / 2036, www.airbus.com
- ¹⁴ Boeing Current Market Outlook 2017-2036, www.boeing.com
- ¹⁵ Jet Information Services, www.jetinventory.com
- ¹⁶ Aircraft retirement trends & Outlook, D. Forsberg, Avolon, september 2012.
- ¹⁷ Embraer Commercial Aviation, Market Outlook 2017-2036, www.embraer.com
- ¹⁸ Bombardier Business Aircraft, Market Forecast 2017 – 2036, <http://www.bombardier.com>
- ¹⁹ Forecast International, Ray Jaworowski, 26 septembre 2017, <http://www.forecastinternational.com>
- ²⁰ Embraer deliveries 3Q17, press release, www.embraer.com
- ²¹ Building the industry's best-selling engine, W. H. Brown, SpeedNews annual commercial aviation industry suppliers conference, March 2-4, 2015
- ²² MIL-DTL-46077G, Armor Plate, Titanium Alloy, Weldable, 28 september 2007
- ²³ New titanium add-on armor provides enhanced soldier protection in a lightweight solution, S. Luckowski, Proc. International Titanium Association, Titanium 2009, Waikoloa, Hawaii, USA
- ²⁴ LW155, advanced planning briefing to industry, J. Shields, May 2002
- ²⁵ Report to Congressional Committees, GAO-17-370, March 2017, <http://www.gao.gov/assets/690/683688.pdf>
- ²⁶ International Energy Outlook 2017, U.S. Energy Information administration, September 14, 2017, www.eia.gov/oiaf/ieo/index.html
- ²⁷ Annual Energy Outlook 2017 with projection to 2050, U.S. Energy Information administration, January 2017, www.eia.gov/forecasts/aeo
- ²⁸ S.S. Ushkov and B.G. Ushakov, "Titanium structural alloys," Advanced Materials and Technologies, St. Petersburg, TsNII KM Prometei, 1993, pp. 35 - 36
- ²⁹ 2017 Outlook for Energy: A View to 2040, ExxonMobil, 2017
- ³⁰ LNG supply outlook 2016 to 2030, CEE Analytics and Modeling, A. Flower, July 2016
- ³¹ 2017 World LNG Report, International Gas Union, 2017 edition, <https://www.igu.org>
- ³² World LNG Trade 2015 & Outlook 2016, Global LNG Info, June 2016, <http://www.globallnginfo.com>
- ³³ An overview of the world LNG market and Canada's potential for exports of LNG, Canadian association of petroleum producers, january 2014

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	148/149

- ³⁴ LNG Shipping Market Review & Forecast, Drewry Maritime research, annual report 2012, november 2012
- ³⁵ IAEA, Nuclear power reactors in the world, reference data series No.2, 2017 edition
- ³⁶ BP energy outlook 2017 edition, www.bp.com/energyoutlook/
- ³⁷ The big, green, clean machine – a nuclear renaissance update for the titanium industry, D. Schumerth, Proc. International Titanium Association, Titanium 2009, Waikoloa, Hawai, USA
- ³⁸ OTEC Océanothermie, David Levrat, rapport ingénieur ENSEIHT 2003, juin 2004 révisée octobre 2004.
- ³⁹ OTEC Technology- A World of Clean Energy and Water, R. Magesh, Proc. of the World Congress on Engineering 2010 Vol II, WCE 2010, June 30 - July 2, 2010, London, U.K.,
http://www.iaeng.org/publication/WCE2010/WCE2010_pp1618-1623.pdf
- ⁴⁰ 2007 Survey of Energy Resources World Energy Council 2007,
www.worldenergy.org/documents/otec_country_notes.pdf
- ⁴¹ OTEC & TIDAL energy, P. Bansal, <http://www.che.iitm.ac.in/~sjayanti/presentations/final1.ppt>
- ⁴² Ocean thermal energy conversion : information needs assessment, National Oceanic & Atmospheric Administration, september 2012, <http://coastalmanagement.noaa.gov/otec/docs/otecassessment.pdf>
- ⁴³ Ocean thermal energy conversion : assessing potential physical, chemical and biological impacts and risks, National Oceanic & Atmospheric Administration, June 22-24, 2010,
http://crrc.unh.edu/sites/crrc.unh.edu/files/media/docs/Workshops/otec_2/OTECII_effects_withappendix.pdf
- ⁴⁴ Annual report, Ocean Energy Systems, 2016, <https://report2016.ocean-energy-systems.org/>
- ⁴⁵ http://www.otecnews.org/wp-content/uploads/2013/11/Ikegami_Mutair_Saga_University.pdf
- ⁴⁶ BASF Report 2016, Forecast opportunities and risk report, p.111
- ⁴⁷ Global Opportunies for the Chinese Chemical Industry, ATKearney & CPCIF, April 2017
- ⁴⁸ International Desalination Association and Global Water Intelligence Release New Data in 30th Worldwide Desalting Inventory, <http://idadesal.org/>
- ⁴⁹ Water Desalination Market Size and Forecast, By Technology (Reverse Osmosis, Multi-Stage Filtration, Multi-Effect Distillation), By Source (Seawater, Brackish Water, Wastewater), And Trend Analysis, 2014 – 2025, Market Research Report, Gran Vue Research, June 2017, <http://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/water-desalination-equipment-market>
- ⁵⁰ Implantable Medical Devices Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, and Forecast 2016 – 2024, Transparency Market Research, August 2016
- ⁵¹ Le marché du titane métal: comment bâtir une stratégie d’approvisionnement à court, moyen et long termes, P.-F. Louvigné, convention n°2004-00290-00-07, novembre 2007
- ⁵² Opportunities for low cost titanium in reduced fuel consumption, improved emissions, and enhanced durability heavy-duty vehicle, EHK Technologies, Juillet 2002, www.ehktechnologies.com
- ⁵³ Titanium in automotive production, Olivier Schauerter, Volkswagen AG Wolfsburg, Advanced Engineering Materials June 2003,5,N°6, p.411-418.
- ⁵⁴ Toyota MIRAI Fuel Cell Vehicle and Progress Toward a Future Hydrogen Society, Toshihiko Yoshida, The Electrochemical Society Interface, Summer 2015, 45-49
- ⁵⁵ Rutile and its applications in earth sciences, G. Meinhold, Earth-Science Reviews 102 (2010), 1-28
- ⁵⁶ A review of the production cycle of titanium dioxide pigment, M. Gazquez, J. Bolivar, R. Garcia-Tenorio and F. Vaca, Materials Sciences and Applications, 2014, 5, 441-458
- ⁵⁷ A new method for production of titanium dioxide pigment, S. Middlemas, Z. Fang and P. Fan, Hydrometallurgy 131-132 (2013), 107-113
- ⁵⁸ Chemistry and mineralogy of titania-rich slags. Part 1 – Hemo-ilmenite; sulphate a,d upgraded titania slags, M. Guéguin and F. Gardarelli, Mineral Processing & Extractive Metall. Rev., 28, 2007, 1-58,
- ⁵⁹ Outlook of Japan’s titanium industry 2013, S. Higuchi, Proc. International Titanium Conference, October 6-9 2013, Las Vegas, Nevada, USA
- ⁶⁰ Summary of emerging titanium cost reduction technologies, EHK Technologies, January 2004
- ⁶¹ Impact des différents scenarii d’évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d’approvisionnement à l’horizon 2005-2010, P.-F. Louvigné, conv. n°01830007, MINEFI, DGEMP/DIREM, Novembre 2003
- ⁶² Non-melt processing of “low-cost” Armstrong titanium and titanium alloys powders, W. Peter, Proc. of the Light Metals Technology Conference 2007

Classification : Non confidentiel – Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2015 – 2017	Page
Bon de commande N° 1403251092 du 26/11/2015	149/149

⁶³ Novel processing to produce Ti and Ti alloy powders on a continuous basis, J. C. Withers, Proc. International Titanium Association, Titanium 2009, Waikoloa, Hawaiï, USA

⁶⁴ Production of Titanium Metal by an Electrochemical Molten Salt Process, F. Fatollali-Frad, theses, May 2017

⁶⁵ Innovative process for manufacturing hydrogenated titanium powder for solid state production of P/M titanium alloy components, O. Ivasishin, Proc. International Titanium Conference, Titanium 2010, Orlando, Florida, USA

⁶⁶ Titanium—an opportunity and challenge for South Africa. The 7th International Heavy Minerals Conference ‘What next’, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, D.S. van Vuuren, 2009

⁶⁷ Separation of Ultra High Purity Alpha Titanium Sponge (>98%) from Titanium dioxide by Direct Reduction, J. Ephraïm, Proc. International Titanium Association, Titanium Europe 2014, Sorrento, Italy, May 19-21, 2014

⁶⁸ http://fr.wikipedia.org/wiki/Fabrication_additive

⁶⁹ Friction stir welding and hybrid laser welding provide new solutions for titanium manufacturing, J. Bernath, Proc. International Titanium Association, Titanium 2009, Waikoloa, Hawaiï, USA

⁷⁰ Ocean Thermal Energy Corporation, <http://www.otecorporation.com>

⁷¹ A high performance titanium sheet for plate type heat exchanger, D. Hayashi, Proc. International Titanium Conference, Titanium 2010, Orlando, Florida, USA

⁷² Ocean Energy System working group 11 on OTEC: <http://tidalenergytoday.com/2017/06/19/global-map-of-otec-plants-comes-to-light/>

⁷³ China Titanium Metal Import & Export Trends, F. Faizulla, Proc. International Titanium Association, Titanium 2007, Orlando, Florida, USA