

**EDITION PUBLIQUE**

**Rapport final**

Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014

**Pierre-François LOUVIGNÉ**

-

Étude réalisée pour le compte du

**Ministère de l'Écologie, du développement durable et de l'Énergie**

*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*

Bons de commande N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014

**Décembre 2014**

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	2/150

## SOMMAIRE

<i>Introduction</i>	<b>9</b>
<i>PREMIERE PARTIE: Evolution de la demande</i>	<b>14</b>
<b>I Evolution du prix des matières premières</b>	<b>15</b>
<b>I.1 Marché libre européen</b>	<b>15</b>
<b>I.2 Marché intérieur chinois</b>	<b>19</b>
<b>I.3 Marché intérieur américain</b>	<b>20</b>
<b>II Evolution du prix des lingots &amp; des produits titane</b>	<b>22</b>
<b>III Evolution de la demande mondiale de titane</b>	<b>25</b>
<b>III.1 Évolution de la demande aux USA</b>	<b>27</b>
<b>III.2 Évolution de la demande en CEI</b>	<b>31</b>
<b>III.3 Évolution de la demande en Chine</b>	<b>33</b>
<b>III.4 Évolution de la demande au Japon</b>	<b>36</b>
<b>III.5 Évolution de la demande en Europe</b>	<b>38</b>
<b>IV Perspectives pour le marché aéronautique</b>	<b>40</b>
<b>IV.1 Avions de ligne (capacité supérieure à 100 sièges)</b>	<b>41</b>
IV.1.1 Airbus & Boeing	42
IV.1.2 COMAC : émergence de la concurrence aéronautique chinoise	47
IV.1.3 AOK : renouveau de l'industrie aéronautique en CEI	48
<b>IV.2 Avions régionaux (avion jusqu'à 130 à 149 sièges)</b>	<b>49</b>
IV.2.1 Embraer (Brésil)	49
IV.2.2 Bombardier (Canada)	50
IV.2.3 Mitsubishi (Japon)	50
IV.2.4 Avic Commercial Aircraft Corporation (Chine)	51
IV.2.5 Programmes russes d'avions régionaux	51
<b>V Perspectives pour le marché « Défense »</b>	<b>51</b>
<b>V.1 Domaine terrestre</b>	<b>53</b>
V.1.1 Blindages	53
V.1.2 Applications structurales	53
<b>V.2 Aéronautique militaire</b>	<b>54</b>
V.2.1 Programmes aéronautiques militaires en cours	54
V.2.2 Nouveaux programmes aéronautiques militaires	55
<b>V.3 Domaine naval militaire</b>	<b>57</b>
<b>VI Perspectives pour les applications industrielles</b>	<b>57</b>
<b>VI.1 Production d'énergie</b>	<b>58</b>

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	Page
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	3/150

VI.1.1	Pétrole _____	59
VI.1.2	Gaz naturel (dont GNL) _____	60
VI.1.3	Nucléaire _____	61
VI.1.4	Énergie thermique des mers : technologie OTEC _____	63
<b>VI.2</b>	<b>Chimie</b> _____	<b>65</b>
<b>VI.3</b>	<b>Dessalement</b> _____	<b>66</b>
<b>VII</b>	<b><i>Perspectives pour le marché des biens de consommation</i></b> _____	<b>68</b>
<b>VII.1</b>	<b>Applications grand public : sport, lunetterie, luxe &amp; électronique nomade</b> _____	<b>68</b>
<b>VII.2</b>	<b>Médical</b> _____	<b>69</b>
<b>VII.3</b>	<b>Transports terrestres</b> _____	<b>70</b>
<b>VII.4</b>	<b>Constructions navales civiles : marine marchande, yacht &amp; plaisance</b> _____	<b>71</b>
<b>VII.5</b>	<b>Architecture</b> _____	<b>72</b>
	<b><i>DEUXIEME PARTIE: Evolution de l'Offre</i></b> _____	<b>74</b>
<b>VIII</b>	<b><i>Eponge de titane</i></b> _____	<b>75</b>
<b>VIII.1</b>	<b>Évolution des capacités mondiales de production d'éponge</b> _____	<b>75</b>
VIII.1.1	Éponge de qualité aéronautique _____	79
<b>VIII.2</b>	<b>Évolution de la production d'éponge</b> _____	<b>79</b>
<b>IX</b>	<b><i>Lingots &amp; demi-produits en titane</i></b> _____	<b>81</b>
<b>IX.1</b>	<b>Évolution des capacités de production de lingot</b> _____	<b>81</b>
<b>IX.2</b>	<b>Évolution de la production de lingot et de ½ produits en titane</b> _____	<b>82</b>
<b>IX.3</b>	<b>Faits marquants de l'offre en lingot &amp; demi-produits</b> _____	<b>83</b>
<b>X</b>	<b><i>Nouveaux procédés d'extraction</i></b> _____	<b>87</b>
<b>X.1</b>	<b>Procédé FFC</b> _____	<b>88</b>
<b>X.2</b>	<b>Procédé Armstrong</b> _____	<b>89</b>
<b>X.3</b>	<b>Procédé MER</b> _____	<b>90</b>
<b>X.4</b>	<b>Procédé JTS</b> _____	<b>90</b>
<b>X.5</b>	<b>Poudres d'hydrure de titane (procédé HDH)</b> _____	<b>91</b>
<b>X.6</b>	<b>Procédé TiRO</b> _____	<b>92</b>
<b>X.7</b>	<b>Procédé CSIR</b> _____	<b>92</b>
<b>X.8</b>	<b>Procédé Bradford</b> _____	<b>93</b>
<b>XI</b>	<b><i>Innovations dans les procédés de mise en œuvre</i></b> _____	<b>93</b>
<b>XI.1</b>	<b>Technologies de fabrication additive</b> _____	<b>93</b>
<b>XI.2</b>	<b>Méthodes par consolidation directe de poudre</b> _____	<b>94</b>
<b>XI.3</b>	<b>Développements dans les technologies de soudage</b> _____	<b>95</b>

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	Page
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	4/150

<b>XII</b>	<b><i>Recyclage &amp; Valorisation des déchets</i></b>	<b>95</b>
<b>XII.1</b>	<b><i>Capacités de recyclage</i></b>	<b>96</b>
<b>XII.2</b>	<b><i>Production de scrap de titane</i></b>	<b>97</b>
<b>XII.3</b>	<b><i>Volumes de scrap de titane recyclés dans la filière titane</i></b>	<b>98</b>
<b>XII.4</b>	<b><i>Consommation de scrap de titane par les autres filières métallurgiques</i></b>	<b>99</b>
	<i>Troisième PARTIE: Equilibre Offre-Demande</i>	<b>101</b>
<b>XIII</b>	<b><i>Synthèse de l'évolution de la demande mondiale</i></b>	<b>102</b>
<b>XIV</b>	<b><i>Analyse de l'équilibre offre – demande</i></b>	<b>103</b>
<b>XV</b>	<b><i>CONCLUSION</i></b>	<b>106</b>
	<b><i>ANNEXES</i></b>	<b>111</b>
<b>XVI</b>	<b><i>ANNEXE : Techniques de fusion à foyer froid</i></b>	<b>112</b>
<b>XVII</b>	<b><i>ANNEXE : Historique du prix de l'éponge</i></b>	<b>114</b>
<b>XVIII</b>	<b><i>ANNEXE : Historique du prix du ferrotitane 70%</i></b>	<b>115</b>
<b>XIX</b>	<b><i>ANNEXE : scénarii d'évolution du prix des matières premières</i></b>	<b>116</b>
<b>XX</b>	<b><i>ANNEXE : références historiques de prix des matières premières</i></b>	<b>117</b>
<b>XXI</b>	<b><i>ANNEXE : Offre-demande usa (2010 – 2013)</i></b>	<b>118</b>
<b>XXII</b>	<b><i>ANNEXE : Import – Export USA (2010 – 2013)</i></b>	<b>120</b>
<b>XXIII</b>	<b><i>ANNEXE : Consommation de titane par secteur en Chine</i></b>	<b>123</b>
<b>XXIV</b>	<b><i>ANNEXE : Exportations et importations du Japon</i></b>	<b>124</b>
<b>XXV</b>	<b><i>ANNEXE : Emploi des composites dans les avions de nouvelle génération</i></b>	<b>126</b>
<b>XXVI</b>	<b><i>ANNEXE : Evolution du prix du barril de pétrole</i></b>	<b>127</b>
<b>XXVII</b>	<b><i>ANNEXE : Historique de production d'Airbus et Boeing</i></b>	<b>128</b>
<b>XXVIII</b>	<b><i>ANNEXE : Prises de commande d'Airbus et de Boeing</i></b>	<b>129</b>
<b>XXIX</b>	<b><i>ANNEXE : Backlog de commande Airbus &amp; Boeing</i></b>	<b>130</b>
<b>XXX</b>	<b><i>ANNEXE : Age moyen des équipements militaires US</i></b>	<b>131</b>
<b>XXXI</b>	<b><i>ANNEXE : Nacelle du futur avion chinois C919</i></b>	<b>132</b>
<b>XXXII</b>	<b><i>ANNEXE : Evolution de la flotte active d'avion</i></b>	<b>133</b>
<b>XXXIII</b>	<b><i>ANNEXE: Blindages en titane</i></b>	<b>134</b>
<b>XXXIV</b>	<b><i>ANNEXE : Canon Howitzer 155mm châssis en titane</i></b>	<b>135</b>
<b>XXXV</b>	<b><i>ANNEXE: Châssis en titane pour le futur véhicule FCS</i></b>	<b>136</b>
<b>XXXVI</b>	<b><i>ANNEXE : Avion de chasse chinois</i></b>	<b>137</b>

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	Page
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	5/150

<i>XXXVII ANNEXE : Programmes nucléaires</i>	<i>138</i>
<i>XXXVIII ANNEXE: Energie thermique des océans (OTEC)</i>	<i>139</i>
<i>XXXIX ANNEXE: Capacités mondiales de production d'éponge</i>	<i>142</i>
<i>XL ANNEXE : Technologie de Production d'éponge</i>	<i>143</i>
<i>XLI ANNEXE : Standards de qualité d'éponge de titane</i>	<i>144</i>
<i>XLII ANNEXE: Procédé de traitement de l'éponge de titane</i>	<i>146</i>
<i>XLIII ANNEXE: Mise en forme des poudres ADMA (HDH)</i>	<i>147</i>
<i>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</i>	<i>148</i>

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	Page
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	6/150

## LISTE DE FIGURES

Figure 1: Prix de l'éponge de titane de qualité métallurgique sur le marché libre européen depuis 2008 (source : Metal Pages)	16
Figure 2: Évolution du prix du scrap de titane sur le marché libre européen [réf. 3]	17
Figure 3: Évolution du prix du FeTi70% sur le marché libre européen [réf. 3]	18
Figure 4: Comparaison du prix de l'éponge qualité métallurgique sur le marché chinois et sur le marché libre européen [réf. 10]	19
Figure 5: Comparaison du prix du ferrotitane sur le marché chinois et sur le marché libre européen [réf. 3]	20
Figure 6: Prix du ferrotitane et du scrap de titane (chutes soudables et coupeaux) sur le marché intérieur américain de 2002 à 2010 – en \$/lbs [réf.4]	21
Figure 7: Prix du ferrotitane et du scrap de titane (chutes soudables et coupeaux) sur le marché intérieur américain de 2011 à 2014 – en \$/lbs	21
Figure 8: Prix du lingot de TA6V aux USA en \$/lbs entre 2001 et 2010 [réf.4]	22
Figure 9: Prix du lingot de TA6V aux USA en \$/lbs entre 2011 et 2014	23
Figure 10: Prix aux USA (\$/lbs) de produits en titane : 1°) Tôle TA6V, 2°) Barre TA6V, 3°) Tôle CP, 4°) Barre CP (réf. [4])	23
Figure 11: Evolution de la consommation mondiale de titane (en volume)	26
Figure 12: Evolution comparée de la consommation de titane par secteur (en volume)	27
Figure 13: Consommation et stock de mat. 1 <sup>ères</sup> et production de lingots aux USA [réf.7]	29
Figure 14: Stocks industriels de matières 1 <sup>ères</sup> et de lingots aux USA [réf.7]	29
Figure 15: Ratio d'emploi éponge/scrap pour la production de lingot aux USA [réf.7]	30
Figure 16: Importation et consommation de matières premières aux USA	31
Figure 17: Évolution de la consommation de titane sur le marché intérieur en CEI [réf.8]	32
Figure 18: Évolution de la consommation de titane du secteur industriel en CEI [réf.8]	32
Figure 19: Consommation de titane sur le marché intérieur chinois par secteur 2010-2013 [réf. 9,10]	33
Figure 20: Import – Export de produits en titane comparé à la consommation intérieure en Chine [réf.10]	35
Figure 21: Import-Export d'éponge de titane en Chine [réf.10]	35
Figure 22: Consommation de titane au Japon par secteur [réf. 12]	36
Figure 23: Ratio consommation intérieure/export au Japon [réf. 12]	37
Figure 24: Exportations d'éponge du Japon [réf. 12]	38
Figure 25: Évolution de la consommation de titane dans le secteur aéronautique	41
Figure 26: Évolution du pourcentage d'avions parqués [réf.17]	42
Figure 27: Arrière de production pour Airbus et Boeing au 31/10/2014 (backlog)	43
Figure 28: Besoin en titane par modèle pour l'ensemble de l'arrière de production d'Airbus et de Boeing	44
Figure 29: Prévision de consommation de titane d'Airbus et de Boeing	46
Figure 30: Prévision de production annuelle d'avion pour Airbus et Boeing	46
Figure 31: Consommation de titane pour le secteur aéronautique en CEI [réf.8]	48
Figure 32: Prévision de la consommation en titane des programmes d'avions régionaux	49
Figure 33: Évolution de la consommation de titane dans les applications militaires	52
Figure 34: Principaux programmes aéronautiques militaires russes [réf. 8]	55
Figure 35: Consommation de titane dans le secteur « Industrie »	58
Figure 36: Évolution des besoins énergétiques mondiaux en Btu – juillet 2013 [réf.28]	59
Figure 37: croissance de la production mondiale de gaz naturel [réf.28]	61
Figure 38: Evolution des capacités de production d'énergie nucléaire dans le Monde [réf.29]	62
Figure 39: Réacteurs nucléaires en construction dans le Monde en 2014 [réf.37]	63
Figure 40: Evolution de la production chimique en Chine et en Amérique latine	66
Figure 41: Evolution de la consommation de titane dans le secteur des biens de consommation	68
Figure 42: Consommation de titane dans le secteur automobile au Japon [réf.12]	71
Figure 43: Consommation de titane en architecture au Japon [réf.12]	72
Figure 44: Évolution des capacités mondiales de production d'éponge par pays	75

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	Page
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	7/150

<i>Figure 45: Évolution des capacités de production d'éponge de qualité aéronautique</i>	79
<i>Figure 46: Évolution de la production mondiale d'éponge de titane</i>	80
<i>Figure 47: Capacité et de la production effective mondiale d'éponge</i>	81
<i>Figure 48: Évolution des capacités de fusion de lingot de titane par pays</i>	82
<i>Figure 49: Capacité théorique de fusion et production effective de lingot de titane</i>	83
<i>Figure 50: Production chinoise par type de produit</i>	87
<i>Figure 51: Production et recyclage de scrap de titane dans la filière</i>	99
<i>Figure 52: Offre et demande en ferrosrap de titane</i>	100
<i>Figure 53: Évolution de la consommation mondiale de titane (scenario de référence)</i>	102
<i>Figure 54: Equilibre offre-demande pour l'éponge</i>	104
<i>Figure 55: Equilibre offre-demande pour la production de lingot</i>	104
<i>Figure 56: Principe du procédé de fusion par faisceau d'électron EB (source Timet)</i>	112
<i>Figure 57: Principe du procédé de fusion par torches plasma PAM (source: Timet)</i>	113
<i>Figure 58: Évolution du prix de l'éponge de qualité métallurgique entre 2005 et 2007 [réf.3]</i>	114
<i>Figure 59: Évolution du prix du ferrotitane 70% entre 2002 et 2007 [réf.3]</i>	115
<i>Figure 60: Exportations de produits titane du Japon par secteur [réf. 12]</i>	124
<i>Figure 61: Importation d'éponge du Japon [réf. 12]</i>	125
<i>Figure 62: Importation de produits titane du Japon [réf. 12]</i>	125
<i>Figure 63: Utilisation des matériaux composites et des métaux dans l'A350 et le B787</i>	126
<i>Figure 64: Évolution du prix du pétrole entre 1980 et 2014 et projection au-delà [réf.15]</i>	127
<i>Figure 65: Corrélation entre le prix du pétrole et le retrait du service des avions [réf.18]</i>	127
<i>Figure 66: Historique des livraisons annuelles d'avion d'Airbus et Boeing</i>	128
<i>Figure 67: Historique des prises de commande d'Airbus et de Boeing</i>	129
<i>Figure 68: Évolution de l'arriéré de production (backlog) d'Airbus et de Boeing</i>	130
<i>Figure 69: Inventaire et âge moyen des équipements militaires américains [réf. 22]</i>	131
<i>Figure 70: Nouvelle technologie de nacelle « moteur » de l'avion chinois C919</i>	132
<i>Figure 71: Évolution de la flotte active d'avion tous types confondus</i>	133
<i>Figure 72: Exemples de kits de protection balistique en titane [réf. 24]</i>	134
<i>Figure 73: Châssis en titane et exemple de pièce de fonderie en titane du canon d'artillerie Howitzer de 155mm [réf.25]</i>	135
<i>Figure 74: Projet de châssis en titane pour la plateforme commune des véhicules du "Futur Combat System" de l'Armée américaine</i>	136
<i>Figure 75: Le J-11, avion de chasse chinois assemblé sous licence Sukhoï Su-27SK</i>	137
<i>Figure 76: Part du nucléaire dans les ressources énergétiques mondiales [réf.32]</i>	138
<i>Figure 77: Principe de la technologie OTEC,</i>	139
<i>Figure 78: Capacité de production d'éponge par pays en 2014</i>	142
<i>Figure 79: Procédé de traitement de l'éponge de titane chez VSMPO-AVISMA (Russie)</i>	146
<i>Figure 80: Mise en forme et transformation de produits titane élaborés à partir de TiH2 [réf. 56]</i>	147

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	Page
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	8/150

## LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1: Production de minerais de titane en 2013 (x1.000 tonnes équivalent TiO<sub>2</sub> [réf.2]).....</i>	10
<i>Tableau 2: Consommation mondiale de titane (2003-2013).....</i>	26
<i>Tableau 3: Consommation de titane aux USA [réf.7].....</i>	28
<i>Tableau 4: Consommation de titane sur le marché intérieur chinois [réf. 9,10].....</i>	33
<i>Tableau 5: Évolution de la consommation de titane en Europe.....</i>	38
<i>Tableau 6: Importation d'éponge et de produits en titane en Europe [réf.13,14].....</i>	39
<i>Tableau 7: Exportation d'éponge et de produits en titane depuis l'Europe [réf.13,14].....</i>	39
<i>Tableau 8: Nouveaux programmes aéronautiques entre 2010 et 2025.....</i>	40
<i>Tableau 9: Quantité moyenne de titane approvisionnée par famille d'avion.....</i>	43
<i>Tableau 10: Hypothèses d'évolution des cadences de production mensuelles d'Airbus et de Boeing (entre parenthèse = période du changement de cadence).....</i>	45
<i>Tableau 11: Principaux programmes aéronautiques militaires aux USA.....</i>	54
<i>Tableau 12: Cadences de production annuelles du F-35 (Joint Strike Fighter) [réf.26].....</i>	56
<i>Tableau 13: Consommation de scrap de titane aux USA [réf.7].....</i>	96
<i>Tableau 14: Estimation de la production mondiale de scrap de titane.....</i>	98
<i>Tableau 15: Estimation des volumes de scrap de titane recyclés dans la filière.....</i>	98
<i>Tableau 16: Mécanisme d'évolution des prix et de la disponibilité des matières premières selon l'état du marché.....</i>	116
<i>Tableau 17: Prix des matières premières en fonction de l'équilibre offre-demande.....</i>	117
<i>Tableau 18: Offre-demande sur le marché intérieur américain en 2010 – 2011 [réf.7].....</i>	118
<i>Tableau 19: Offre-demande sur le marché intérieur américain en 2012 - 2013 [réf.2].....</i>	119
<i>Tableau 20: Importations de titane des USA en 2010 – 2011 [réf. 7].....</i>	120
<i>Tableau 21: Importations de titane des USA en 2012 – 2013 [réf. 7].....</i>	121
<i>Tableau 22: Exportation des USA en 2010 - 2011 [réf. 7].....</i>	122
<i>Tableau 23: Exportation de titane des USA en 2012 – 2013 [réf.7].....</i>	122
<i>Tableau 24: Consommation de titane détaillée par secteur en Chine [réf. 10].....</i>	123
<i>Tableau 25: Réacteurs nucléaires en service et en cours de construction [réf.37].....</i>	138
<i>Tableau 26: Projets OTEC dans le Monde (juin 2014) [réf.64].....</i>	141
<i>Tableau 27 : Comparaison des différentes technologies de production d'éponge [Réf.65].....</i>	143
<i>Tableau 28: Standards de qualité des éponges chinoises, japonaises.....</i>	145

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	9/150

## INTRODUCTION

Le titane est un élément métallique découvert en 1791 par Sir William Gregor<sup>1</sup>, pasteur britannique et géologue amateur. Révélé sous une forme d'un oxyde métallique (ilménite,  $\text{FeTiO}_2$ ), 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  $\text{TiCl}_4$  par du sodium fût 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.

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 faible conductivité thermique, un faible coefficient de dilatation linéaire et une faible conductivité électrique.

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 famille d'alliage est aujourd'hui disponible pour couvrir les besoins industriels.

Le titane est le 9<sup>ème</sup> élément le plus abondant sur Terre (0.44% à 0.6% de la croûte terrestre, selon les estimations) et se classe 4<sup>ème</sup> dans la liste des métaux après le fer, l'aluminium et le magnésium. Il est extrait de minerais, principalement d'ilménite ( $\text{FeTiO}_3$  – réserve mondiale<sup>a</sup> estimée à 700 millions de tonnes<sup>2</sup> d'équivalent  $\text{TiO}_2$ ) et de rutilé ( $\text{TiO}_2$  – réserve mondiale estimée à 48 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 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 7,55 millions de tonne d'ilménite et de rutilé en 2013 [réf.2], seulement quelques pour cent

---

<sup>a</sup> Réserve naturelle présentant un potentiel d'extraction économiquement rentable

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	10/150

ont été utilisés pour produire de l'éponge de titane<sup>b</sup>. La grande majorité de la production est utilisée dans l'industrie du pigment, en particulier comme agent de blanchiment du papier et des peintures. Le minerai est également utilisé sous forme de ferrotitane<sup>c</sup> à faible teneur en titane ou transformé en carbures et autres composés chimiques.

Les chiffres de l'exploitation minière d'ilménite et de rutilite en 2013 sont présentés dans le tableau suivant :

<i>(en milliers de tonnes d'équivalent TiO<sub>2</sub>)</i>	Ilménite	Rutilite
Afrique du Sud	1.100	120
Chine	950	
Australie	940	450
Canada	770	
Vietnam	500	
Mozambique	480	9
Madagascar	430	
Ukraine	410	60
Norvège	400	
Inde	340	26
Sierra Leone		90
Brésil	45	2
Autres	425	10
Total Monde	6.790	770

**Tableau 1: Production de minerais de titane en 2013 (x1.000 tonnes équivalent TiO<sub>2</sub> [réf.2])**

Dans la filière de production du titane métal, le TiO<sub>2</sub> est transformé en TiCl<sub>4</sub> 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 TiCl<sub>4</sub> et de la complexité des traitements chimiques.

Le MgCl<sub>2</sub> 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).

<sup>b</sup> Matière première de la filière « titane métal », voir page suivante

<sup>c</sup> Élément d'addition pour la sidérurgie

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	11/150

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<sup>d</sup> 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.

Les lingots de titane sont en général transformés par forgeage à chaud et usinage pour obtenir des demi-produits sous forme de brames<sup>e</sup>, bloom<sup>f</sup> ou billette<sup>g</sup>. 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.

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.

Cependant, de nouvelles techniques permettant d'obtenir plus directement des pièces proches des cotes finies sont actuellement utilisées ou en cours de développement, en particulier en métallurgie des poudres.

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.

Les propriétés mécaniques du titane et sa faible densité le rendent en particulier intéressant pour toutes les applications structurales nécessitant un allègement<sup>h</sup> : aéronautique,

---

<sup>d</sup> Voir annexe XVI

<sup>e</sup> Lingot transformé, de section rectangulaire, servant à fabriquer les tôles

<sup>f</sup> Lingot transformé, de section carrée, destiné aux laminoirs

<sup>g</sup> Lingot transformé, barre servant à fabriquer des produits longs

<sup>h</sup> Performances spécifiques élevées (propriété mécanique rapportée à la densité)

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	12/150

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.

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	13/150

## *Première Partie : Évolution de la demande*

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	14/150

## *PREMIERE PARTIE: EVOLUTION DE LA DEMANDE*

### CHAPITRE I

**Résumé :** Fin 2014, les effets de la crise de 2008 sont encore perceptibles sur la demande en titane. Globalement en croissance, la demande garde un caractère instable et cyclique, typique d'un marché peu mature. Stimulée par d'excellentes perspectives à moyen et long terme, la consommation est soumise à des variations brusques liées à la conjoncture économique. Entre 2003 et 2008, le marché a connu une croissance de 14%/an et a dépassé 100.000 t/an. Revenu à un niveau comparable en 2014, les perspectives de consommation jusqu'en 2020 sont à la hausse avec un taux moyen de 5,75%/an et un volume de 160.000 t/an.

Le titane est utilisé pour sa légèreté, ses bonnes propriétés mécaniques et sa résistance à la corrosion. C'est un matériau incontournable pour l'aéronautique, la production industrielle en environnement sévère, la défense et certains biens de consommation. Il tire profit de la croissance de la demande mondiale dans le transport aérien, du développement industriel et des besoins en ressources naturelles des pays émergents.

Dans l'aéronautique, la croissance de la demande bénéficie d'un double effet volume : l'augmentation de cadences de production d'une part et la quantité plus importante de titane utilisée dans les nouvelles générations d'avion.

Pour les applications industrielles, les besoins sont particulièrement importants dans le domaine de la chimie, de l'énergie et de l'eau potable.

Dans le domaine militaire, les volumes consommés sont moins importants mais ils sont stratégiques pour de nombreuses applications. En baisse dans les pays occidentaux à cause de la réduction globale de budgets de Défense, la consommation de titane progresse en Chine et en Russie.

Enfin, l'emploi du titane dans les biens de consommation reste très en deçà du potentiel en raison de son prix élevé. C'est dans le domaine du médical que le développement est le plus fort. Le titane étant biocompatible, c'est un matériau de choix pour les implants et les prothèses.

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	15/150

## 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 production<sup>i</sup>. 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 depuis janvier 2008. En annexe, l'historique des prix antérieur à 2008 est donné dans la Figure 58. Pour exploiter utilement de ces données économiques il convient de prendre en compte les commentaires suivants :

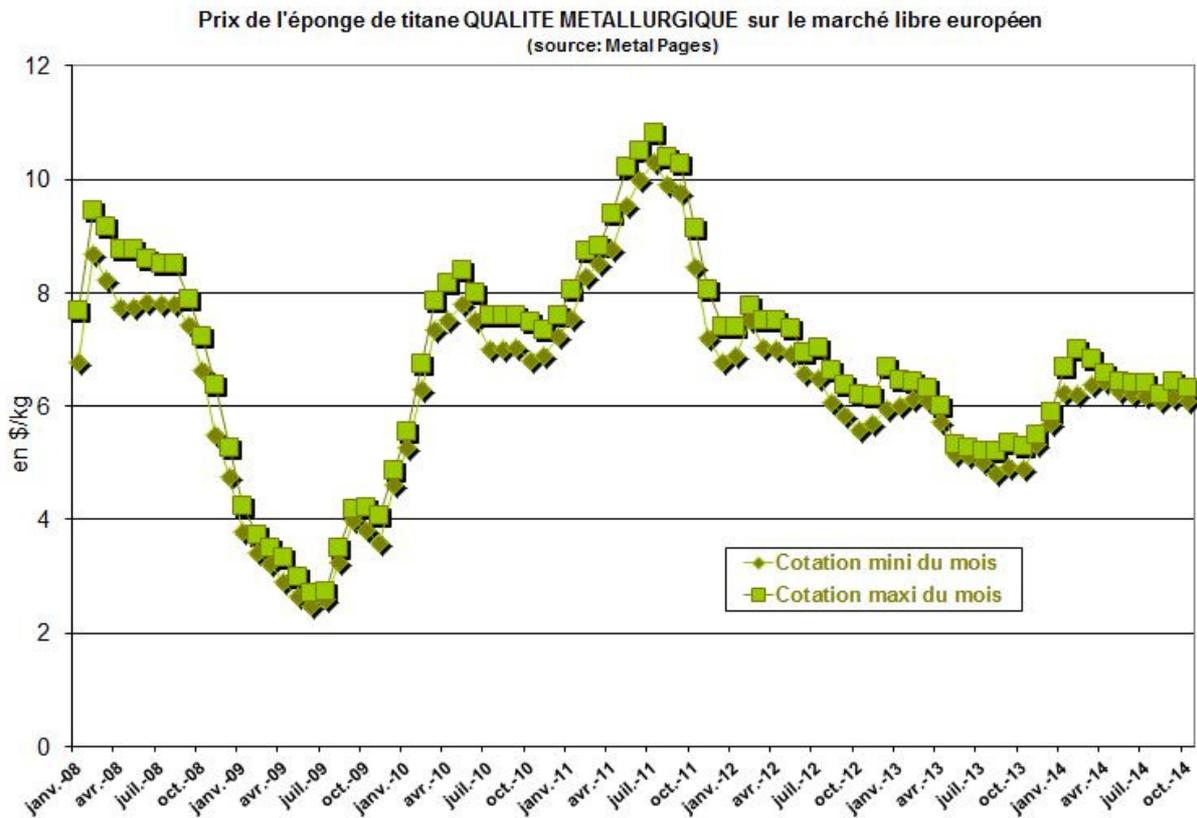
- 1°) les prix sont ceux de l'éponge de qualité dite « métallurgique » c'est-à-dire celle approvisionnée pour les applications titane courante et pour la consommation sidérurgique ;
- 2°) l'éponge de qualité supérieure destinée aux applications aéronautique critique (qualité PQ « Premium Quality») n'est 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

<sup>i</sup> Principalement pour les aciers « bas carbone »

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	Page
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	16/150

généralement sur plusieurs années avec des niveaux de prix révisables annuellement. Il convient également de souligner que, pour des producteurs de titane intégrés verticalement<sup>j</sup>, 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 de qualité métallurgique sur le marché libre européen depuis 2008 (source : Metal Pages<sup>3</sup>)**

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<sup>ème</sup> trimestre 2008 et le 4<sup>ème</sup> trimestre 2009 due à la crise des *subprimes* aux USA ;
- Reprise progressive de la demande jusqu'au 3<sup>ème</sup> trimestre 2011 où elle rechute ;
- Au 3<sup>ème</sup> trimestre 2014, les indicateurs d'activité aux USA repassent au vert et la demande redémarre nettement dans le domaine aéronautique favorisée par le

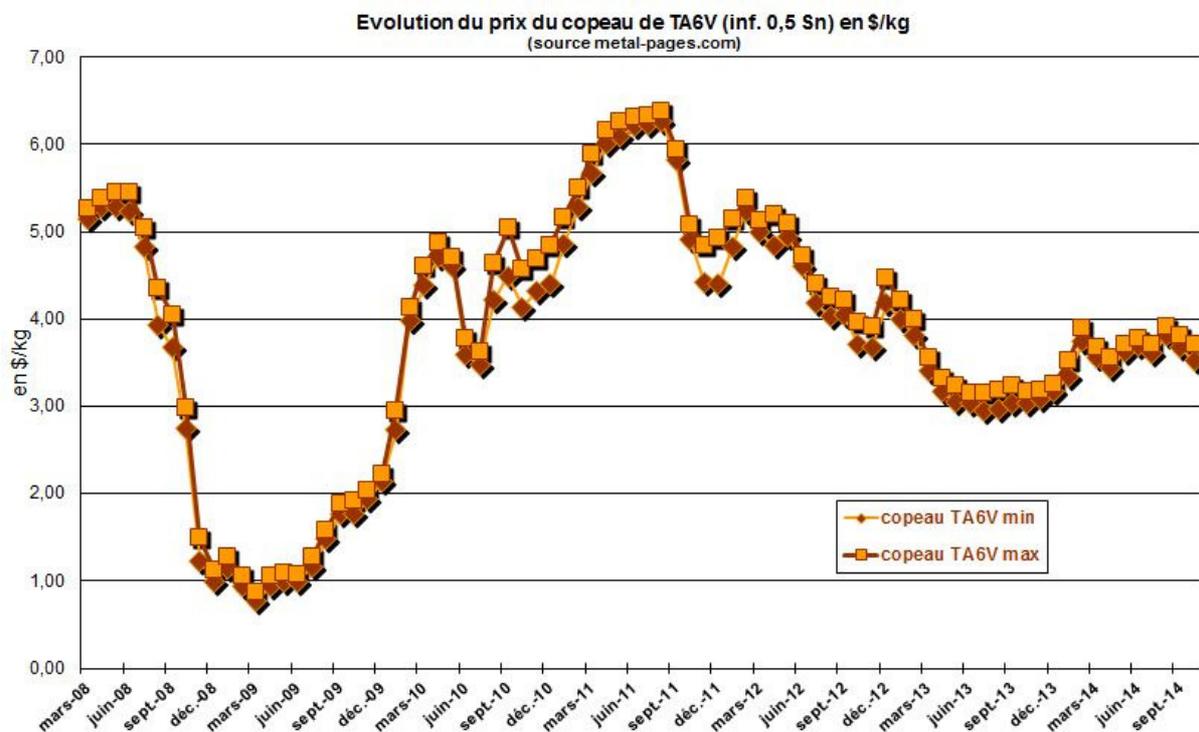
<sup>j</sup> Producteur contrôlant les différentes étapes du processus de production, depuis l'éponge jusqu'aux produits finaux.

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	17/150

report sur l'industrie américaine au détriment de la Russie (effet de la crise ukrainienne). En Europe, l'effet sur les prix commence à apparaitre fin 2014.

### ⇒ 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%. Cette qualité est compatible d'une 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.



**Figure 2: Évolution du prix du scrap 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 59. 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.

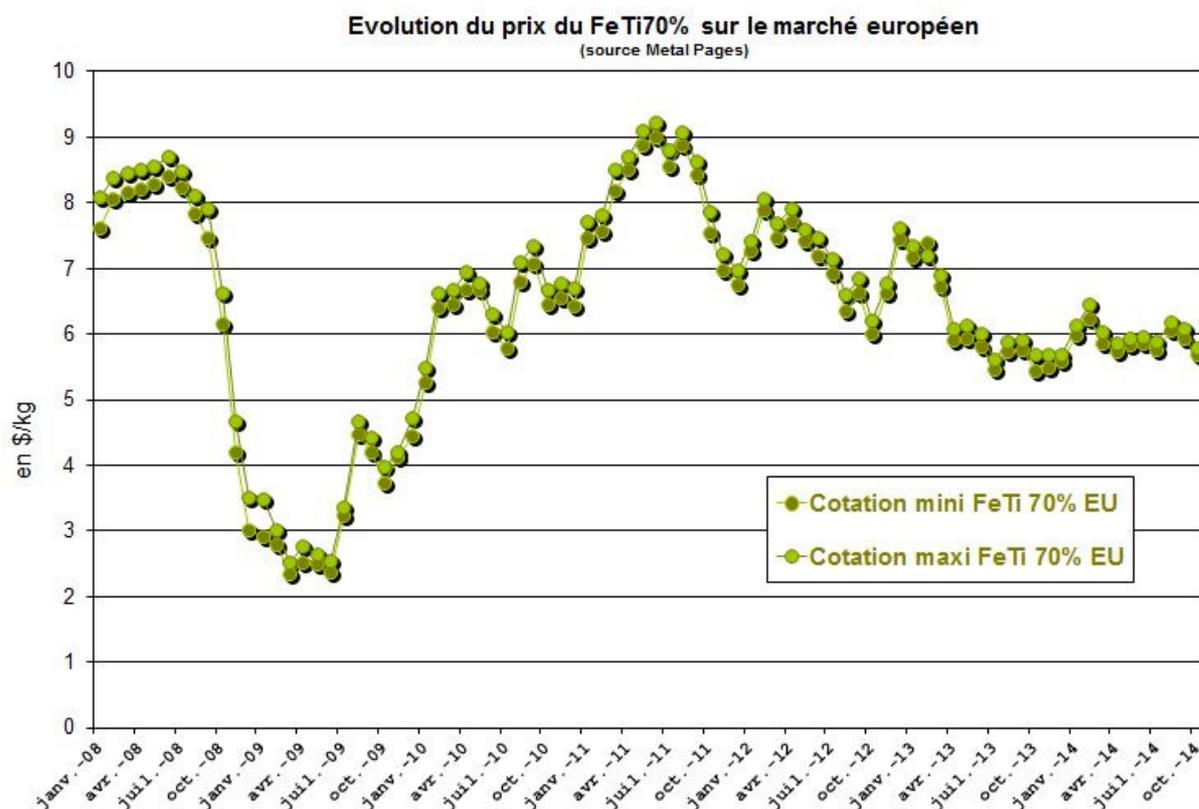


Figure 3: Évolution du prix du FeTi70% sur le marché libre européen [réf. 3]

⇒ Mécanismes économiques liant le prix des matières premières

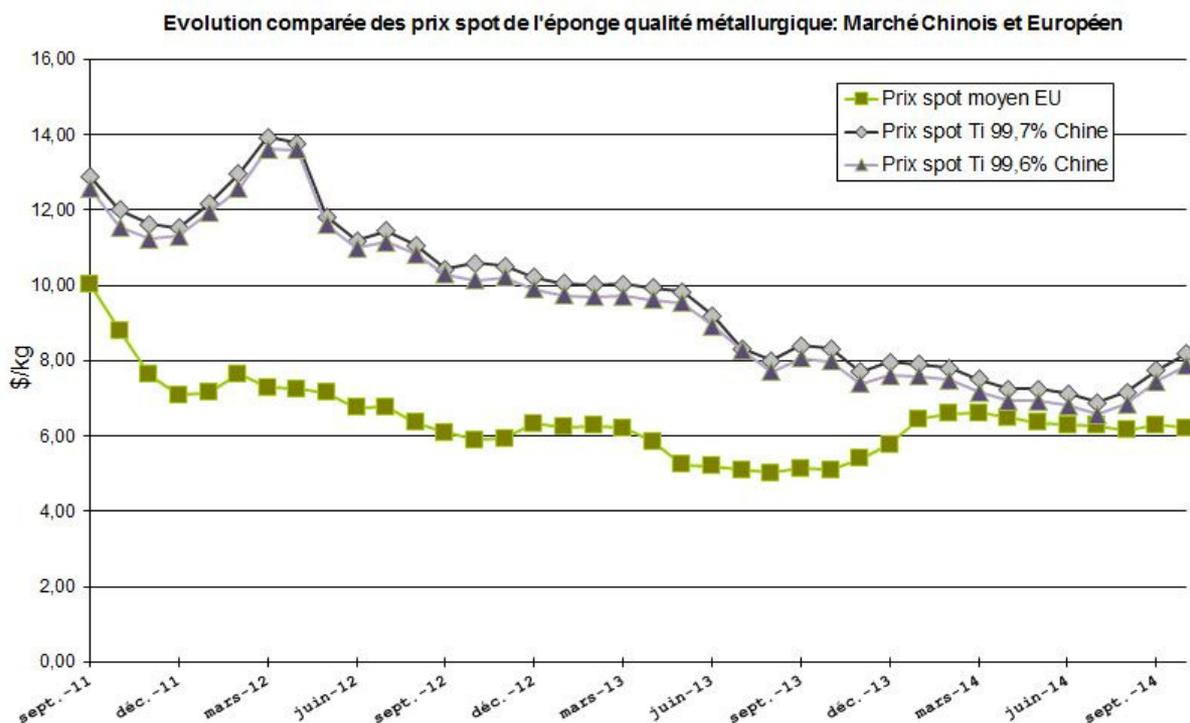
Dans le but de comprendre l'évolution des prix des matières premières de la filière titane, nous présentons dans le Tableau 16 présenté en annexe des scénarii « génériques » qui illustrent les mécanismes de l'offre et de la demande. Ils sont basés sur l'analyse des prix depuis 2003 et tentent de dégager 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 17 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

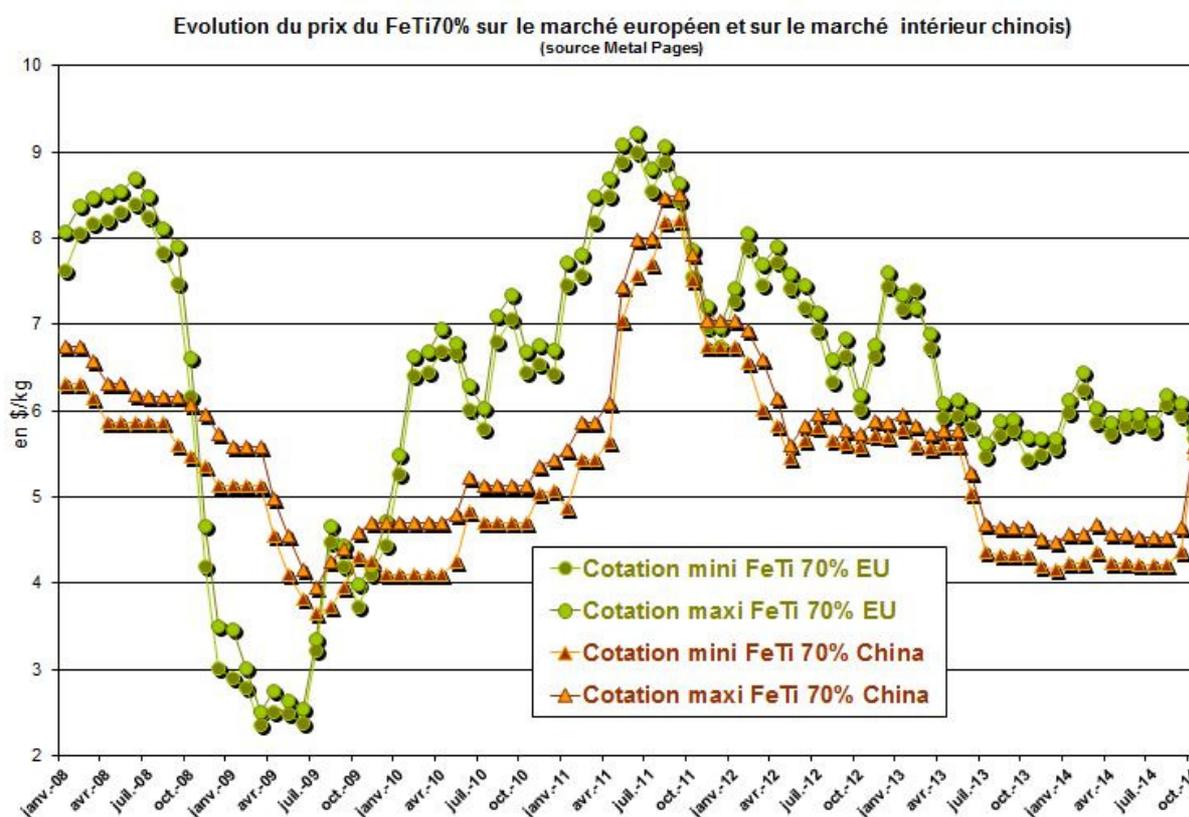
La Figure 4 donne l'évolution comparative des prix pour de l'éponge de qualité métallurgique sur le marché intérieur chinois et sur le marché libre européen. Pour l'éponge chinoise, nous utilisons les cotations des éponges de qualité 99,6% et 99,7% publiées par Metal-Pages [réf.3] et qui correspondent 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: Comparaison du prix de l'éponge qualité métallurgique sur le marché chinois et sur le marché libre européen [réf. 10]**

### ⇒ 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.

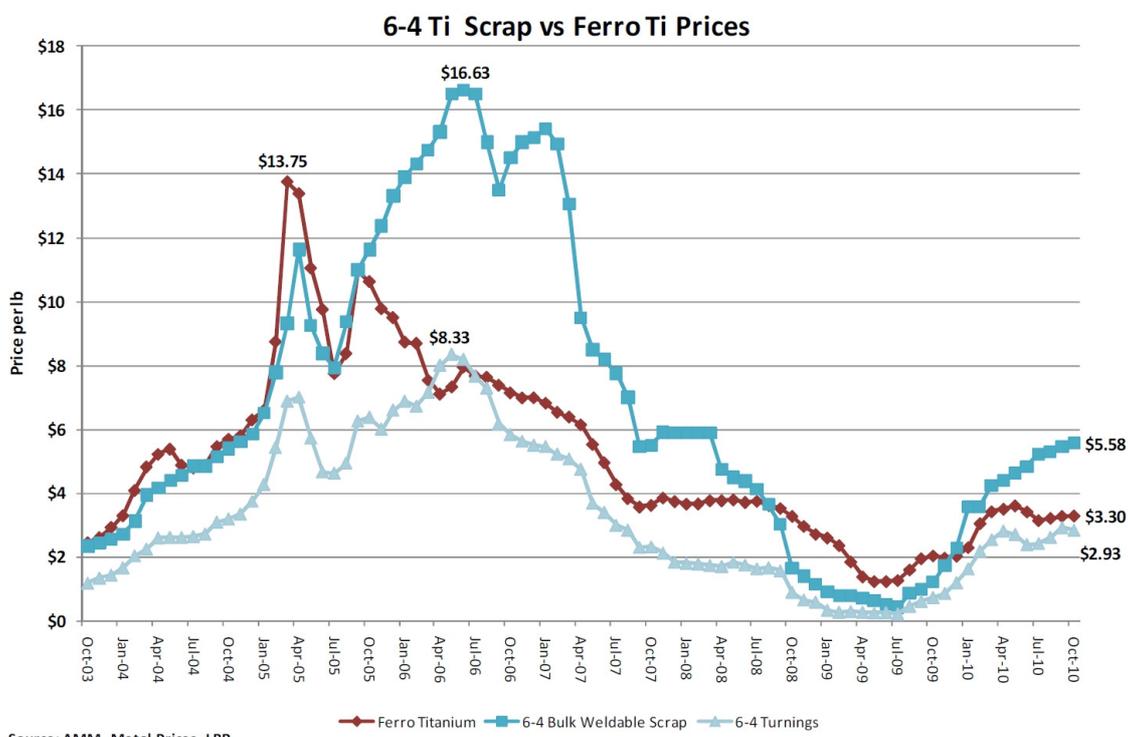


**Figure 5: Comparaison du prix du ferrotitane sur le marché chinois et sur le marché libre européen [réf. 3]**

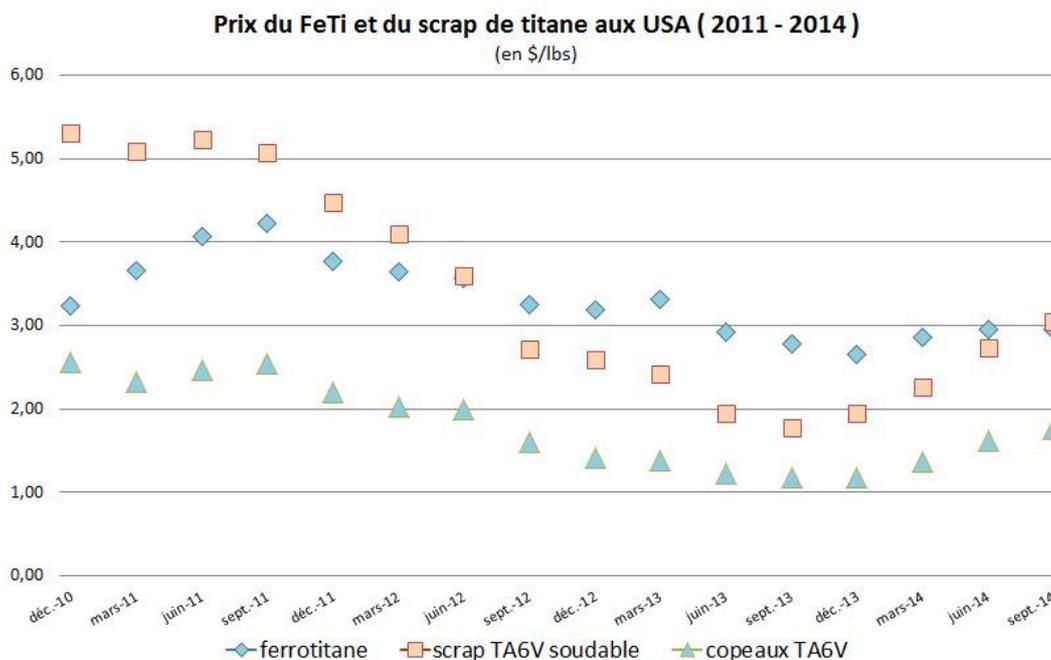
### I.3 Marché intérieur américain

Nous présentons dans les Figure 6 et Figure 7 l'évolution des prix<sup>k</sup> de différentes qualités de scrap et de celui du ferrotitane 70% sur le marché américains<sup>4</sup>. L'éponge de qualité métallurgique n'est pas cotée aux USA.

<sup>k</sup> Les prix sont donnés en \$/lbs (multiplier par 2,2 pour obtenir le prix en \$/kg)



**Figure 6: Prix du ferrotitane et du scrap de titane (chutes soudables et coupeaux) sur le marché intérieur américain de 2002 à 2010 – en \$/lbs [réf.4]**

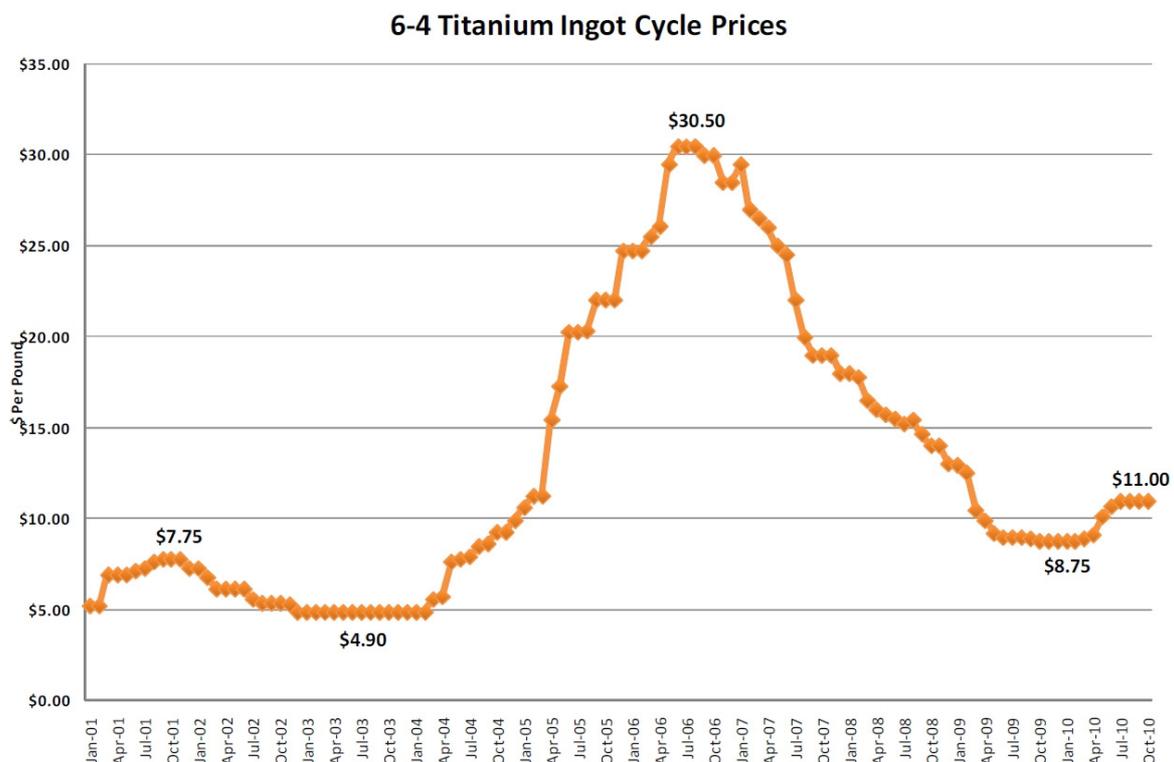


**Figure 7: Prix du ferrotitane et du scrap de titane (chutes soudables et copeaux) sur le marché intérieur américain de 2011 à 2014 – en \$/lbs**

Si l'on compare les niveaux de prix<sup>1</sup> 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<sup>m</sup> ». 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 bonne corrélation entre les prix de ces deux matières.

## II EVOLUTION DU PRIX DES LINGOTS & DES PRODUITS TITANE

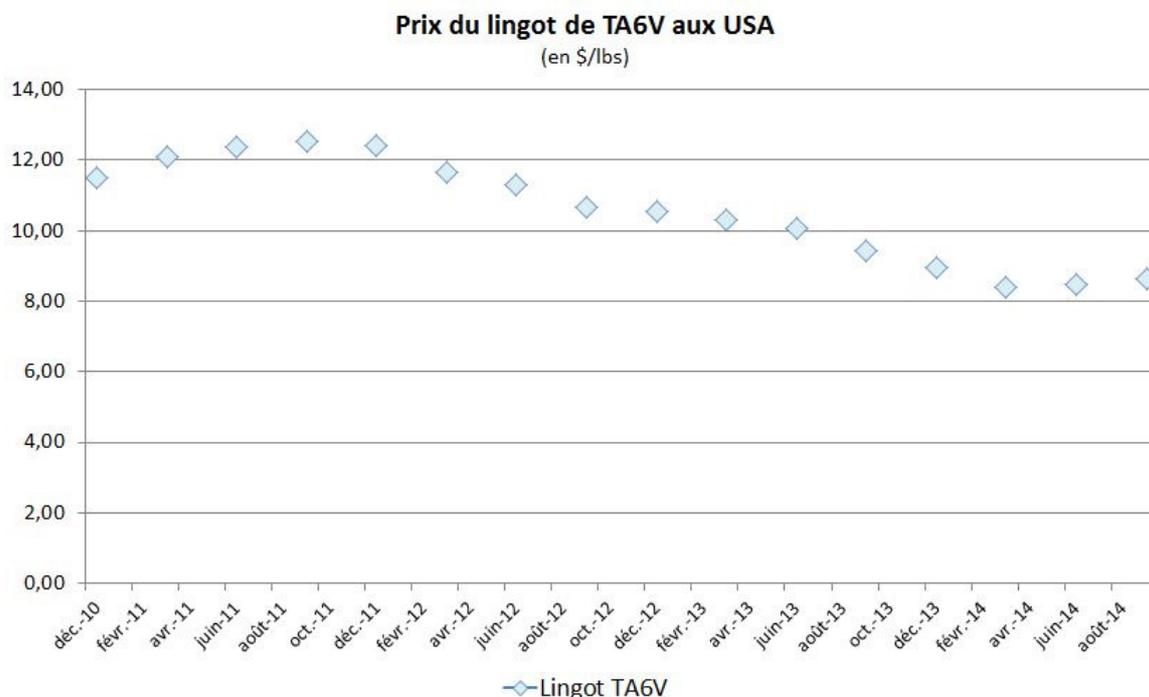
Nous présentons dans les figures suivantes l'évolution des prix en \$/lbs du lingot de TA6V et de différents demi-produits titane sur le marché intérieur américain. Ces chiffres sont tirés de différentes sources d'information publiant des cotations régulières<sup>5,6</sup> et mis en forme par le cabinet de consulting Longbow Research (ref. [4]). Les données sur la période 2010 – 2014 sont issues de la présente étude.



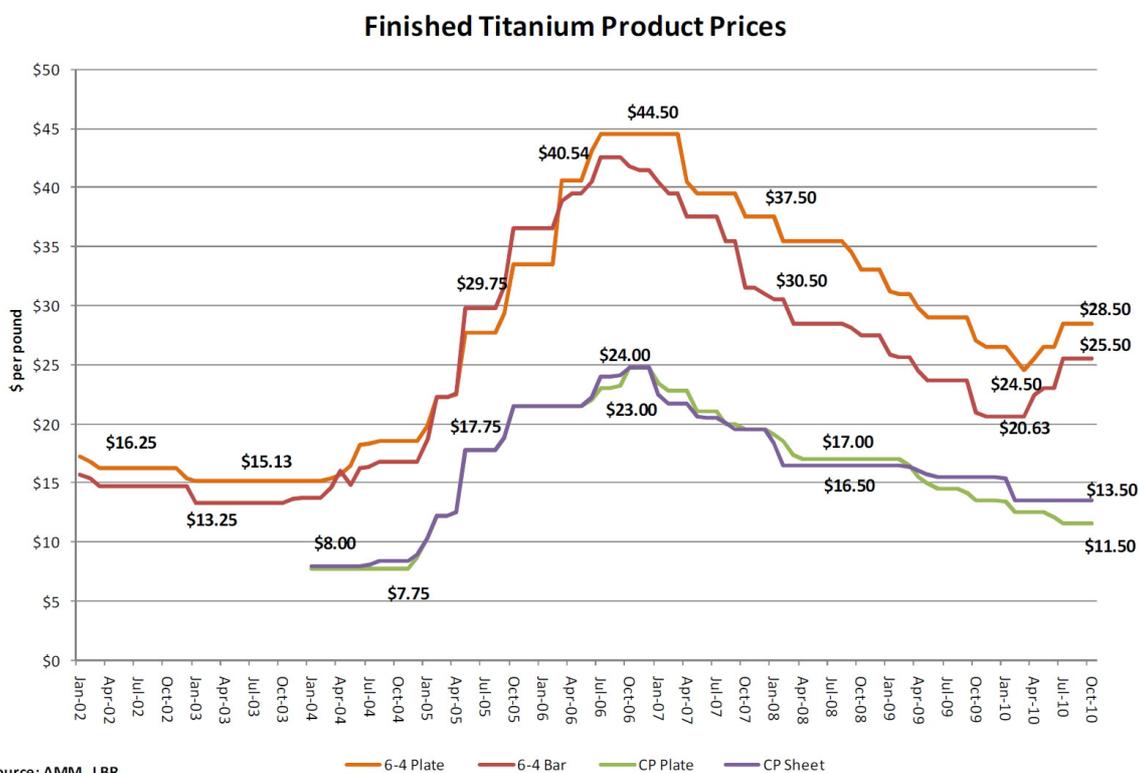
**Figure 8: Prix du lingot de TA6V aux USA en \$/lbs entre 2001 et 2010 [réf.4]**

<sup>1</sup> Attention, les prix européens sont en \$/kg et les prix US en \$/lbs

<sup>m</sup> Voir Annexe I



**Figure 9: Prix du lingot de TA6V aux USA en \$/lbs entre 2011 et 2014**



Source: AMM, LBR

**Figure 10: Prix aux USA (\$/lbs) de produits en titane : 1°) Tôle TA6V, 2°) Barre TA6V, 3°) Tôle CP, 4°) Barre CP (réf. [4])**

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	24/150

Le TA6V étant l'alliage le plus utilisé dans le secteur aéronautique, on voit que l'évolution de son prix est directement liée aux aléas de la conjoncture économique. En comparaison, les variations de prix des produits en titane pur ou faiblement allié (qualité CP – « *commercially pure* ») sont moins marquées car ces nuances subissent une pression concurrentielle forte des fournisseurs européens et asiatiques.

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	25/150

### III EVOLUTION DE LA DEMANDE MONDIALE DE TITANE

Nous présentons dans le Tableau 2 et les Figure 11 et Figure 12 notre estimation de la consommation mondiale de titane sur la période 2003-2013. 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 SRAS<sup>n</sup> en 2003. Au 3<sup>ème</sup> trimestre 2008, l'industrie subit de plein fouet les effets de la crise des *subprimes* initiée aux Etats-Unis en juillet 2007. Les conséquences financières de cette crise sont encore présentes en 2014 mais l'impact sur la consommation de titane se traduit de façon différente selon les secteurs.

Le graphe de la Figure 11 met en évidence la forte variation enregistrée pour le secteur aéronautique qui, jusqu'en 2008, était parti sur un rythme de croissance très soutenu 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 IV.1.1). Depuis 2010, le secteur aéronautique n'a cessé de progresser mais à un rythme moins soutenu que lors du dernier cycle de croissance. L'effet attendu sur la consommation de titane des nouveaux programmes B787 (en production depuis fin 2010 mais peinant encore à atteindre la cadence cible de 10 avions/mois au 3<sup>ème</sup> trimestre 2014) et A350 (mise en production attendu pour 2015, cadence cible de 10 avions/mois pour 2019) reste encore à venir.

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 d'une nouvelle sorte de projet d'investissement dans le domaine du dessalement. Entre 2010 et 2013, la demande en titane a été exceptionnellement forte en raison des 2 super-projets de dessalement de Ras Az Zour et Yanbu III, en Arabie – Saoudite, qui ont dopé la consommation de titane de +12.000 t de titane au total.

La Figure 12 illustre bien la part de plus en plus faible du secteur « Défense » dans la consommation mondiale de titane. Après la crise de 2008, la consommation de titane a chuté dans le domaine militaire principalement en raison de la baisse des crédits de défense aux USA. Ce pays reste, de loin, le premier contributeur en termes de consommation de titane pour ce secteur mais la part de la Russie et la Chine pèse de plus en plus au niveau mondial.

<sup>n</sup> Syndrome Respiratoire Aigu Sévère

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.

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

Tableau 2: Consommation mondiale de titane (2003-2013)

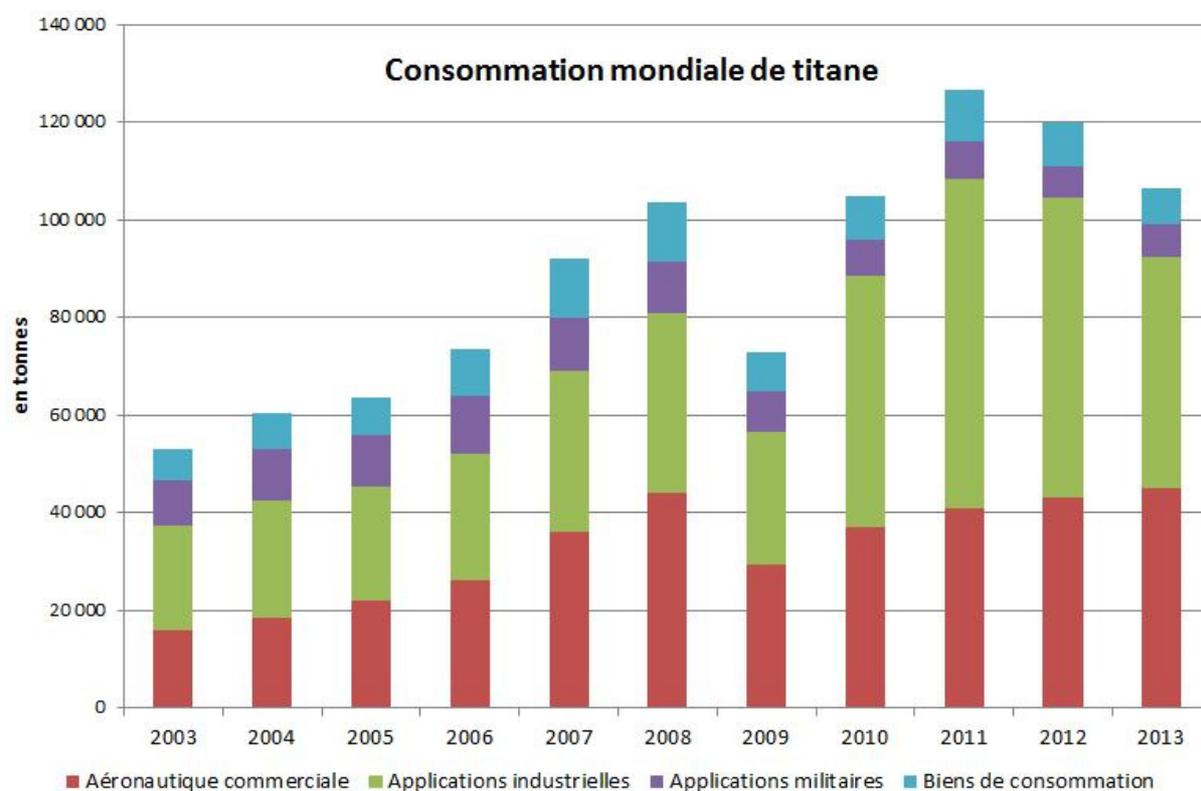
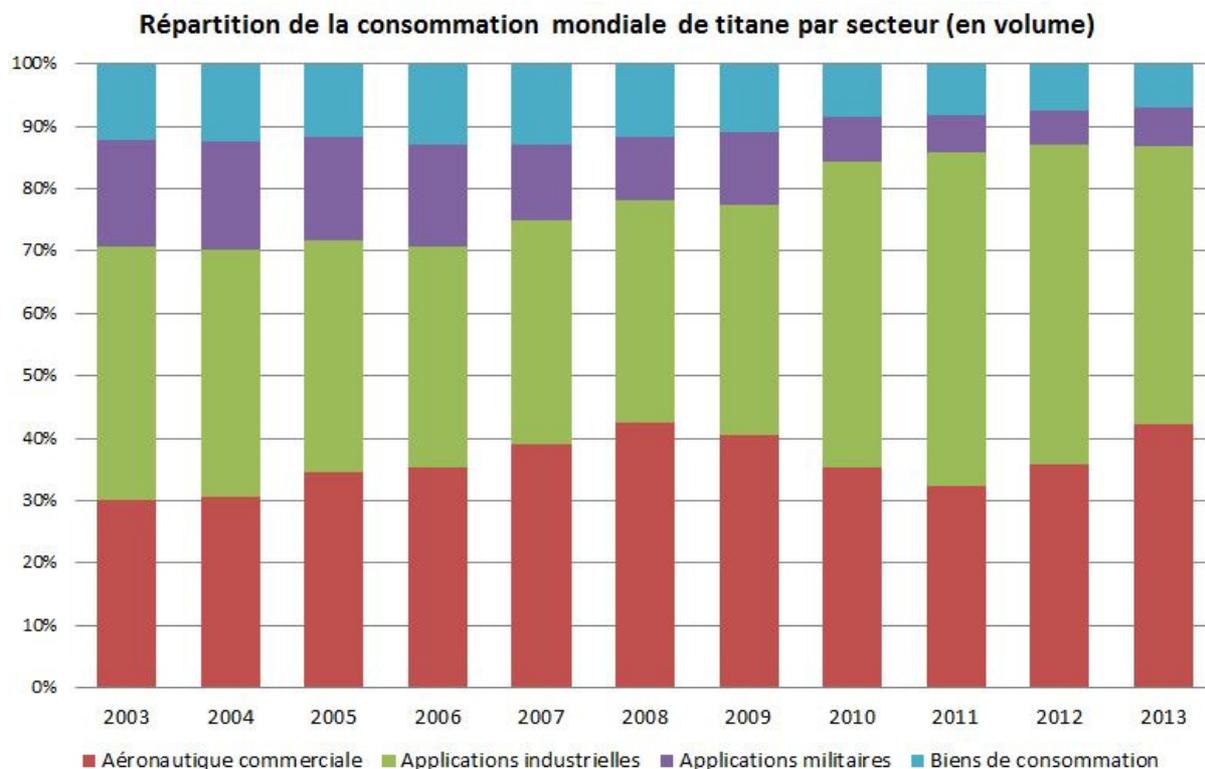


Figure 11: Evolution de la consommation mondiale de titane (en volume)



**Figure 12: Evolution comparée de la consommation de titane par secteur (en volume)**

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

### III.1 Évolution de la demande aux USA

Aucune statistique officielle ne détaille la consommation de titane aux États-Unis. Seules les données publiées<sup>7</sup> 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 totale. Vient ensuite le secteur des applications industrielles, puis les autres 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 repassée par un maximum en 2011 et devrait à nouveau rebondir en 2014.

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	28/150

<i>(en tonnes)</i>	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Consommation éponge	33.700	n.p. <sup>o</sup>	n.p	34.900	48.400	35.100	24.600
Consommation scrap	23.800	23.200	25.700	29.200	30.900	38.700	36.900
Consommation lingot	50.300	47.700	30.100	40.300	55.900	57.300	48.400
Consommation ½ produits	33.200	34.800	23.700	38.300	45.500	39.600	34.600

**Tableau 3: Consommation de titane aux USA [réf.7]**

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<sup>P</sup> 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.

La Figure 13 et Figure 14 mettent en évidence l’augmentation significative des stocks industriels de matières premières depuis une dizaine d’année aux USA alors que la production de lingot 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 réverses sont principalement constituées de matières importées (voir ci-dessous).

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 XVI). La Figure 15 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).

<sup>o</sup> Non-publié

<sup>P</sup> Aux USA, l’amendement Berry garantit la préférence nationale aux fournisseurs d’équipements et de systèmes pour les besoins de la Défense.

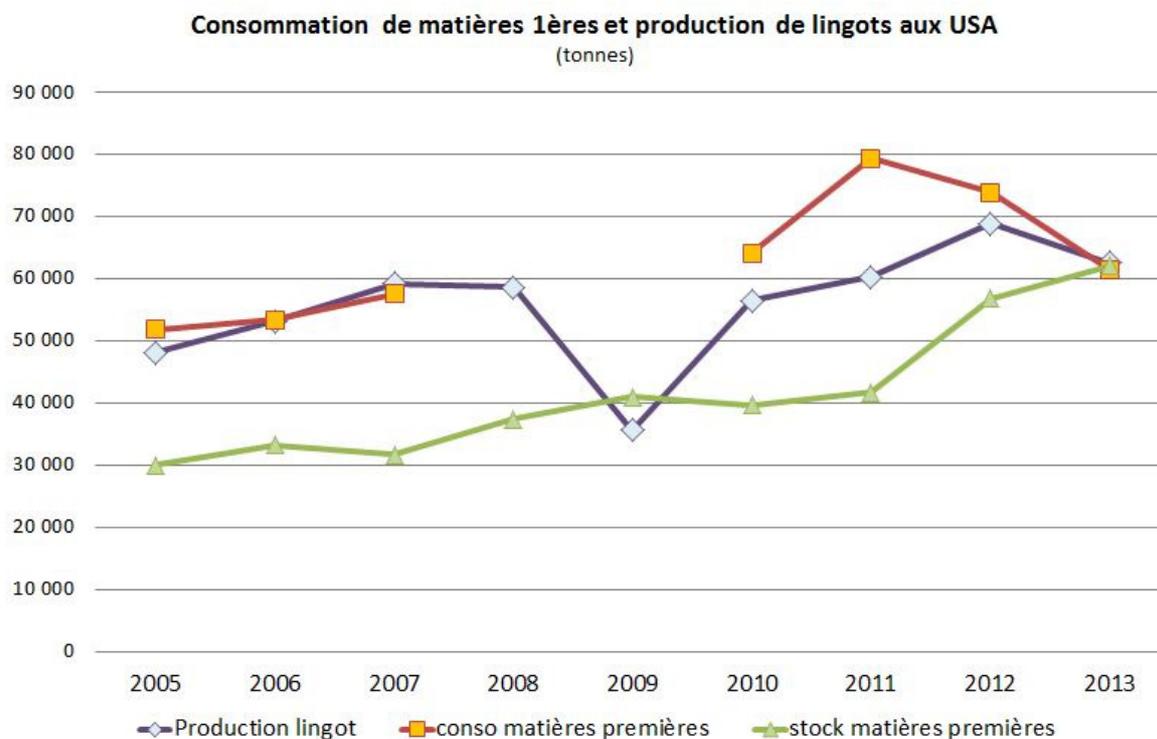


Figure 13: Consommation et stock de mat. 1ères et production de lingots aux USA [réf.7]

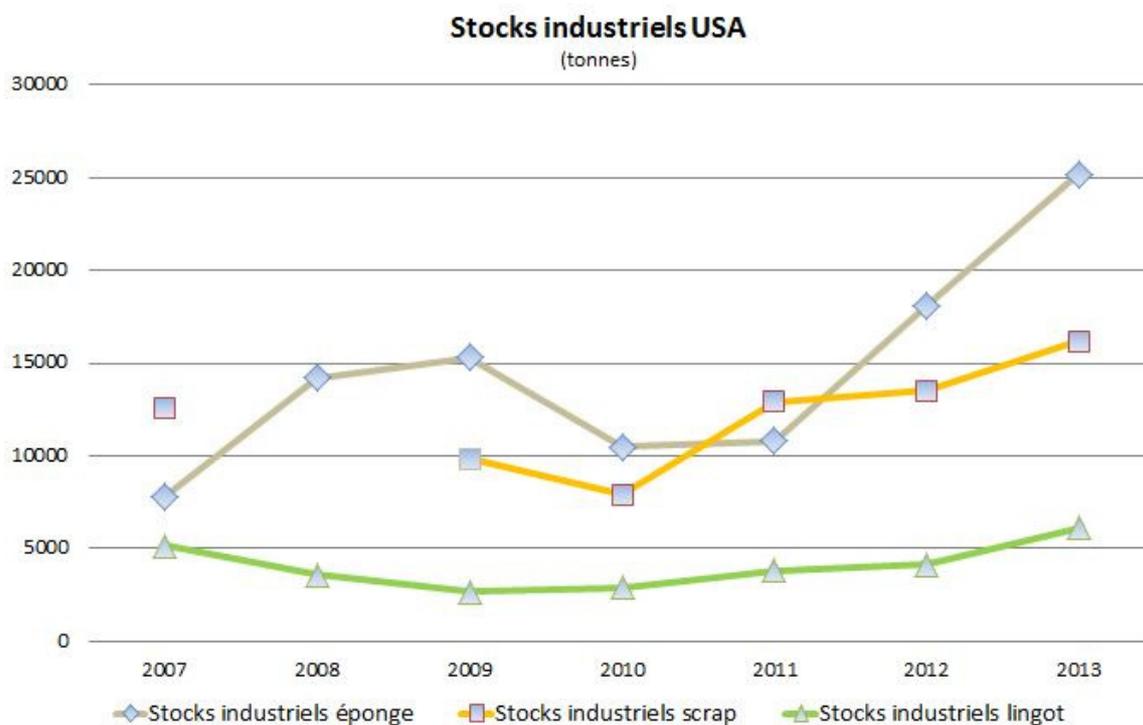
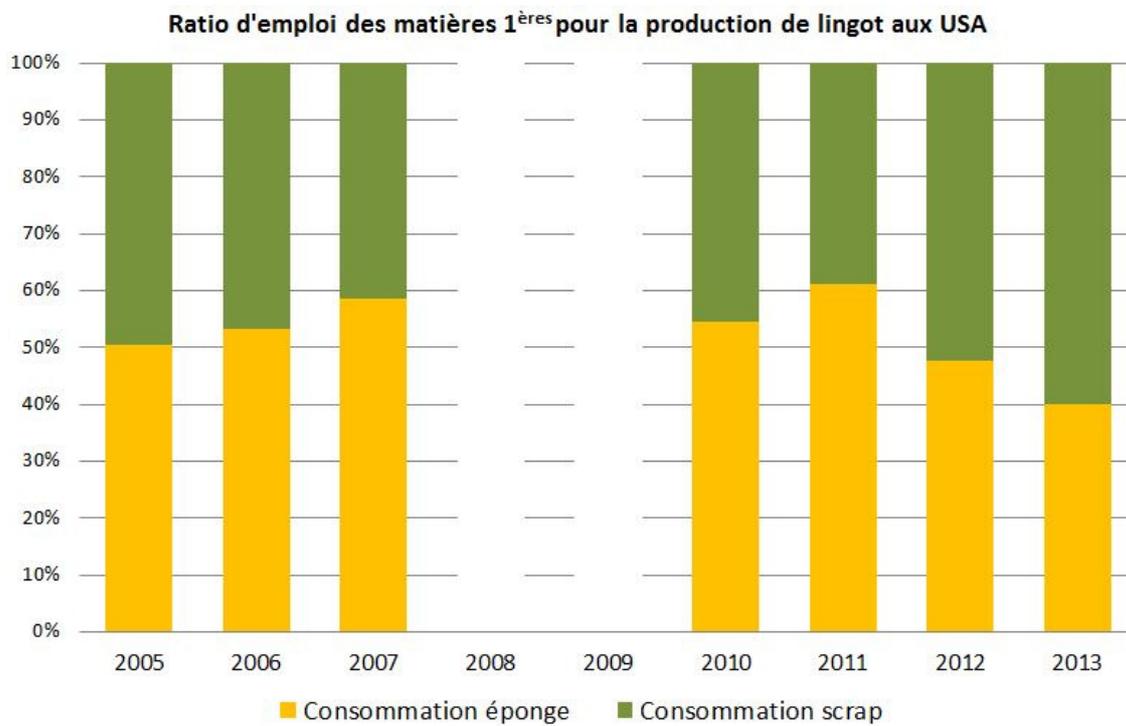


Figure 14: Stocks industriels de matières 1ères et de lingots aux USA [réf.7]



**Figure 15: Ratio d'emploi éponge/scrap pour la production de lingot aux USA [réf.7]**

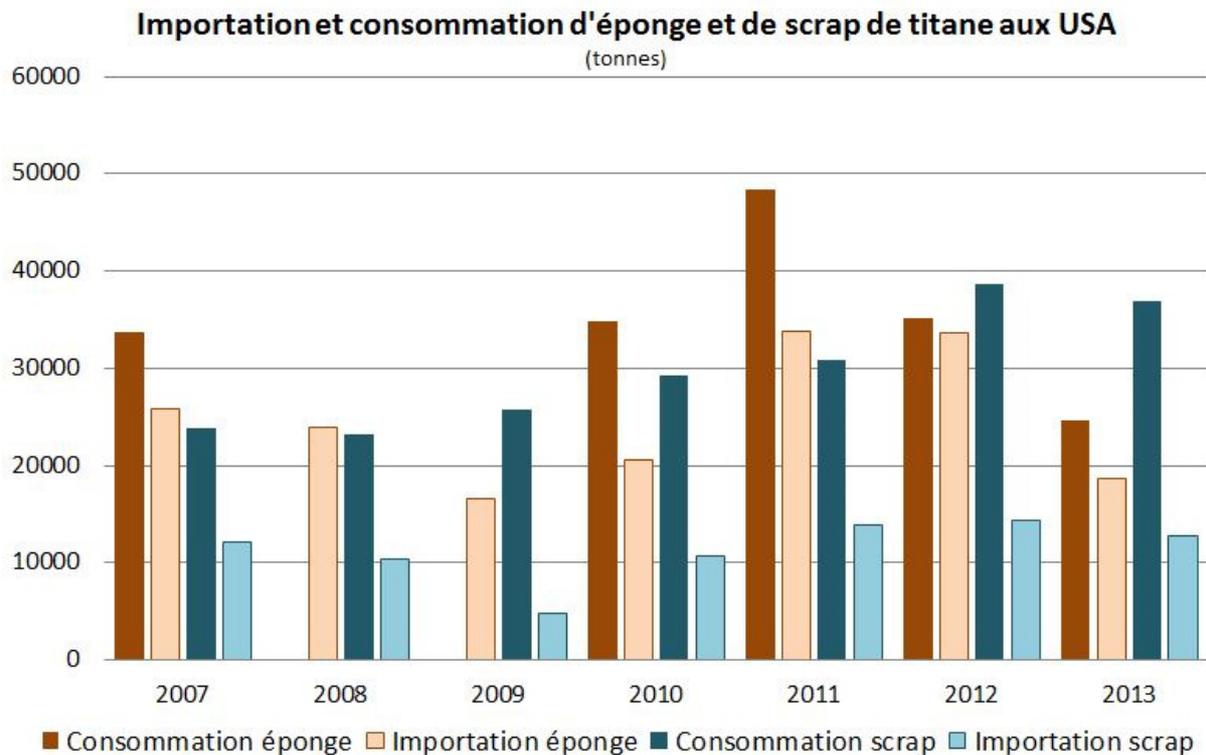
#### ⇒ Import – Export

Les données d'import – export des USA sont présentées en annexe XXII du Tableau 20 au Tableau 22. Elles révèlent les échanges importants concernant les matières premières :

- l'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 cessée car le producteur UKTMP s'est intégré verticalement (voir Chapitre IX). 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.

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	31/150



**Figure 16: Importation et consommation de matières premières aux USA**

### III.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 comme l'illustre la Figure 17. Les chiffres sont issus du producteur russe VSMPO<sup>8</sup> qui contrôle la quasi-totalité des filières d'approvisionnement en CEI.

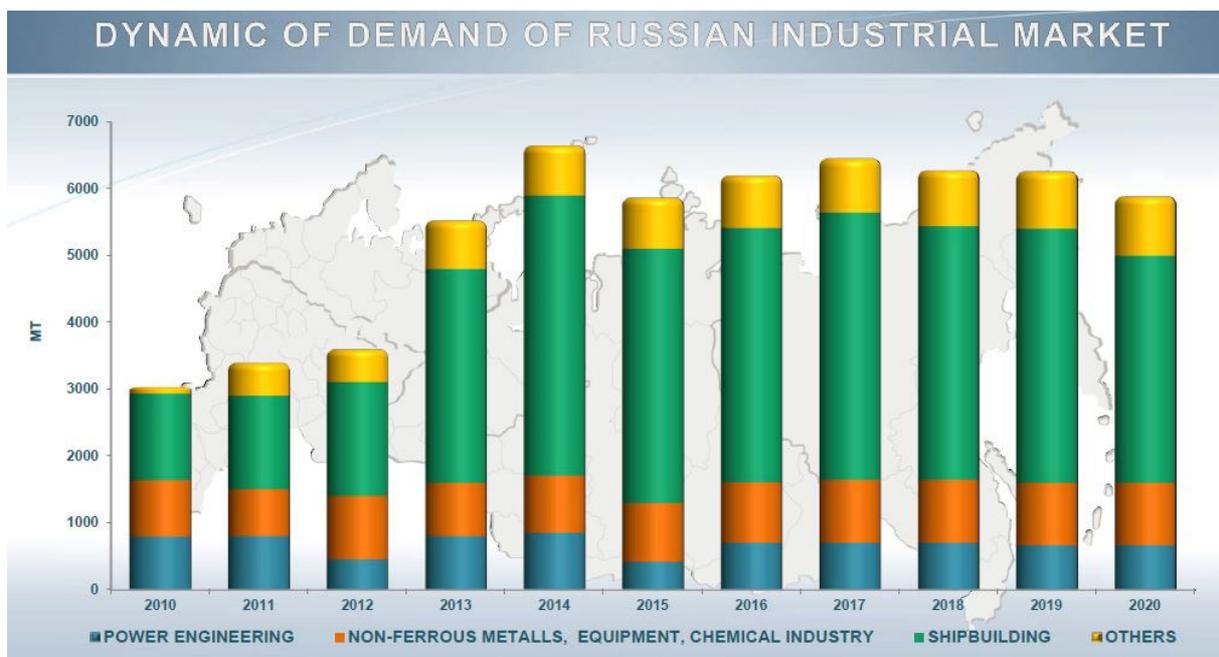
Le redémarrage de l'activité industrielle russe au début des années 2000 est dû à un soutien gouvernemental fort. Le producteur de titane russe VSMPO – AVISMA est un acteur stratégique pour les secteurs de pointe comme l'aéronautique, l'armement, le naval, l'énergie etc. Dans le secteur aéronautique, 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 Company (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 IV.1.3 (avions de ligne), IV.2.5 (avions régionaux) et V.2 (avions militaires).



**Figure 17: Évolution de la consommation de titane sur le marché intérieur en CEI [réf.8]**



**Figure 18: Évolution de la consommation de titane du secteur industriel en CEI [réf.8]**

### III.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<sup>9,10</sup> entre 2007 et 2013.

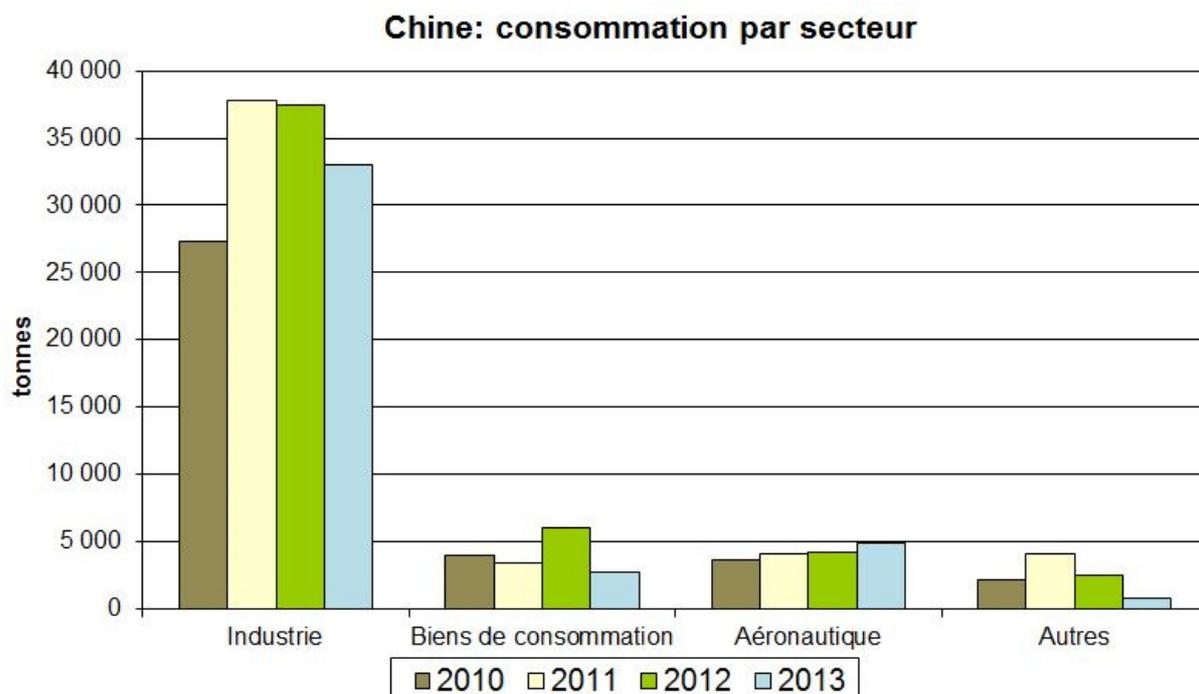
<i>en tonne</i>	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Consommation totale Chine	23.640	24.068	24.965	37.054	49.392	50.331	41.338

**Tableau 4: Consommation de titane sur le marché intérieur chinois [réf. 9,10]**

En Chine, le titane est très majoritairement consommé dans le domaine de l'industrie (voir Figure 19). 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 24 en annexe XXIII.



**Figure 19: Consommation de titane sur le marché intérieur chinois par secteur 2010-2013 [réf. 9,10]**

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	34/150

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<sup>q</sup> », 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 aérospace 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 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 2014, le stock stratégique chinois pourrait donc se situer entre 20 et 40.000 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 collectées<sup>11</sup> sur les stocks de matière déclarés en inventaire de fin d'année dans la filière industrielle chinoise sont données dans le tableau suivant.

### ⇒ Import – Export

Les statistiques aux frontières chinoises [réf.10] présentées dans la Figure 20 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<sup>r</sup> 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

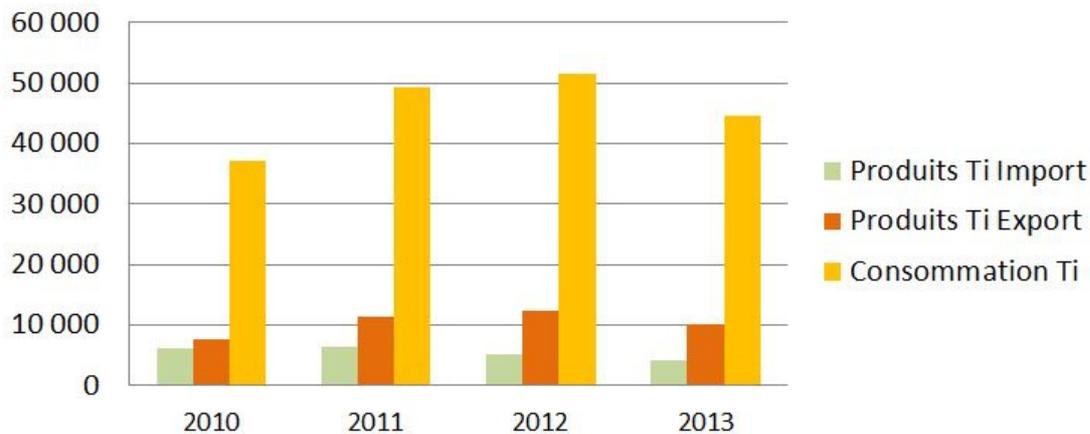
<sup>q</sup> Production d'électricité, dessalement et technologies marines

<sup>r</sup> 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.

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	35/150

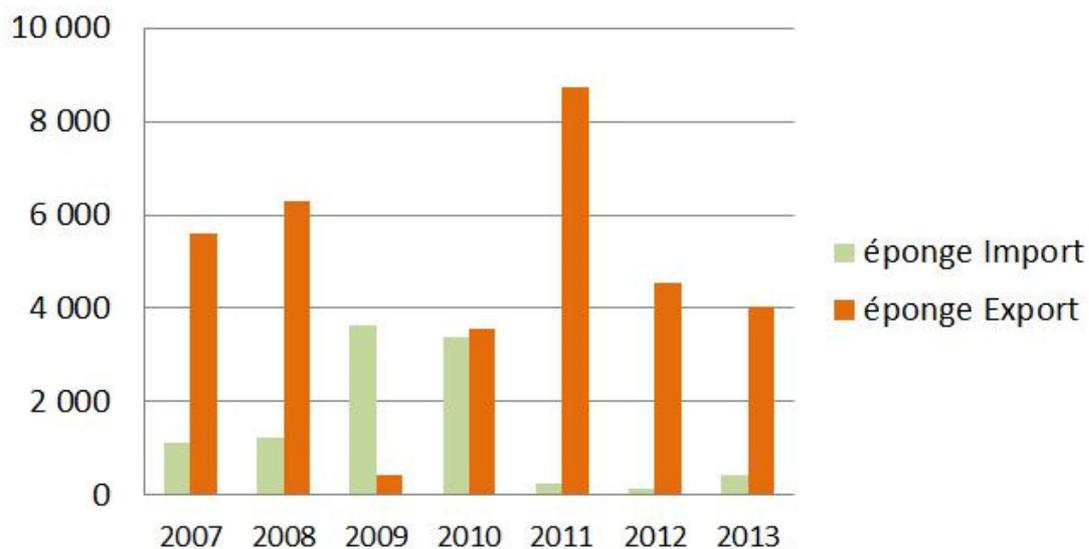
en raison de la forte demande dans le domaine du dessalement. Au niveau des importations, la Chine approvisionne à l'étranger les produits dont elle maîtrise mal les techniques de production et la qualité : les tubes et les produits plats d'épaisseur inférieure à 0,8 mm. Les pics d'importation d'éponge de 2009 et 2010 s'expliquent par le prix attractif de l'éponge sur le marché international par rapport aux prix sur le marché intérieur chinois. Depuis 2010, l'écart de prix ne cesse de décroître ce qui a permis le pic d'exportation de 2011.

### Chine: Import - Export produits versus Consommation intérieure



**Figure 20: Import – Export de produits en titane comparé à la consommation intérieure en Chine [réf.10]**

### Eponge chinoise: Import - Export



**Figure 21: Import-Export d'éponge de titane en Chine [réf.10]**

### III.4 Évolution de la demande au Japon

La Figure 22 donne la répartition par secteur de la consommation de titane sur le marché intérieur japonais<sup>12</sup>. Ce graphe met en évidence la prédominance des applications « industriels » 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.

Globalement, la demande intérieure japonaise a violemment été impactée par la crise de 2008 avec un véritable effondrement de la consommation en titane en 2009 (-58%). A ce moment, 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. 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.

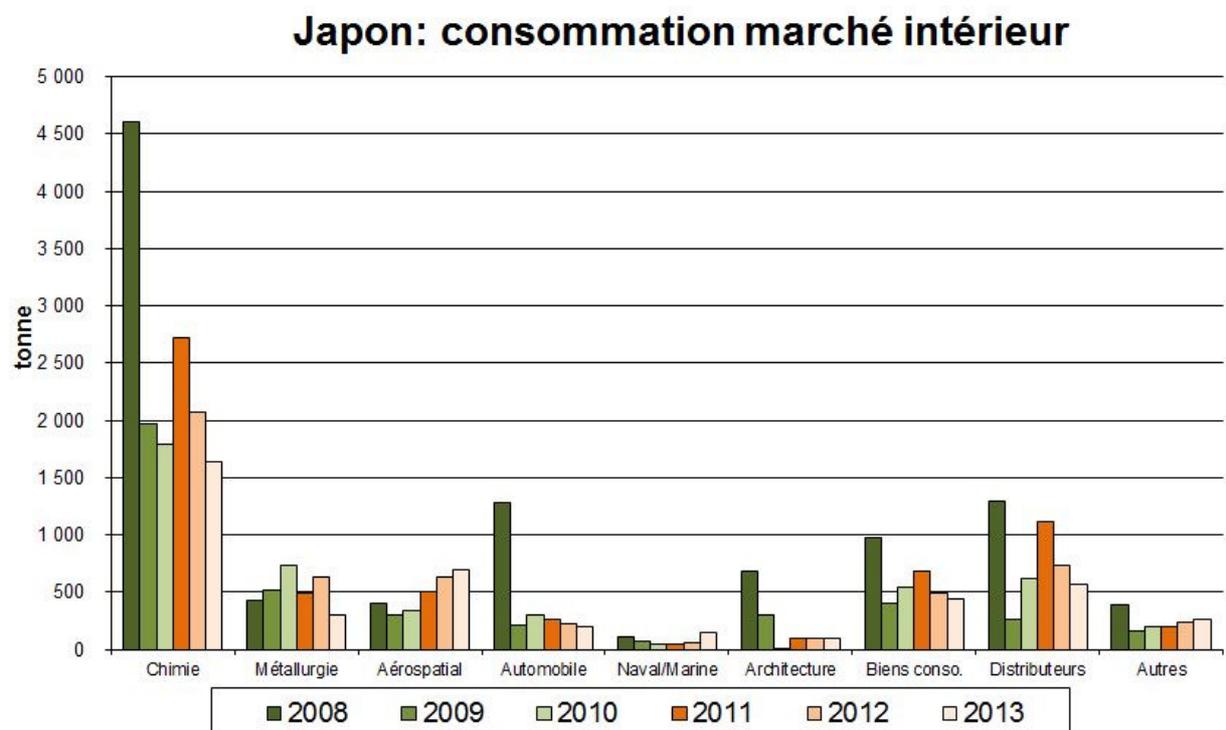
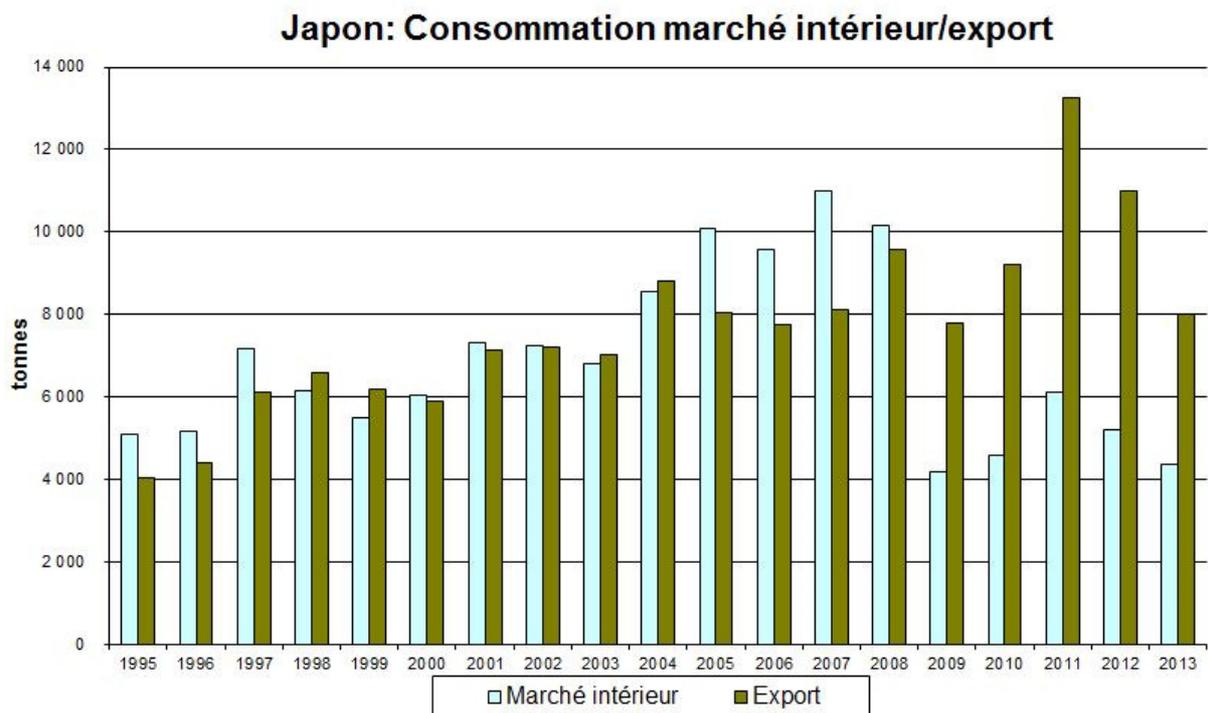


Figure 22: Consommation de titane au Japon par secteur [réf. 12]

### ⇒ Import – Export

La Figure 23 illustre l'importance de l'exportation dans l'économie du titane au Japon. Habituellement 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 intérieure. La Figure 60 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 24, 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 61 et la Figure 62 en annexe).



**Figure 23: Ratio consommation intérieure/export au Japon [réf. 12]**

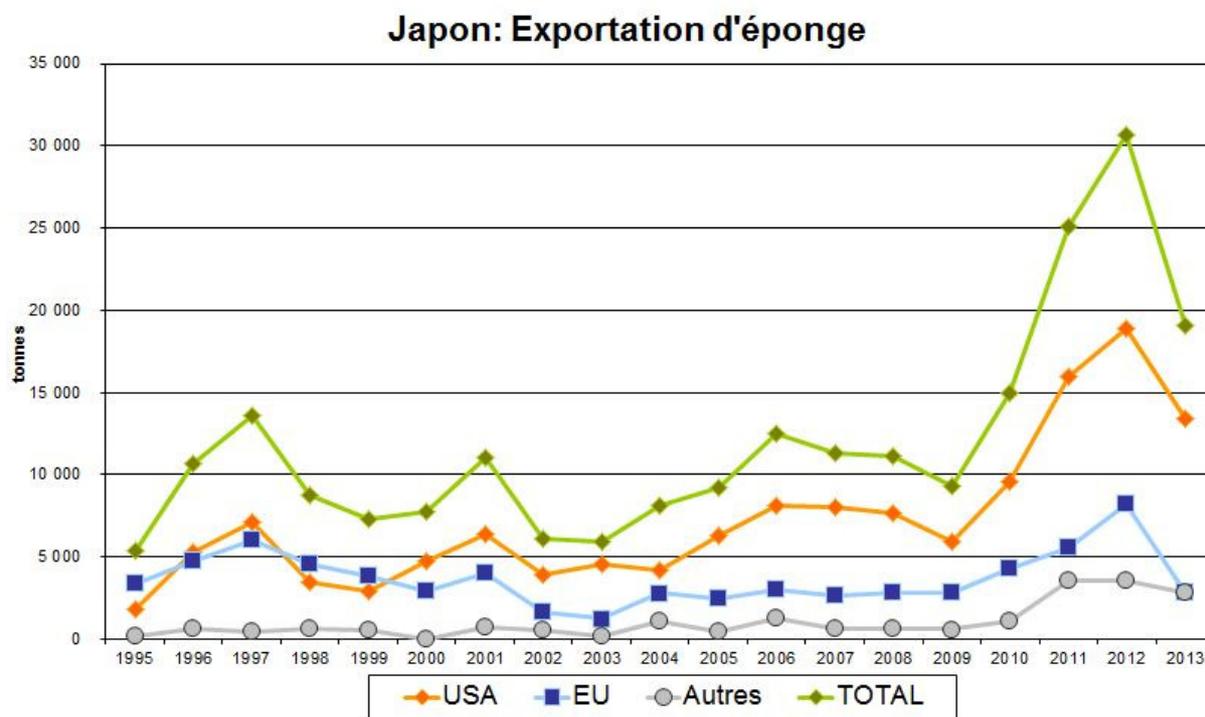


Figure 24: Exportations d'éponge du Japon [réf. 12]

### III.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 tonne	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Applications industrielles	11.000	13.000	9.000	9.000	9.000	6.000	5.000
Aéronautique commerciale	9.000	10.000	9.500	11.000	10.000	12.000	14.000
Applications militaires	1.000	900	700	500	400	400	400
Biens de consommation	1.300	1.000	700	400	300	300	300
<b>TOTAL Europe</b>	<b>22.300</b>	<b>24.900</b>	<b>19.900</b>	<b>20.900</b>	<b>19.700</b>	<b>18.700</b>	<b>19.700</b>

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 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

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	39/150

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.

### ⇒ Import – Export

La dépendance vis-à-vis des besoins en titane se traduit par des importations massives<sup>13,14</sup> 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.

<b>Importation (en tonne)</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Éponge & Poudre	26.121	28.734	16.000	23.418	38.605	34.982	34.848
Plaques	10.535	10.132	6.140	5.798	5.997	4.367	4.000
Barres	8.239	9.589	5.863	6.906	10.670	10.206	11.752
Tubes	845	898	1.178	924	875	1.018	1.107
Autres	1.956	1.934	718	814	1.145	1.279	1.527
<b>Produits en titane</b>	<b>21.575</b>	<b>22.553</b>	<b>13.899</b>	<b>14.442</b>	<b>18.687</b>	<b>16.870</b>	<b>18.386</b>

**Tableau 6: Importation d'éponge et de produits en titane en Europe [réf.13,14]**

<b>Exportation (en tonne)</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Éponge & Poudre <sup>s</sup>	4.240	3.336	3.183	2.784	3.579	2.672	2.582
Plaques	10.468	676	331	485	510	723	774
Barres	1.498	1.446	1.009	1.245	1.665	2.466	2.933
Tubes	1.273	1.408	1.130	824	1.336	970	1.691
Autres	2.085	1.039	587	1.026	1.160	1.502	1.267
<b>Produits en titane</b>	<b>15.324</b>	<b>4.569</b>	<b>3.057</b>	<b>3.580</b>	<b>4.671</b>	<b>5.661</b>	<b>6.665</b>

**Tableau 7: Exportation d'éponge et de produits en titane depuis l'Europe [réf.13,14]**

Nota bene : Les valeurs données dans les tableaux ci-dessus sont les quantités de matière importées en Europe depuis l'étranger et exportées depuis l'Europe vers l'étranger à l'exclusion de tous les mouvements de matière entre les pays européens.

<sup>s</sup> Négoce uniquement : l'Europe ne produit pas d'éponge de titane.

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	40/150

#### IV 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 spécifiques<sup>†</sup> 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.

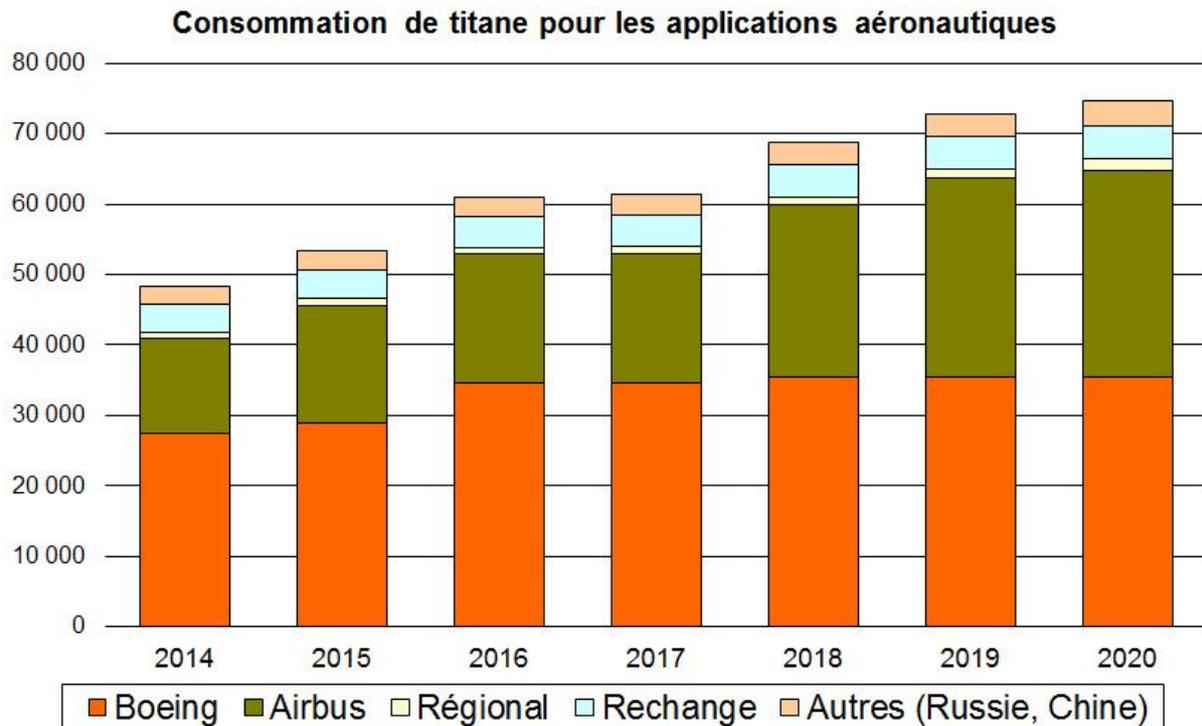
Pour la partie structurale, les nouvelles générations d'avions de ligne (B787, A350) ont durci les critères de sélection pour les matériaux en imposant des limites plus contraignantes sur les performances spécifiques. L'aluminium, matériau de choix pour les cellules d'avion, est ainsi remplacé par les composites à matrice organique (CMO), plus légers et plus résistants à la corrosion. La Figure 63 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 2010 et 2025.

Programme (pays)	Segment	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2020-2025
Sukhoï SuperJet (RU)	Avion régional	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Boeing B787 (USA)	Avion de ligne		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Bombardier CSeries (CAN)	Avion régional					-----	-----	-----	-----	-----	-----
COMAC ARJ21 (CN)	Avion régional						-----	-----	-----	-----	-----
Airbus A350 (EU)	Avion de ligne						-----	-----	-----	-----	-----
Irkut MS21 (RU)	Avion de ligne						-----	-----	-----	-----	-----
Airbus A320neo (EU)	Avion de ligne							-----	-----	-----	-----
Mitsubishi MRJ (JPN)	Avion régional								-----	-----	-----
Boeing B737 MAX (USA)	Avion de ligne								-----	-----	-----
Airbus A330neo (EU)	Avion de ligne									-----	-----
COMAC C919 (CN)	Avion de ligne										-----

**Tableau 8: Nouveaux programmes aéronautiques entre 2010 et 2025**

<sup>†</sup> Performance mécanique rapportée à la densité

En synthèse, la Figure 25 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 25: Évolution de la consommation de titane dans le secteur aéronautique**

#### IV.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<sup>u</sup>. Nous présentons dans la Figure 66 donnée en annexe, l'historique de productions annuelles des deux avionneurs entre 1994 et fin octobre 2014. Ils seront rejoints dès 2015 par le consortium russe OAK qui devrait mettre en service l'avion de ligne Irkut MS21 puis, en 2018, par le nouvel entrant chinois COMAC avec le C919. Les avions de plus de 100 sièges représentent la plus forte demande aéronautique qui est estimée, au total, entre 31.000 et 37.000 avions pour les 20 prochaines années<sup>15,16</sup>. Le segment des monocouloirs (familles A320 et B737) concentre 70% de cette demande.

Les déterminants de la demande pour le segment des avions de ligne sont d'une part la forte croissance du trafic aérien dans la région Asie/Pacifique (39%) et d'autre part le renouvellement des flottes en Europe (20%) et aux USA (18%) par des avions plus économe en carburant. La flotte commerciale actuelle compte 18.500 avions. L'augmentation du trafic

<sup>u</sup> Une part minime du marché est servie par le russe Tupolev

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	Page
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	42/150

prévue dans les 20 prochaines années nécessitera la mise en service de 20.000 avions de plus et le besoin en renouvellement de la flotte est estimé à 15.000 avions. Avec 5 à 6.000 avions fabriqués avant 2014 encore en cours d'exploitation, la prévision de flotte commerciale de 2033 sera au total de l'ordre de 37.500 avions.

### ⇒ Retrait du service

La Figure 26 ci-dessous donne l'évolution du pourcentage d'avions parqués<sup>17</sup>. Les baisses de trafic aérien liées aux crises du 11 septembre 2001 et de 2008 se traduisent 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 ans<sup>18</sup>. Après la crise de 2001, les avions parqués ont effectivement repris le service comme le montre la figure ci-dessous. Depuis, l'augmentation considérable du prix du pétrole (voir Figure 64 et Figure 65 en annexe) a accéléré le besoin de remplacement et réduit fortement la probabilité de remise en service du parc d'avions immobilisé. Avec des prix supérieurs à 100\$/baril, le carburant compte aujourd'hui pour plus de 30% des charges d'exploitation des compagnies aériennes alors qu'il ne représentait que 10-12% il y a 15 ans. En conséquence, on estime que le nombre d'avion qui sera retiré du trafic au cours des 10 prochaines années sera de l'ordre de 8.000, c'est-à-dire plus que l'ensemble du parc actuel d'avions hors service [réf.18].

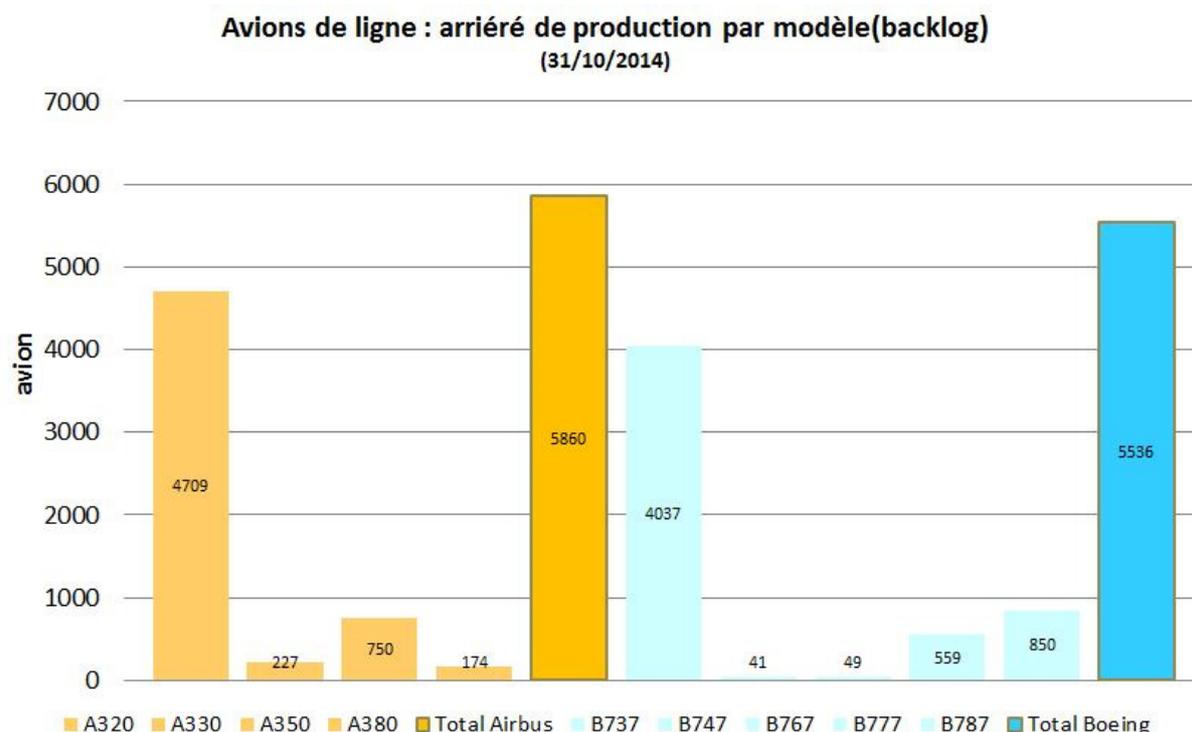


Figure 26: Évolution du pourcentage d'avions parqués [réf.17]

### IV.1.1 Airbus & Boeing

Airbus et Boeing ne cessent d'enregistrer des commandes d'avions. Il a fallu 3 années pour redémarrer les prises de commandes après les attentats du 11 septembre et, depuis, l'arriéré de production a été multiplié par 5 en l'espace de 10 ans (voir Figure 68 en annexe XXIX). Il atteint le nombre de 11.396 avions à fabriquer, soit environ 1/3 des besoins à long terme de l'aéronautique commerciale. La Figure 27 détaille le contenu des carnets de commande des deux avionneurs au 31/10/2014.

Ainsi, l'adaptation des cadences de production et le nombre limité d'annulations de commandes pendant la crise financière ont compensé le fort ralentissement des prises de commandes de 2009 (voir Figure 67 en annexe XXVIII). En conséquence, le carnet de commande actuel représente environ 7 à 8 ans de production.



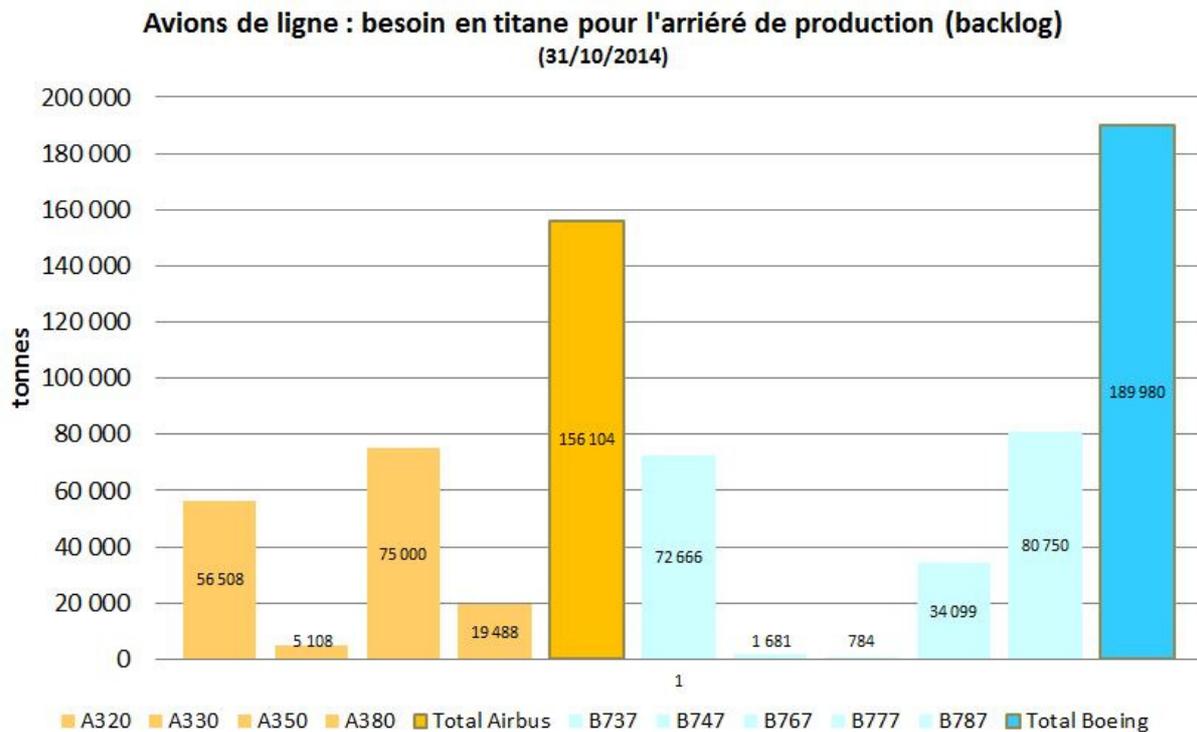
**Figure 27: Arriéré de production pour Airbus et Boeing au 31/10/2014 (backlog)**

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	Tonnage/avion
A320	12
A330	22
A350	97
A380	112
Boeing	Tonnage/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 28 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 346.000 tonnes.



**Figure 28: Besoin en titane par modèle pour l'ensemble de l'arriéré de production d'Airbus et de Boeing**

Grace à ces chiffres et aux hypothèses de cadences de production mensuelles données dans le Tableau 10, on peut faire une estimation de la consommation de titane pour les prochaines années. Cette estimation présentée dans la Figure 29 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.

### Airbus

A320	42 (actuel)	44 (1T16)	46 (3T16)	48 (1Q18)	50 (3Q19)	
A330	10 (actuel)	9 (4T15)				
A350	0 (actuel)	1 (4T14)	2,5 (2T15)	5 (2T16)	10 (4T18)	14 (1T20)
A380	2,5 (actuel)					

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	45/150

## Boeing

B737	42 (actuel)	47 (1T17)	52 (4T18)
B747	1,5 (actuel)	1 (1T16)	0 ? (2018)
B767	1,2 (actuel)	0 ? (2016)	
B777	8,3 (actuel)		
B787	10 (actuel)	16 ? (3T16)	

**Tableau 10: Hypothèses d'évolution des cadences de production mensuelles d'Airbus et de Boeing (entre parenthèse = période du changement de cadence)**

Outre l'évolution des cadences de production, les évènements importants à venir dans les programmes d'Airbus et de Boeing sont :

- La 1<sup>ère</sup> livraison de l'A350 attendue en décembre 2014 ;
- La 1<sup>ère</sup> livraison de l'A320neo prévue au 4<sup>ème</sup> trimestre 2015 ;
- L'arrêt possible de la production du B767 en 2016 en fonction des prises de commande ;
- La baisse possible de la production du B777 à 7 voire 5 avions/mois en fonction des prises de commande ;
- La 1<sup>ère</sup> livraison du B777X prévue au 1<sup>er</sup> trimestre 2017 ;
- La 1<sup>ère</sup> livraison du B737MAX prévue au 3<sup>ème</sup> trimestre 2017 ;
- La 1<sup>ère</sup> livraison de l'A330neo en décembre 2017 ;
- L'arrêt possible de la production du B747 en 2018 si les options de commande ne se confirment pas.

Au rythme actuel, la production aura doublé en une décennie (voir également l'historique de la production entre 1994 et 2014 en Figure 66, annexe XXVII). Nous présentons dans la Figure 30 la prévision de production annuelle d'avion pour Airbus et Boeing.

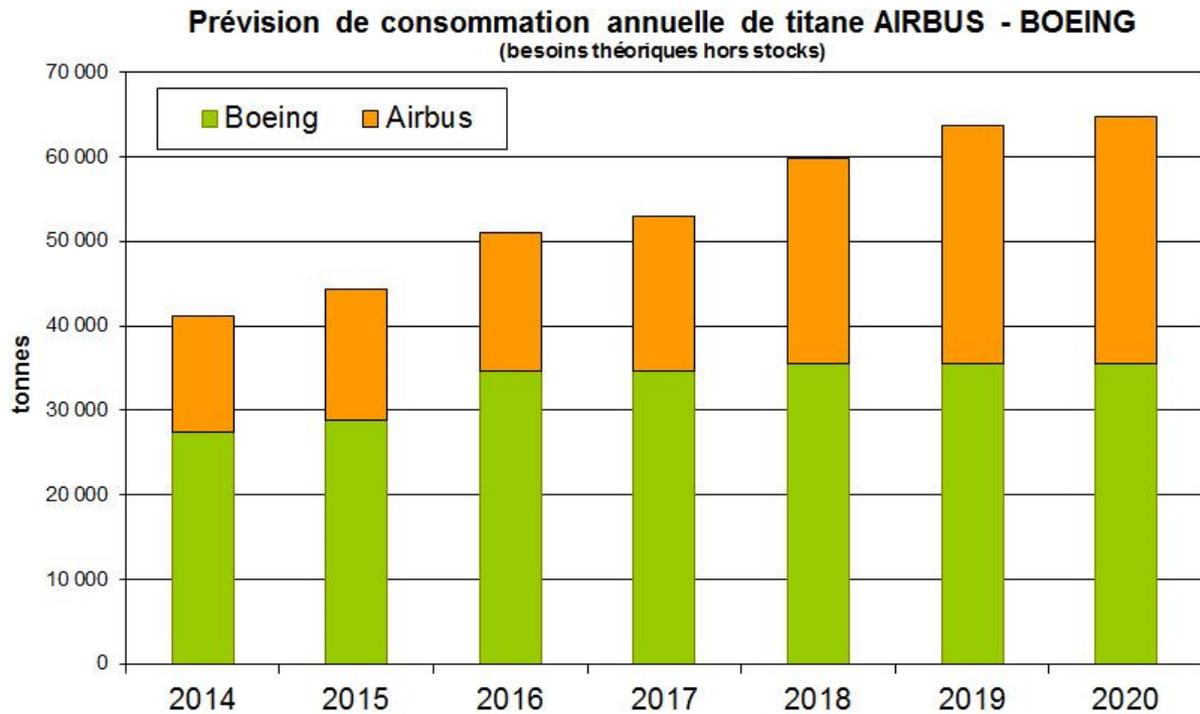


Figure 29: Prévision de consommation de titane d'Airbus et de Boeing

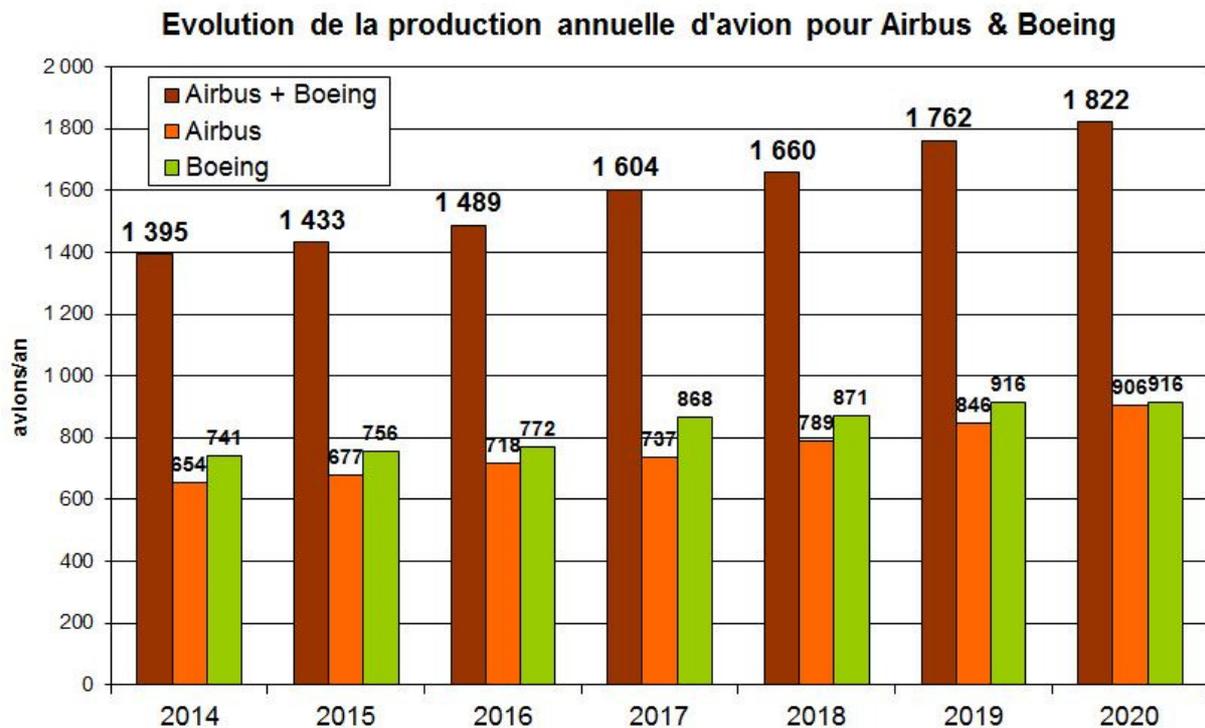


Figure 30: Prévision de production annuelle d'avion pour Airbus et Boeing

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	47/150

#### **IV.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 & Développement, fabrication et commercialisation des futures familles d'avions chinois. Le programme de COMAC a démarré avec l'avion régional ARJ21 (voir paragraphe IV.2.4) puis se poursuivra avec le premier avion de ligne chinois moyen-courrier le C919<sup>v</sup>.

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. Les prévisions actuelles font été d'un retard respectif de un et deux ans sur les deux jalons.

La chaîne d'assemblage située à Pudong (proche de Shanghai) a débuté fin 2009. Le site devrait être capable de produire à partir de 2016 une vingtaine d'exemplaires du C919 et une cinquantaine de l'avion régional ARJ21. 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. Ainsi, 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 70 en annexe) ont vocation à passer, à terme, sous maîtrise industrielle chinoise. Les premières commandes de C919 seront assurées par des compagnies aériennes nationales dont le besoin est estimé à environ 2.000 avions pour les 20 prochaines années.

Outre les programmes sous maîtrise chinoise, 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. 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 révélera probablement pas de rupture technologique pouvant induire des consommations de titane significativement plus élevées que celles de ses concurrents actuels. Nous estimons donc les besoins en titane de l'ordre de 12 tonnes par avion.

---

<sup>v</sup> Le « 9 » est symbole de longévité et le « 19 » rappelle la capacité de 190 sièges de l'avion.

### IV.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 IV.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 MS21 qui est destiné à remplacer le Tu-154 et concurrencer les familles A320 et B737 (150 à 212 sièges). Le premier vol de cet avion fabriqué par le consortium OAK (voir III.2) est maintenant prévu pour 2015 (un an de retard sur le planning initial) pour une mise en service en 2016. Il sera propulsé par un moteur américain PW1400 GTF et un moteur russe développé par le constructeur Aviadvigatel OJSC qui motorise déjà, entre autre, les modèles Tu-204, Tu 214 et II-96. Les marchés visés par cet avion sont en priorité l'Europe de l'Est, la Chine et l'Inde.

La consommation de titane liée aux programmes aéronautiques en CEI [réf.8] est donnée dans la Figure 31. Cette estimation regroupe tous les programmes, y compris les avions régionaux (quelques centaines de tonnes – voir paragraphe IV.2.5) et militaires (pour environ 1/3 – voir section V.2).

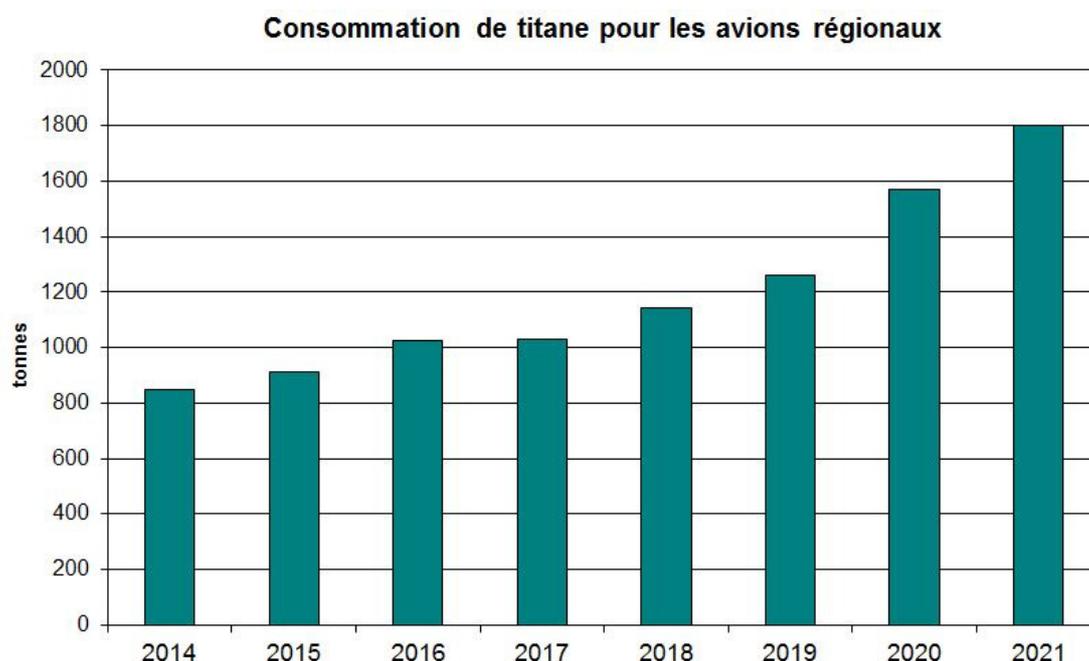


Figure 31: Consommation de titane pour le secteur aéronautique en CEI [réf.8]

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	49/150

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

Selon les estimations des constructeurs d'avions régionaux, le marché est estimé entre 6.500<sup>19</sup> et 13.100<sup>20</sup> avions pour la période 2014 – 2033. Le segment de marché est actuellement occupé par les constructeurs Bombardier (Canada), Embraer (Brésil) et Antonov (Russie) mais ils seront concurrencés à partir de 2015 par le chinois COMAC (ACAC) et par le japonais Mitsubishi à partir de 2017. La Figure 32 donne une estimation globale des besoins en titane pour l'ensemble des programmes d'avions régionaux, sur la base des données détaillées dans les paragraphes suivants.



**Figure 32: Prévion de la consommation en titane des programmes d'avions régionaux**

### IV.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 (E-170, E-175), le carnet de commande est de seulement 5 avions<sup>21</sup> (+23 options) pour l'E-170 et de 181 avions (+227 options) pour l'E-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 70 (+144 options) et 10 (+2 options) 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. L'E175-E2 remplacera l'actuel E-175 dans la gamme des 80 sièges à partir de 2020 (150 commandes),

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	50/150

l'E190-E2 offrant 106 sièges remplacera l'E190 à partir du deuxième semestre 2018 (70 commandes) et l'E195-E2 offrant 132 sièges remplacera l'E195 à partir de 2019 (50 commandes). 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.

L'estimation du besoin en titane est de 7 tonnes/avion pour la famille des 190 et 195, de 5 tonnes/avion pour la famille des 170 et 175 et de 3 tonnes/avion pour la famille E-135/140/145.

#### **IV.2.2 Bombardier (Canada)**

A partir de 2013, le constructeur canadien Bombardier lance sa nouvelle gamme d'avion de transport régional « CSeries » (Série C) qui couvre la gamme de 110 sièges (CS100) à 130 sièges (CS300). Il complète ainsi son offre au-delà des gammes 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).

Bombardier ambitionne ainsi que concurrencer les plus petits modèles d'Airbus A320 et Boeing B737. Son carnet de commande actuel est de 90 exemplaires Le CSeries sera équipé du nouveau moteur Pratt&Withney PurePower PW1524G qu'Airbus envisage d'adopter pour la re-motorisation du A320.

Les estimations en quantités de titane approvisionnées par famille d'avion est de 5 tonnes/avion pour les CRJ 700/900/1000 et de 8 tonnes/avion pour les CSeries C110/C130.

#### **IV.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), est prévu au 2<sup>ème</sup> trimestre 2015 soit 3 ans après l'échéance prévisionnelle. Les premiers avions devraient sortir des chaînes d'assemblage en 2017. 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. En septembre 2014, le MRJ avait enregistré 375 commandes (191 fermes, 160 options, 24 en droits d'achat). Le besoin en titane estimé à 5 tonnes/avion.

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	51/150

#### **IV.2.4 Avic Commercial Aircraft Corporation (Chine)**

Le programme de COMAC a démarré avec l'avion régional ARJ21-700<sup>w</sup> (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 252 commandes enregistrées, prévues initialement courant 2010, sont maintenant attendues pour 2015. En mai 2014, les deux premiers exemplaires destinés à la compagnie chinoise Chengdu Airlines terminaient leur processus de certification.

La chaîne d'assemblage située à Pudong (proche de Shanghai) a débuté fin 2009. Le tout nouveau site d'assemblage de Pudong (voir paragraphe IV.1.2) devrait être capable de produire à partir de 2016 une cinquantaine d'exemplaires par an de l'ARJ21-700. Le besoin en titane est estimé à 4 tonnes/avion pour l'ARJ21-700 et à 7 tonnes/avion pour l'ARJ21-900.

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 et la consommation de titane de l'ordre de 50 tonnes/an.

#### **IV.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 830 appareils [réf.20] sur les 20 prochaines années.

L'AN-148 (80 sièges) et sa version rallongée l'AN-158 (jusqu'à 99 sièges) fabriqué 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.

### **V 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

---

<sup>w</sup> Advanced Regional Jet 21st century

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	52/150

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. Aujourd'hui, ce sont surtout les programmes d'armement américains qui consomment du titane. Après plusieurs années de forte croissance, les budgets de défense sont maintenant contraints par une nouvelle politique de baisse des dépenses. Toutefois, compte tenu de l'âge moyen des équipements des forces (45 ans pour les avions ravitailleurs, 20 ans pour les avions de chasse, 15 ans pour les véhicules et les navires<sup>22</sup>), le gouvernement américains ne peut, tout au plus, que réduire les commandes d'armement à défaut de remettre en cause les programmes.

Une estimation globale de l'évolution de la demande de titane dans le secteur militaire est donnée dans le graphique de la Figure 33. Cette prévision pourrait être revue à la hausse en fonction du développement des activités militaires en Chine et en Russie de 3 à 5.000 t/an à l'horizon 2020.



**Figure 33: Évolution de la consommation de titane dans les applications militaires**

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	53/150

## V.1 Domaine terrestre

### V.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 au cours de ces quinze dernières années en Europe et aux USA. Le titane est en effet un constituant efficace 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 américaine<sup>23</sup> 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<sup>x</sup> 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 irakien et afghan<sup>24</sup>. Une illustration de ces blindages est dans la Figure 72 en annexe. Depuis 2009, ces programmes de rétrofits semblent s'être arrêtés et la consommation de titane a quasiment cessé.

### V.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 73 en annexe). D'important travaux ont été menés autour des technologies de soudage, en particulier le soudage par friction (FSW<sup>y</sup>) 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 titane<sup>25</sup>. Initialement prévu pour une production de 500 exemplaires, le M777 a été commandé par 4 pays pour une quantité totale de 948 unités.

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 74 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

<sup>x</sup> Plaque de blindage amovible, en général boulonnée sur la structure

<sup>y</sup> Friction Stir Welding

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	54/150

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

## V.2 Aéronautique militaire

### V.2.1 Programmes aéronautiques militaires en cours

#### ⇒ Programmes européens

Les principaux programmes militaires européens actuels d'avions multirôles<sup>z</sup> sont le Rafale, l'Eurofighter et le Gripen. Ces programmes consomment au total quelques centaines de tonnes/an de titane pour une production d'environ 1 à 2 avions/mois. Les prévisions de cadence de production sont relativement stables sur les 4 prochaines années. Les perspectives au-delà de cette échéance sont dépendantes du succès à l'export de ces programmes.

#### ⇒ Programmes américains

Les principaux programmes en cours aux USA sont présentés dans le Tableau 11 ci-dessous. Les cadences 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.

Programme	Type	Titane/avion (tonnes)	Cadence de production
C17	Transport	8-12	10 avions livrés en 2013, reste 8 avions à livrer pour l'Inde. Arrêt probable de la production début 2015.
F/A – 18E/F & F/A – 18G	Multirôle	17-18	Production à cadence réduite (2 avions/mois ?) jusqu'en 2017 puis arrêt sauf nouvelles commandes.
F-16	Multirôle	9	Cadence de 1 avion/mois pour livraison de 36 avions à l'Irak (2 en 2014, production jusqu'en 2017)

**Tableau 11: Principaux programmes aéronautiques militaires aux USA**

#### ⇒ Programmes russes

Le graphe de la Figure 34 donne les prévisions de cadence de production des principaux programmes russes d'avions de combat. La consommation de titane associée à

<sup>z</sup> Avions capables de mener différents types de mission: chasse, reconnaissance, bombardement etc.

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	Page
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	55/150

cette production est comptabilisée dans les prévisions de la demande sur le marché intérieur russe présentées dans la section III.2.

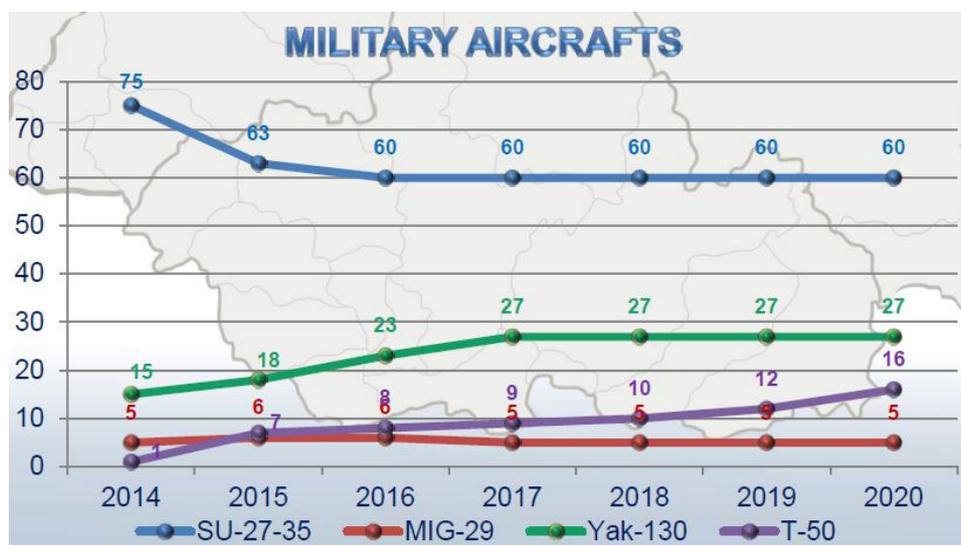


Figure 34: Principaux programmes aéronautiques militaires russes [réf. 8]

## V.2.2 Nouveaux programmes aéronautiques militaires

### ⇒ 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. Pour fabriquer les 174 exemplaires de cet avion (dont 4 pour la Malaisie), Airbus prévoit d'augmenter progressivement la cadence de production jusqu'à 2,5 avions/mois en 2015 (25-26 avions/an). En 2014, Airbus devrait finir l'année avec 7 avions livrés. 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). La consommation de titane pour fabriquer un A400M est de 36 t/avion.

### ⇒ 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 financement et sa réalisation dans l'objectif de baisser son coût global. Les quantités commandées par les USA et le 8 pays contributeurs<sup>aa</sup> sont estimées à environ 3.200 avions.

<sup>aa</sup> Australie, Canada, Danemark, Italie, Pays-Bas, Norvège, Turquie, Royaume-Uni.

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	56/150

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 est à peine à 20% en 2014. Le Tableau 12 donne les prévisions de montée en cadence pour les années à venir. Le besoin en titane par avion<sup>26</sup> serait de 14.5 t à 28 t/avion en fonction des versions. Le programme F-35 pourrait consommer jusqu'à 3.500 tonnes/an de titane à horizon de 5 ans [réf. 22].

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	≥2019
Avions/an	2	12	32	36	35	43	57	106	131	176	+2.300

**Tableau 12: Cadences de production annuelles du F-35 (Joint Strike Fighter) [réf.26]**

#### ⇒ 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 est prévue pour fin 2014. La consommation de titane est comptabilisée dans les prévisions de la demande sur le marché intérieur russe dans la section III.2.

#### ⇒ 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 34 commandes dont la moitié environ est déjà livrée. La France pourrait également commander une douzaine d'appareil à livrer à partir de 2017 et des négociations sont en cours avec d'autres pays.

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 Août 2017 doit être atteint avec un premier vol attendu courant 2015. La cadence nominale de production serait de 15 avions/an jusqu'en 2027<sup>27</sup>.

#### ⇒ 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 multirôle. L'avion J-11 (Jianji-11 ou Jian-11) et ses version dérivées J-11B et J11-BS sont développés par Shenyang aircraft Corp. sous licence de l'avion russe Sukhoï Su-27SK (voir Figure 75 en annexe).

Les versions les plus récentes intègrent de plus en plus de technologies chinoises. La consommation de titane associée aux parties structurales et aux moteurs peut être considérée comme négligeable à l'heure actuelle ou déjà comptabilisée en partie dans la part export de la Russie. Bien que l'activité soit vouée à un développement certain dans les années

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	57/150

à venir, aucun impact significatif n'est retenu dans notre scénario de référence de la demande en titane. Il n'est exclu que le programme aéronautique chinois débouche, à terme, sur des consommations comparable au JSF, c'est-à-dire 2 à 3.000 t/an.

### **V.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 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<sup>bb</sup>.

Les russes ont mené dans le passé<sup>cc</sup> 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 III.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<sup>er</sup> 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, semble également se développer dans le cadre du partenariat technologique entre la Russie et l'Inde. Compte tenu de l'incertitude sur la réalisation de ces programmes, la consommation associée n'a pas été retenue dans les hypothèses du scénario de référence.

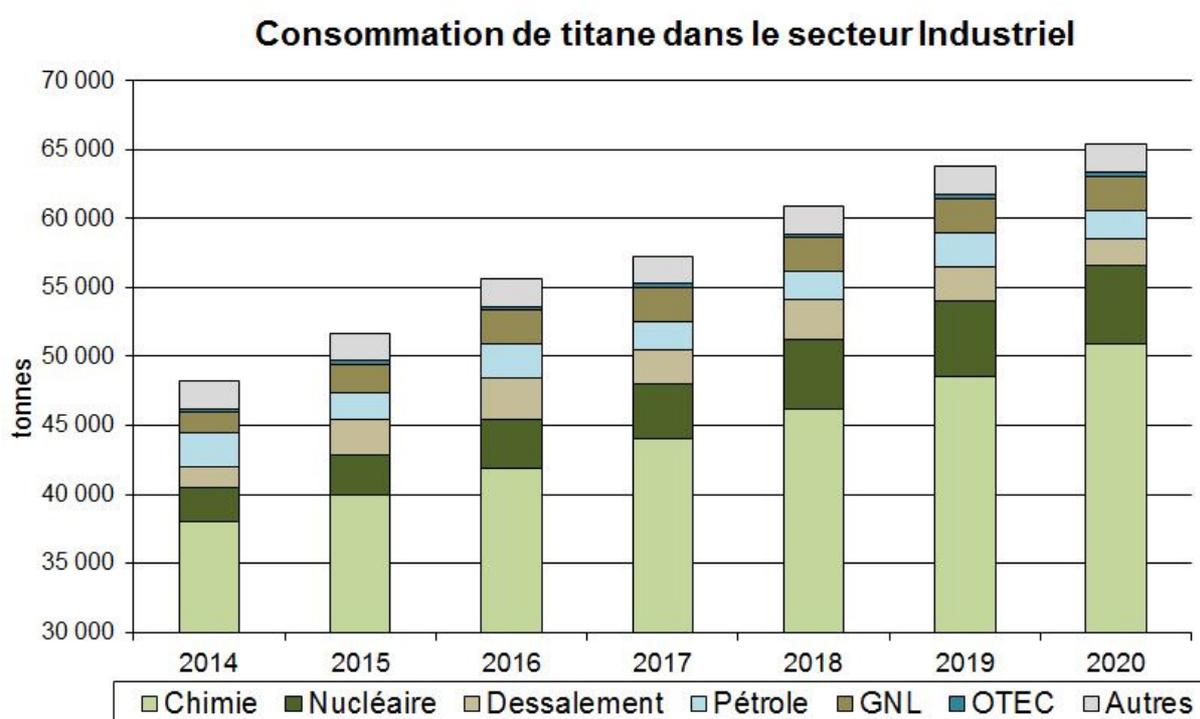
## **VI PERSPECTIVES POUR LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES**

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 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. 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 2012, la consommation a été tirée par deux super-projets dans le domaine du dessalement nécessitant

<sup>bb</sup> Fissuration dans certaines pièces soudées à des niveaux inférieurs à la charge critique.

<sup>cc</sup> Sous-marins russes d'attaque ALFA (1972) et SIERRA II (1990)

chacun 6.000 t de titane. Contrairement à l'aéronautique qui est régulée par des cadences de production, le 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 ci-dessous présente une synthèse de la consommation de titane dans ce secteur selon notre scénario de référence.



**Figure 35: Consommation de titane dans le secteur « Industrie »**

## VI.1 Production d'énergie

Les besoins en énergie devraient augmenter de +56% entre 2010 et 2040 selon le scénario de référence de l'*US Energy Information Administration – EIA*<sup>28,29</sup>. Ce scénario fait l'hypothèse d'une croissance du PIB<sup>dd</sup> mondial de 3,6%/an sur cette période. La moitié de l'augmentation de la demande énergétique est attribué à la Chine et l'Inde. La Figure 36 donne l'évolution comparée de la consommation pour les différentes sources d'énergie. Bien que les énergies renouvelables et le nucléaire aient les plus fort taux de croissance (2,5% /an), on voit que les énergies fossiles resteraient la première ressource mondiale utilisée (80%) en raison de la forte demande pour les transports et l'industrie. Dans ce segment, la consommation en gaz naturel croit de +23% en particulier en raison de l'exploitation des gaz

<sup>dd</sup> Produit Intérieur Brut

de schiste. La demande chinoise tire la consommation en charbon qui présente la plus forte croissance jusqu'en 2030.

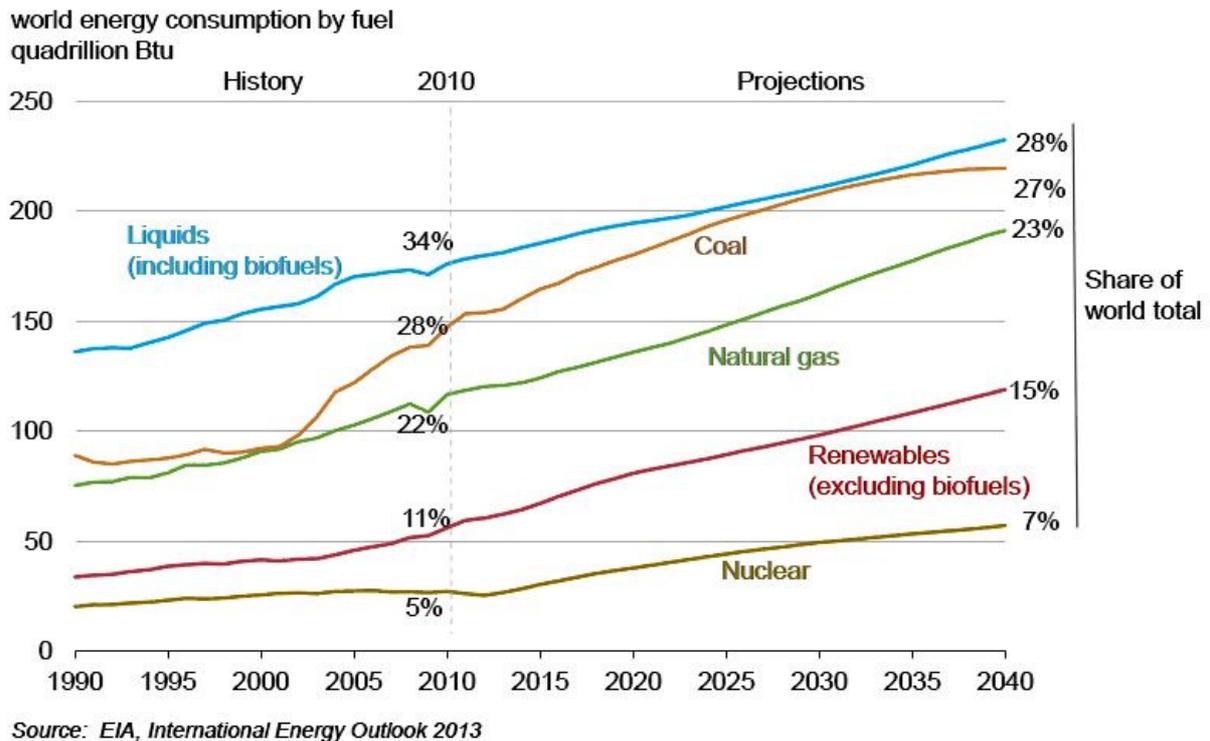


Figure 36: Évolution des besoins énergétiques mondiaux en Btu<sup>ee</sup> – juillet 2013 [réf.28]

### VI.1.1 Pétrole

Comparé 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 26 millions de barils/jour entre 2010 et 2040, soit +30% par rapport à la production actuelle. A cette échéance, le prix du pétrole atteindrait 163 \$/baril dans le scénario de référence. Les nouvelles ressources 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<sup>ff</sup> qui devraient se développer à un rythme de 4,9%/an sur la période. Ces nouvelles technologies nécessitent aussi l'emploi d'alliages de titane performants. Parmi les

<sup>ee</sup> Le British Thermal Unit est une unité d'énergie anglo-saxonne. 1 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.

<sup>ff</sup> Sables bitumineux, pétroles lourds, schistes bitumineux etc.

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	60/150

applications, on retrouve les pipelines et les risers<sup>gg</sup> pour les exploitations en eaux profondes, les plates-formes de forages semi-submersibles<sup>30</sup>, les raccords avec les têtes de puits immergées etc.

## VI.1.2 Gaz naturel (dont GNL)

La consommation en gaz naturel est en forte croissance car cette ressource est disponible<sup>hh</sup>, génère peu d'émission polluante à la combustion et souple d'emploi pour les besoins industriels. Elle devrait augmenter de +65% entre 2010 et 2040 (de 300 à 500 milliard de m<sup>3</sup>/jour) ce qui représente le plus fort taux de croissance dans l'emploi des ressources énergétique<sup>31</sup>.

Vers 2025, le gaz naturel devrait couvrir 40% des besoins énergétiques mondiaux et devenir la seconde source la plus importante derrière le pétrole, à la place du charbon. L'industrie est la première utilisatrice avec 39% de la demande suivie de la production d'électricité avec 33%<sup>32</sup>. Ceci explique que les pays non-OCDE concentrent 80% de la croissance de la demande en gaz naturel. La moitié de cette demande est localisée en Asie – Pacifique et plus particulièrement en Chine (voir Figure 37).

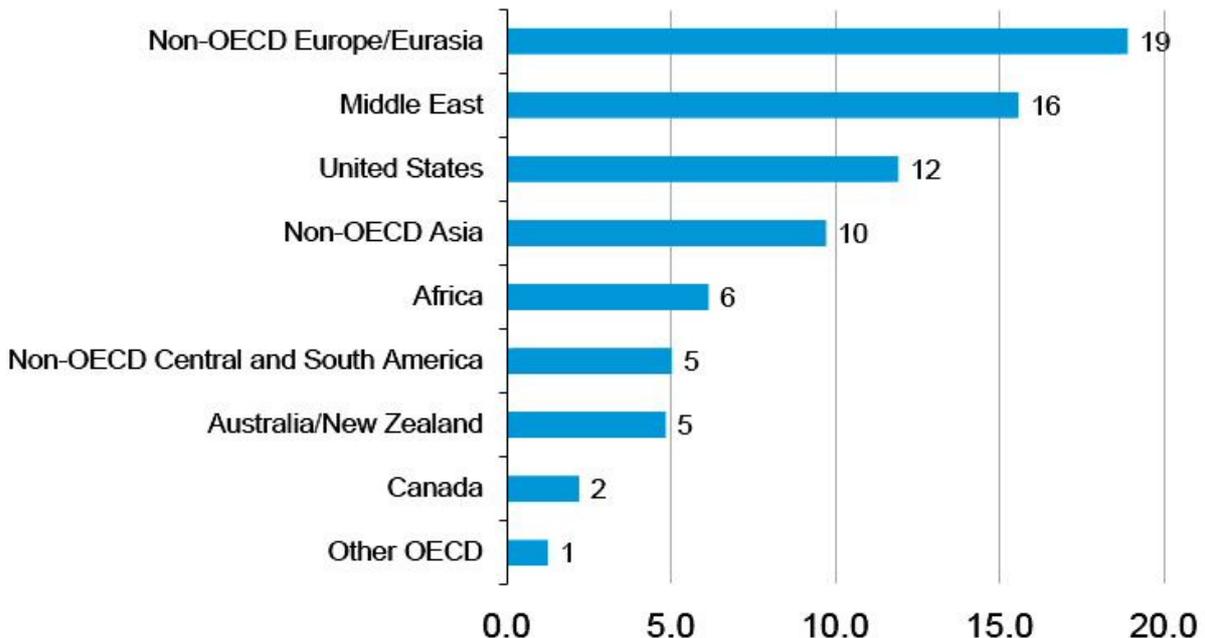
L'acheminement du gaz pour les distances inférieures à 3.200 kms se fait préférentiellement par pipeline. Au-delà, il est préférable de condenser le gaz à l'état liquide (gaz naturel liquéfié, GNL, ou LNG, en anglais). Le GNL peut alors être transporté sur de longues distances avec la mise en place de 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.

Le besoin en titane est estimé à 20 tonnes par méthanier et 250 tonnes par usine de traitement. Actuellement, 14 usines de liquéfaction de GNL sont en construction, la moitié en Australie, et 26 nouveaux projets sont prévus pour les 5 prochaines années<sup>33,34,35</sup>. Sur la même période, 65 méthaniers seront fabriqués<sup>36</sup> ce qui représente au total un potentiel de consommation de titane de l'ordre de 11.000 tonnes. Au niveau des centrales de génération d'électricité à partir du GNL (centrales thermiques), la consommation de titane nécessaire à leur construction est de l'ordre de 0,08 t/MW.

<sup>gg</sup> Conduite utilisée pour relier le fond de la mer avec une plate-forme pétrolière.

<sup>hh</sup> Les réserves mondiales sont estimées à 200 ans de consommation au rythme actuel.

growth in natural gas production 2010-2040  
trillion cubic feet



**Figure 37: croissance de la production mondiale de gaz naturel [réf.28]**

### VI.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 et certains pays ont accéléré la fermeture des centrales les plus anciennes. Les perspectives d'évolution sont différentes selon les régions du Monde. En effet, dans les pays développés la capacité a tendance à décroître alors qu'elle augmentera fortement dans les pays en développement. La Figure 38 donne l'évolution des capacités de production d'énergie nucléaire par région à l'horizon 2040.

La plus forte progression est en Chine où 26 réacteurs sont actuellement en cours de construction<sup>37</sup> (voir Figure 39). Actuellement, 434 centrales sont en activité dans le Monde avec une capacité de production de 371 GW et 71 nouveaux réacteurs sont en cours de construction représentant une capacité additionnelle de 69 GW (voir Tableau 25 en annexe XXXVII).

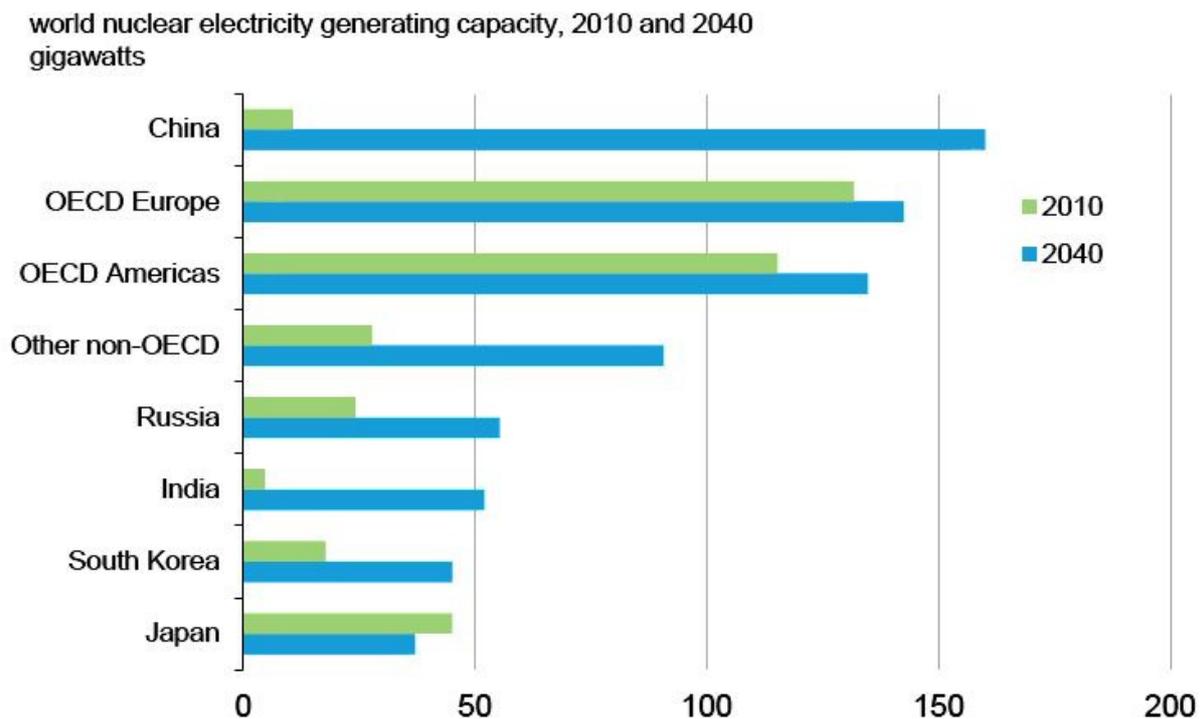
Globalement, les perspectives de croissance des capacités de production d'énergie sont de +1,9%/an<sup>38</sup> entre 2012 – 2035 mais la part du nucléaire dans les ressources énergétiques ne cesse de baisser depuis 2001 (voir Figure 76 en annexe XXXVII). Aux besoins associés aux nouveaux programmes, s'ajoutent la consommation de titane pour l'entretien et la rénovation des centrales en activité.

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	62/150

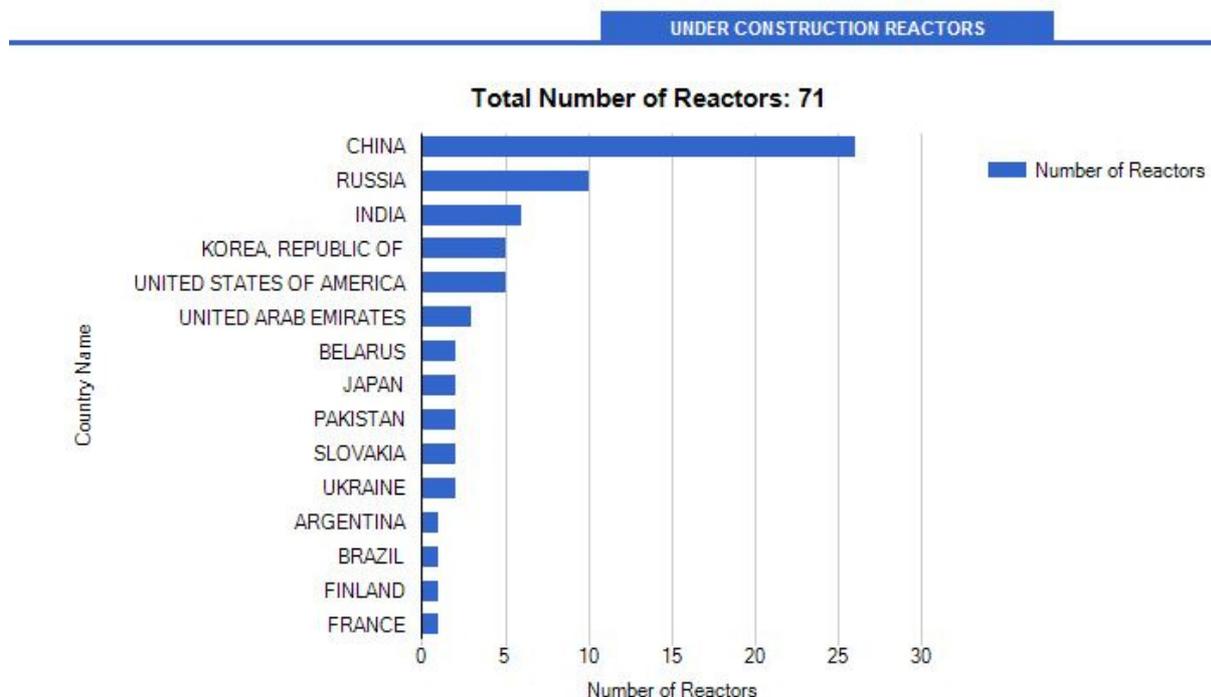
Pour ce segment de marché, le titane est en compétition avec l'inox et le cupro-nickel pour la fabrication de la partie « vapeur » des condenseurs<sup>39</sup> des circuits secondaires. Plus cher à l'achat que ses concurrents, le titane offre toutefois un meilleur rendement économique en coût de maintenance 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.).

Lorsque le titane est retenu pour équiper une centrale, la quantité de titane consommée peut être calculée, en première approximation, en utilisant un rapport de 0,18 t par MW<sup>40</sup>. Soit 180 t pour une centrale de 1.000 MW.



**Figure 38: Evolution des capacités de production d'énergie nucléaire dans le Monde [réf.29]**



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

**Figure 39: Réacteurs nucléaires en construction dans le Monde en 2014 [réf.37]**

#### VI.1.4 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<sup>ii</sup>, 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 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 XXXVIII (voir Figure 77).

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<sup>41,42,43,44,45,46</sup> 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

<sup>ii</sup> 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

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	64/150

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). Le groupe Lockheed Martin a signé en octobre 2013 avec le groupe chinois Reignwood pour concevoir une unité pilote OTEC de 10 MW destinée à l'île chinoise de Hainan.

En France, le groupe DCNS 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, DCNS a abouti en 2011 à la réalisation d'un prototype à terre. Il s'agit d'une unité pilote de 10 MW. Ce système est aujourd'hui installé sur le site de l'université de Saint-Pierre à la Réunion. Ce prototype a permis aux équipes de travailler sur le système principal de production électrique et de valider la technologie des échangeurs thermiques.

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. DCNS 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.

Le Groupe va maintenant développer une centrale flottante ETM en Martinique, dans le cadre du projet NEMO<sup>jj</sup>, 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 à l'horizon 2018. En décembre 2014, DCNS 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).

Les prévisions de consommation de titane sont de 200 t pour une unité de 10 MW. Le titane serait approvisionné principalement sous la forme de tube lisse ou à ailettes. Avec un objectif de 1,5 unités/an, c'est environ 1.000 t de titane qui pourrait être consommé pour ce nouveau secteur d'application chaque année.

Les futurs projets de l'Inde avec le 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

---

<sup>jj</sup> New Energy for Martinique and Overseas

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	65/150

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. Avec un rythme de construction de 1.700 MW/an, c'est entre 20 et 30.000 tonnes/an de titane qui serait consommé sur la période.

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 Xenesys. L'objectif, mené conjointement avec l'organisme japonais NEDO<sup>kk</sup>, est de réaliser l'unité pilote de 1 MW en 2015 et d'augmenter la capacité de cette usine pilote à 10 MW en 2020 et jusqu'à 50 MW en 2030<sup>47</sup>, puis de commercialiser des usines de 100 MW.

La liste des projets actuellement en cours dans le Monde est donnée dans le Tableau 26 en annexe XXXVIII.

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.44]. A elle seule, l'Inde a un potentiel estimé à 180 GW. A raison de 12.400 à 18.000 tonnes de titane pour une seule centrale OTEC de capacité 1 GW [réf.40], on mesure l'influence à venir de cette technologie sur le marché du titane.

## VI.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<sup>ll</sup> 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 chloré, 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.

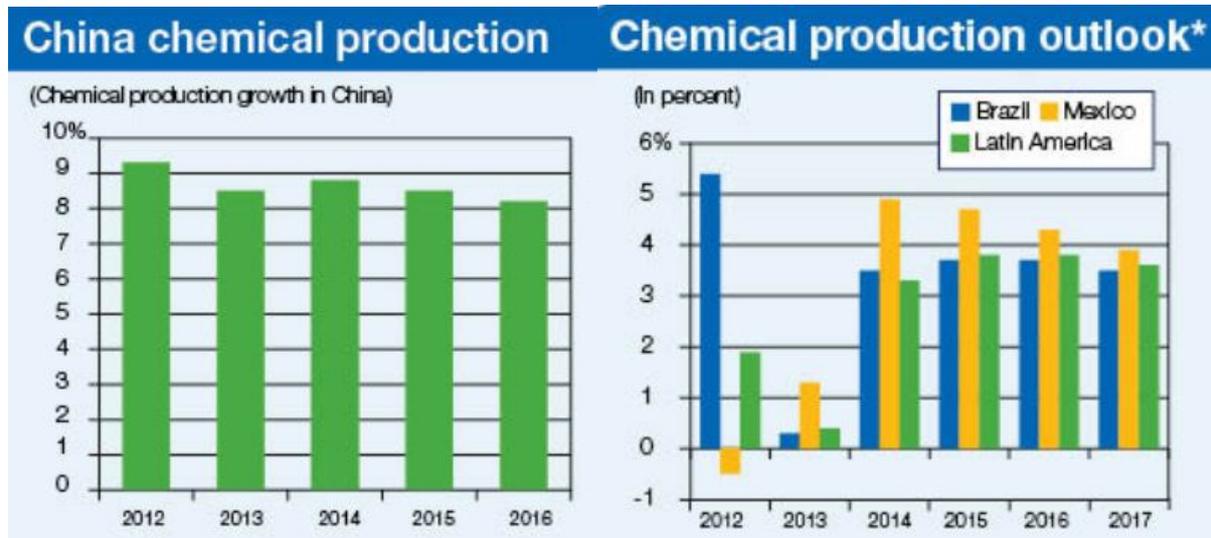
La crise de 2008 a fortement impacté la demande et ralenti les projets d'augmentation de capacité, en particulier en Asie. Malgré cela, les perspectives de croissance sont encore fortes en Chine ainsi qu'en Amérique latine (voir Figure 40) dans les 5 prochaines années<sup>48</sup>. Globalement, les deux tiers de la consommation de titane dans le secteur de la

<sup>kk</sup> New Energy and Industrial Technology Development Organization

<sup>ll</sup> Plastiques, pharmacopée, détergents, pesticides, herbicides, déodorants

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	Page
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	66/150

chimie est en Chine. Les perspectives d'évolution de la demande sont de +5%/an jusqu'en 2020.



**Figure 40: Evolution de la production chimique en Chine et en Amérique latine**

### VI.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<sup>mm</sup> (RO) et les procédés thermiques<sup>nn</sup> 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<sup>oo</sup>. 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.

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

<sup>mm</sup> Filtration de l'eau par une technique de membrane

<sup>nn</sup> Procédé thermique de distillation

<sup>oo</sup> Actuellement estimée à 81 millions de m<sup>3</sup>/jour

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	67/150

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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/jour. La construction de cette unité nécessite environ 500 t de titane et la centrale thermique associée, de capacité 1.500 MW, entre 55 à 75 t de titane. Sur l'ensemble des cinq tranches du projet, la capacité globale de traitement sera de 1,25 million de m<sup>3</sup>/jour. La consommation de titane pour la partie dessalement sera d'environ 1.500 t et la centrale thermique associée de 4,8 GW nécessitera 170 à 250 t de titane.

Les perspectives de développement de la demande dans le domaine des équipements industriels de dessalement sont de 62 millions de m<sup>3</sup>/jour à horizon de 5 ans. On peut estimer le besoin en titane selon la technologie employée avec les proportions suivantes :

- Technologie MSF : la construction d'une capacité de traitement de 1 m<sup>3</sup>/jour nécessite 3,5 à 6 kg de titane ;
- Technologie MED : la construction d'une capacité de traitement de 1 m<sup>3</sup>/jour nécessite 0 à 1,2 kg de titane ;
- Technologie RO : n'utilise pas le titane.

Si l'on considère que les technologies MSF et MED ont respectivement 20% et 15% de part de marché, on peut estimer la consommation de titane associée à :

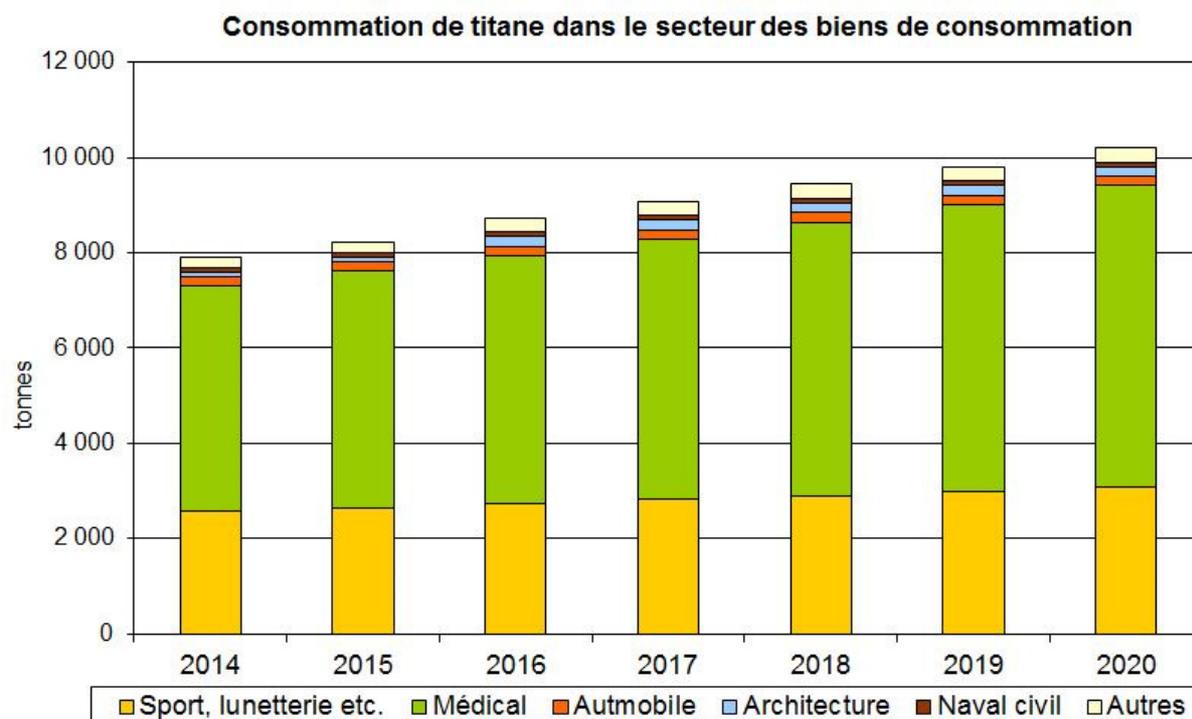
- Technologie MSF : 44 à 74.000 t de titane ;
- technologie MED : environ 11.000 t de titane.

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	Page
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	68/150

A court terme, nous ne retiendrons pas ces consommations dans le scénario de référence car, outre les projets démarrés en 2013, aucune annonce officielle n'a été faite sur le démarrage de ces projets.

## VII PERSPECTIVES POUR LE MARCHE 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 médical, l'architecture, les applications navales et les autres marchés de niche. La Figure 41 présente une synthèse de l'évolution de la consommation de titane dans ce secteur à partir des éléments détaillés dans ce chapitre.



**Figure 41: Evolution de la consommation de titane dans le secteur des biens de consommation**

### VII.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 « 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 :

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	69/150

- les articles de sport : club de golf...
- 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 III.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.

## **VII.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 5 à 6%/an en moyenne, ce marché 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%). En effet, totalement biocompatible, le titane est un métal adapté à toutes les applications réparatrices (implants dentaires, prothèses, tiges, fixations, renforts osseux etc.) et aux outils chirurgicaux. 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.

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

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	70/150

cas de patients opérés ayant subi de graves problèmes de santé, les implants chinois ont été bannis à l'importation jusqu'à nouvel ordre.

### VII.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<sup>49,50</sup> 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.

Une étude menée aux USA [réf.50] 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 aux USA 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 sortent au Japon en 1991 avec les bielles de la Honda Acura NSX V6 et en 1998 Toyota introduit des soupapes en titane sur le modèle Altezza. En 2001, Volkswagen (Europe) conçoit des ressorts de suspensions pour la Lupo FSI (4 tonnes/an<sup>PP</sup>) et la même année Chevrolet (USA) dote la Corvette Z06 (150 tonnes/an<sup>51</sup>) d'une la 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<sup>99</sup> (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 pour le sport 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.

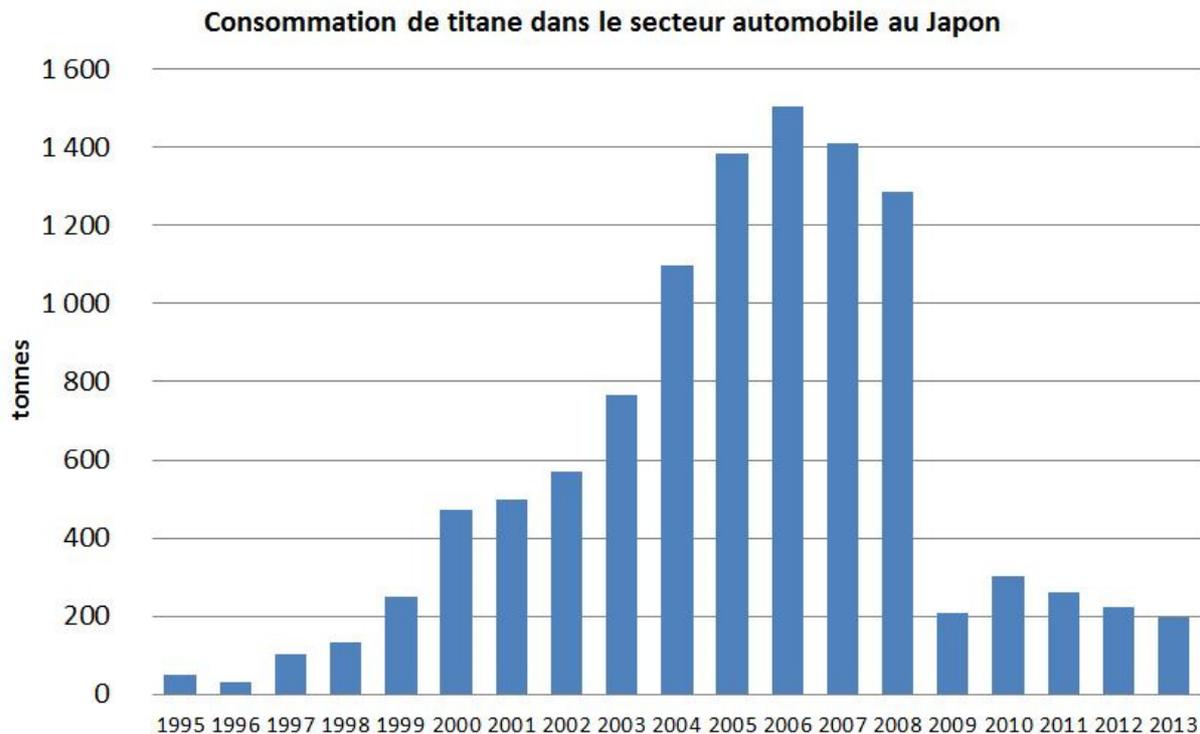
C'est au Japon que les exemples d'industrialisation sont les plus nombreux. Des recherches sont menées sur la qualité et sur les procédés de transformation afin de réduire autant que possible le coût de production des pièces finies. Avec une consommation de l'ordre de 1.300 tonnes/an en 2008, le Japon 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 n'a guère repris depuis (voir Figure 43).

<sup>PP</sup> Produite entre 2001 et 2005.

<sup>99</sup> En production depuis 2005 à un rythme de 75 voitures/an.

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	Page
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	71/150

Dans la mouvance des technologies « vertes » pour le transport terrestre, le titane a un potentiel d'utilisation dans les piles à hydrogène. Cette technologie pourrait consommer 40 kg de titane par véhicule. Les perspectives de cette application se sont éloignées depuis la crise de 2008.



**Figure 42: Consommation de titane dans le secteur automobile au Japon [réf.12]**

#### **VII.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 VI.1 et V.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.

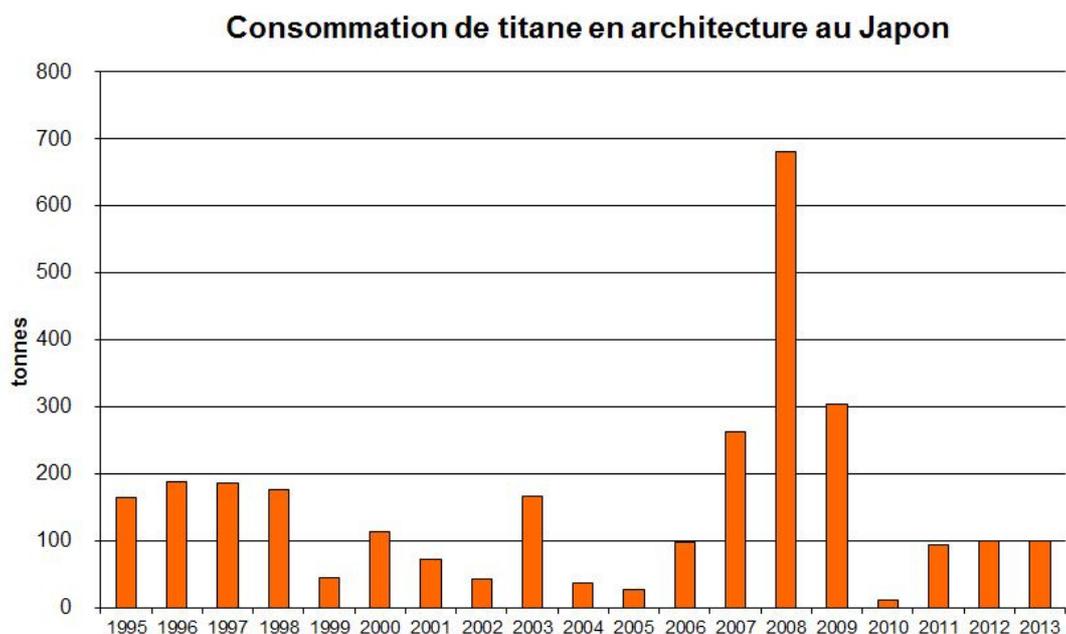
Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	72/150

- L’absence de technologie de soudage sous atmosphère contrôlée économiquement rentable par rapport aux procédés actuels utilisé dans les chantiers navals.
- L’absence de code de construction règlementant l’emploi du titane pour ces structures navales.

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.

## VII.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 43, 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 dilatation du titane permet de concevoir des structures qui l’associent avec la pierre, le béton et le verre.



**Figure 43: Consommation de titane en architecture au Japon [réf.12]**

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	73/150

## *Deuxième Partie : Évolution de l'offre*

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	74/150

## *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 une place en particulier dans le domaine des poudres et des méthodes de production additives ou directes. L'essentiel de la production reste toutefois sur le schéma basé sur l'éponge Kroll.

Les capacités de production d'éponge ont triplé entre 2003 et 2013. Elles sont actuellement de 310.000 t/an et sont localisées principalement en Chine (42%), en Europe de l'Est (28%), au Japon (22%) et aux USA (8%). La moitié de cette éponge est qualifiée pour un usage aéronautique, la Chine n'en possède pas. A l'horizon 2020, les capacités devraient croître de +190.000 t/an.

Au niveau des capacités de fusion, elles sont estimées à 390.000 t/an. Elles sont principalement localisées aux USA (37%), en Chine (28%), en Europe de l'Est (18%) et au Japon (13%). Selon les prévisions actuelles, ces capacités devraient peu évoluer à l'horizon 2020.

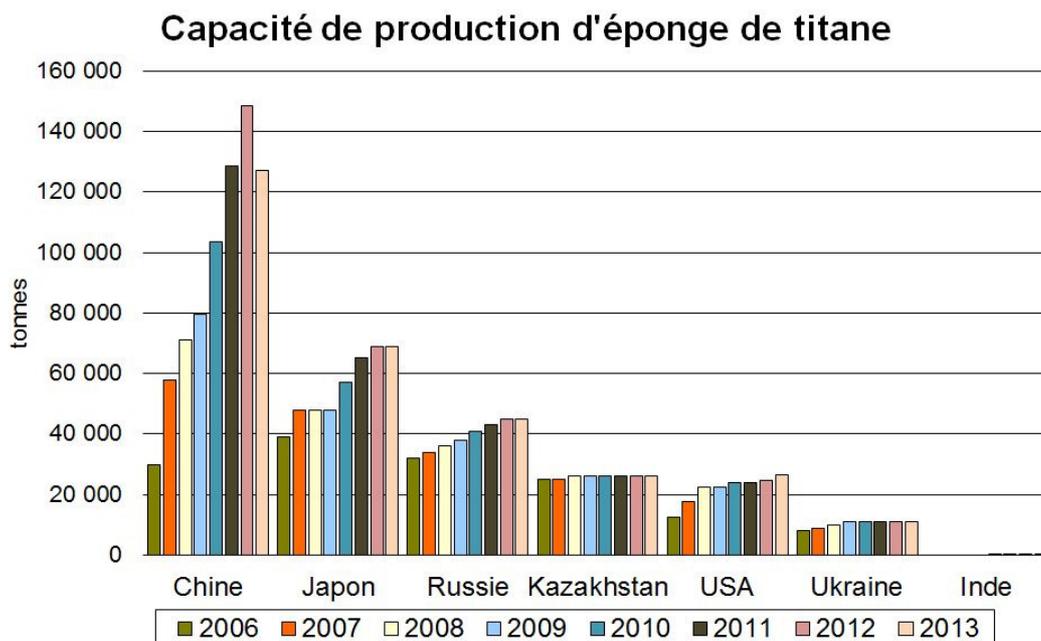
Véritable enjeu pour la filière, les capacités de recyclage des déchets de titane sont encore sous-développées dans le Monde, excepté aux USA. Avec l'augmentation de la production, les volumes de déchets générés offrent de belles opportunités d'économie circulaire pour des pays principalement consommateur comme la France.

## CHAPITRE VIII

### VIII EPONGE DE TITANE

#### VIII.1 Évolution des capacités mondiales de production d'éponge

Nous présentons dans la Figure 44 l'historique de l'évolution des capacités mondiales de production d'éponge par pays sur la période 2006 – 2013 (voir également le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** en annexe XXXIX). Ces données mettent clairement en évidence la montée en puissance de la Chine qui a détrôné le Japon en 2007 en devenant la 1<sup>ère</sup> capacité mondiale de production. En 2014, les capacités chinoises représentent un tiers du potentiel mondial de production d'éponge (voir Figure 78 en annexe XXXIX ). Le Japon, la Russie et les USA ont également développé leurs capacités et tentent de maintenir, pour les années à venir, leur place au niveau mondial. L'apparente domination de la Chine doit toutefois être modérée par les problèmes de qualité qui limitent l'emploi de l'éponge à des applications courantes. Malgré les efforts des producteurs chinois et des annonces régulièrement faites dans les congrès mondiaux, aucun producteur chinois 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 prochaines années, en Chine mais aussi au Moyen-Orient. Fait marquant du côté de l'offre, le groupe saoudien Cristal a annoncé en janvier 2014 la création d'une JV avec le producteur d'éponge japonais Toho pour construire une usine d'éponge en Arabie Saoudite qui sera opérationnelle au 1<sup>er</sup> trimestre 2018.



**Figure 44: Évolution des capacités mondiales de production d'éponge par pays**

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	76/150

### ⇒ 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 devrait recevoir sa qualification pour pièces tournantes « moteur » en 2015. ATI a conçu l'usine de telle sorte qu'une extension à 19.000 t/an de capacité est 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, le projet de construction d'une usine d'éponge de capacité 10.000 t/an à Hamilton (Mississippi) du producteur RTI a été repoussé puis finalement abandonné. 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) assurant un volume de 8.700 t/an.

Pour Timet (groupe PCC depuis janvier 2013), la dernière extension de capacité date de 2007 et concernait son usine d'éponge d'Henderson, qui a atteint la capacité de 12.600 t/an. 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<sup>rr</sup> 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 TiO<sub>2</sub>, ils ont progressivement introduit à partir de 2010 du minerai moins riche (90 – 92% TiO<sub>2</sub>) 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 de capacité 12.000 t/an à Wakamatsu en avril 2010, s'ajoutant aux 16.000 t/an de l'usine de Chigasaki. Le nouveau site est dimensionné pour accueillir 12.000 t/an

<sup>rr</sup> 19.000 à 24.000 tonnes d'éponge sur une période de 15 ans.

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	77/150

supplémentaire qui étaient prévu en 2014 mais le projet semble reporté sine die ;

- L'autre producteur d'éponge japonais, Osaka Titanium Corp. (OTC) a augmenté la capacité de son usine de Kishiwada à Amagasaki de +6.000 t/an en 2011 pour atteindre la capacité actuelle de 40.000 t/an.

#### ⇒ Arabie – Saoudite

En Janvier 2014, les groupes saoudiens Tasnee (*National Industrialisation Company*) et Cristal (2<sup>ème</sup> producteur mondial de TiO<sub>2</sub>) ont annoncé la création d'une JV avec le producteur japonais Toho pour construire une usine d'éponge de capacité 15.600 t/an en Arabie-Saoudite. Située à Yanbu à côté de l'usine de TiCl<sub>4</sub> 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<sup>er</sup> 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 de +6.000 t/an en 2011 pour atteindre sa capacité actuelle de 44.000 t/an. Une nouvelle ligne de production de +10.000 t/an est prévue pour 2016. Elle sera qualifiée pour les pièces tournantes aéronautiques.

Une nouvelle usine russe « Solikamsk Magnesium Works (SMW) » a démarré son exploitation en juillet 2009. Sa capacité actuelle est de 5.000 t/an et devrait augmenter à 10.000 t/an en 2018.

#### ⇒ 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 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.

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	78/150

ZTMK a pour objectif de multiplier par deux, voire par quatre, sa capacité de production d'éponge actuelle qui est de 10.000 t/an.

### ⇒ 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 avait 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. 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 27 et Tableau 28 présentés en annexe XLI 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 producteur 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, trois nouveaux sites de production représentant une capacité totale de plus de 20.000 t/an n'ont pu démarrer ou maintenir leur production en raison de la

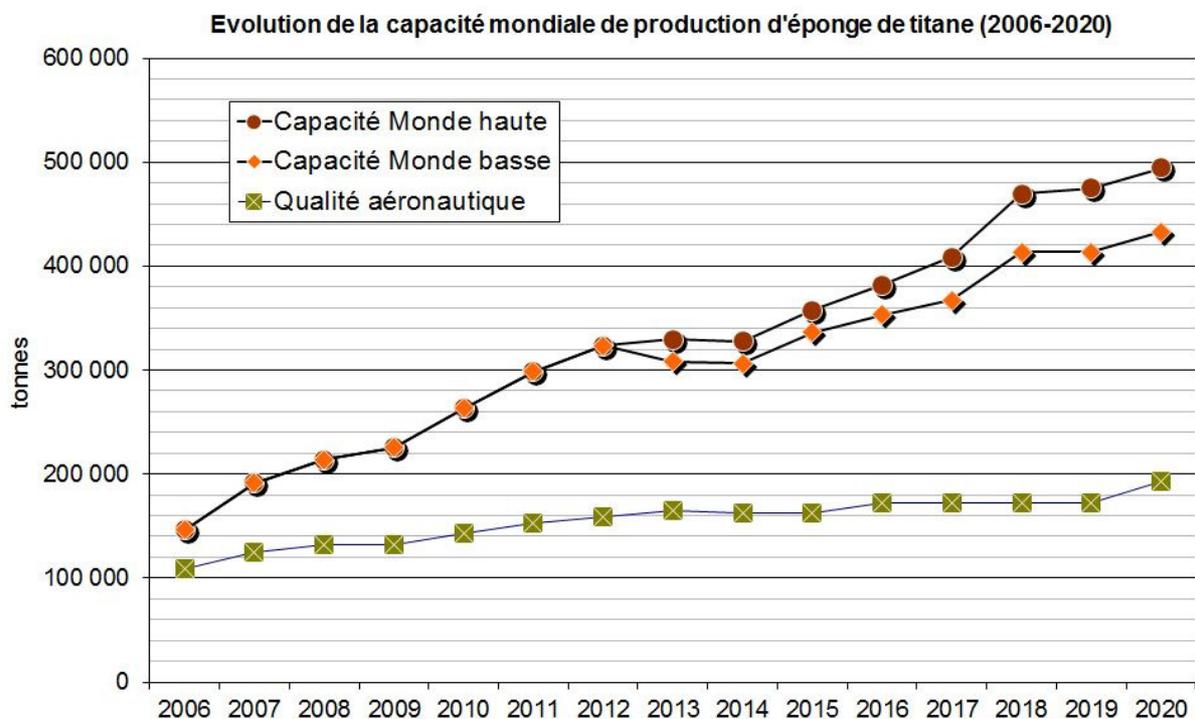
Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	Page
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	79/150

faible demande. De nouvelles capacités sont encore prévues en Chine malgré le contexte économique peu favorable.

### VIII.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 50% des capacités mondiale.

La Figure 45 donne l'évolution des capacités de production d'éponge « aéronautique » comparée aux capacités totales sur la période 2006 – 2020.



**Figure 45: Évolution des capacités de production d'éponge de qualité aéronautique**

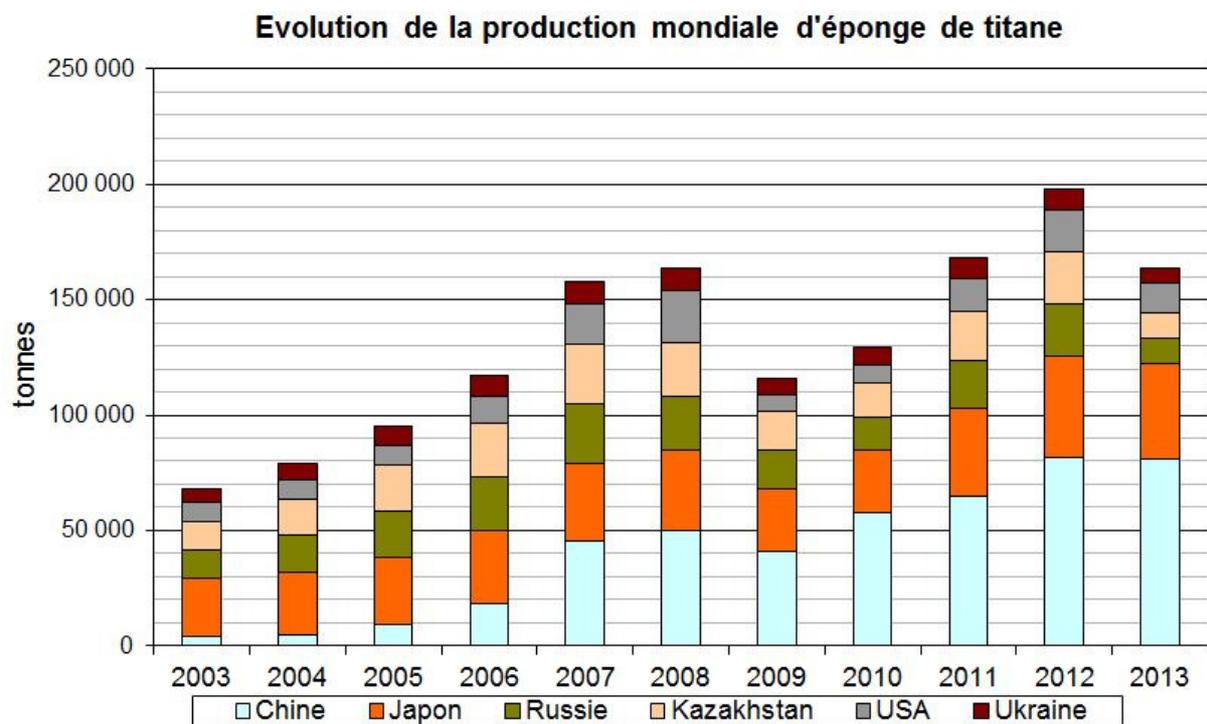
### VIII.2 Évolution de la production d'éponge

La Figure 46 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, la production a rechuté en raison de l'excédent produit en 2012. Les producteurs avaient trop anticipé l'augmentation de la demande associée aux grands projets dans le secteur industriel (usine de dessalement de Yanbu III, voir section VI.3) et la montée en cadence moins rapide qu'espérée du B787 (voir paragraphe IV.1.1).

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	Page
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	80/150

La Chine est le seul pays<sup>ss</sup> 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)<sup>tt</sup>.

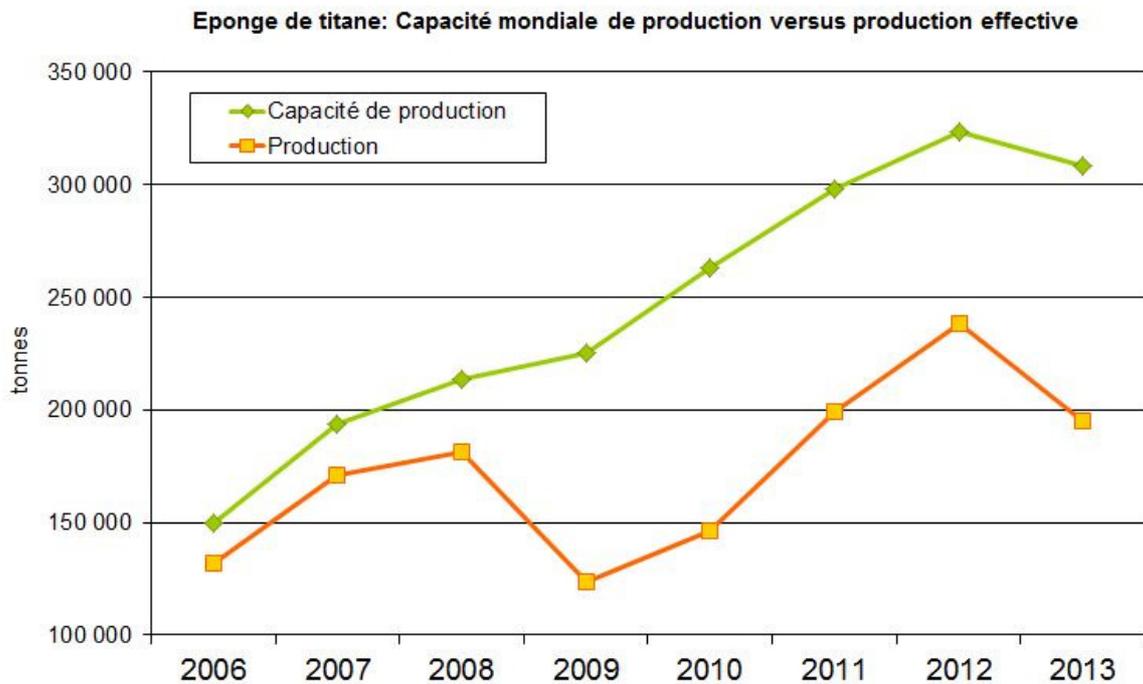
Le graphe de la Figure 47 donne l'évolution comparée entre capacité de production d'éponge et production effective. On constate qu'avant la crise de 2008, les taux d'activité des années 2006 et 2007 avoisinaient les 90%. Dès lors, le marché est nettement sur-capacitaire.



**Figure 46: Évolution de la production mondiale d'éponge de titane**

<sup>ss</sup> Les USA ont mis un terme à leur stock stratégique d'éponge de titane en 2005 (voir section III.1)

<sup>tt</sup> Voir section III.3



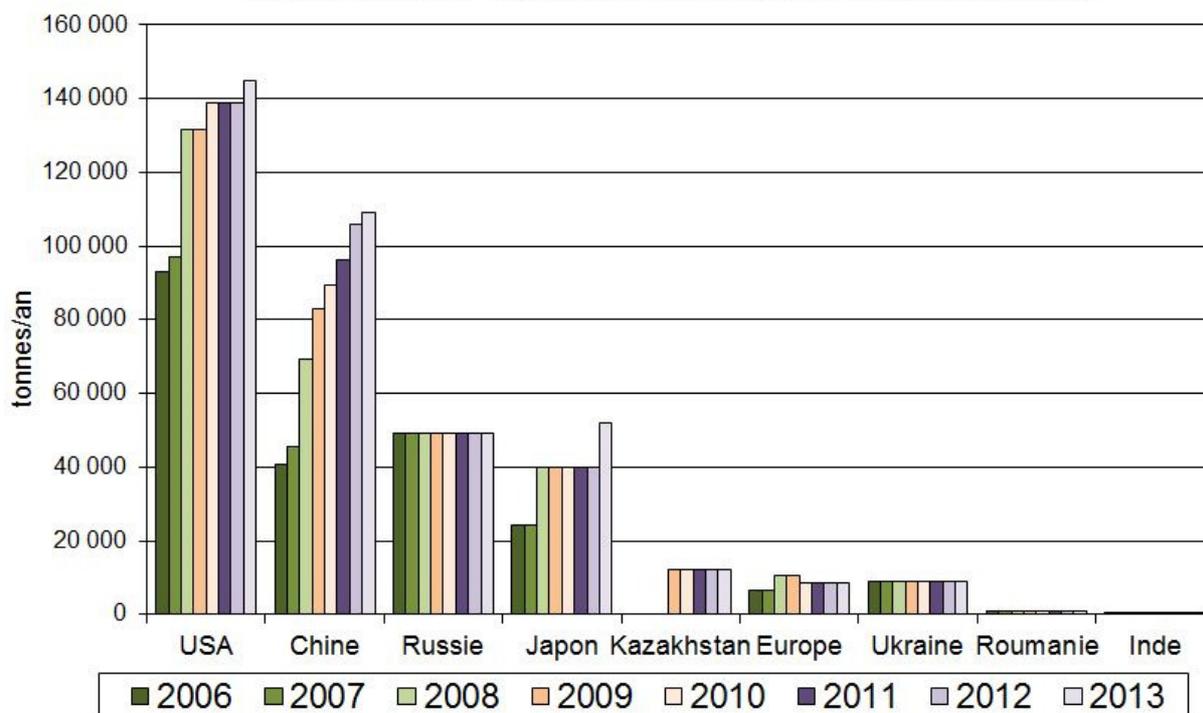
**Figure 47: Capacité et de la production effective mondiale d'éponge**

## **IX LINGOTS & DEMI-PRODUITS EN TITANE**

### **IX.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 48. Les capacités de production européennes appartenant au groupe américain Timet sont comptabilisées aux USA.

### Evolution des capacités de fusion de lingot de titane



**Figure 48: 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 28% 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 67% 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.

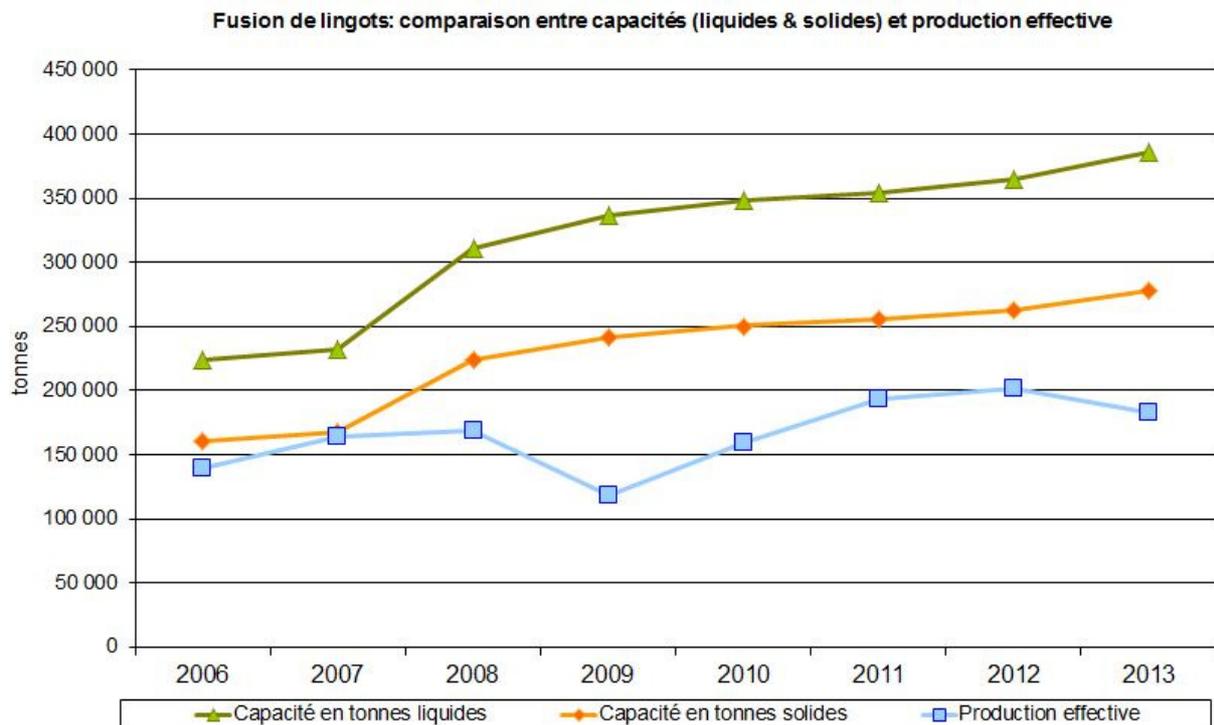
Très majoritairement concentrés aux USA, les fours capables de recycler le scrap de titane (technologie EB, PAM, VIM) sont maintenant présents dans tous les pays producteurs mais ces capacités devraient encore se développer à l'avenir. Le besoin est particulièrement identifié dans les pays disposant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

## IX.2 Évolution de la production de lingot et de ½ produits en titane

La Figure 49 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.

$$\text{Ainsi, « C » est déterminé par : } C = \frac{[\text{Production de lingot 2007}]}{[\text{Capacité en tonnes liquides 2007}]}$$



**Figure 49: Capacité théorique de fusion et production effective de lingot de titane**

Contrairement aux moyens de production d'éponge de titane, les capacités de fusion présentent une marge sur-capacitaire modeste estimée à 25% en 2013.

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

#### ⇒ Kazakhstan

Au Kazakhstan, le producteur UKTMP a entamé une intégration verticale en aval en se dotant d'une capacité de fusion VAR qui a démarré sa production de lingot au 2<sup>ème</sup> 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 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 40.000 tonnes de matricés sur les 10 prochaines années.

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	84/150

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 four EB de capacité 6.000 tonnes/an cofinancé dans le cadre de cette JV devrait finalement démarrer en 2016. Il permettra de 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.

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 nécessite 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<sup>uu</sup> 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 ces 5 dernières années 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.

Fait marquant dans le paysage industriel, le plus important producteur de titane américain Timet 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 et concentre aujourd'hui 20% de l'offre pour le secteur aéronautique, à la 3<sup>ème</sup> place derrière ATI (25%) et VSMPO (30%) et devant RTI (10%). Ce rachat inclue tous les sites industriels, y compris les capacités de production européenne (Timet UK, 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.

---

<sup>uu</sup> Projet Titan

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	85/150

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 production des forgés et des matricés de grandes dimensions : train d'atterrissage, composants de voilure etc. Dans ce cadre, Alcoa exploiterait 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 fournira à l'avionneur des pièces forgées en titane pour le prochain A320neo ainsi que de grands forgés en aluminium pour les A330 et A380. Avec ces accords, Alcoa a consolidé une nouvelle offre pour le secteur aéronautique en élargissant significativement la gamme de ses produits forgés.

RTI est le seul producteur de titane américain qui n'a pas sécurisé en amont des capacités intégrées de production d'éponge. Il s'approvisionne principalement via des contrats long terme avec les producteurs japonais Toho et OTC. Ses capacités de fusion n'ont pas augmenté mais, en revanche, il a mené une politique soutenue 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 racheté 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 acquisition. Il 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 sur à Salda en Russie, ce site réalise l'usinage des grandes pièces forgées chez VSMPO qui sont ensuite expédiées aux USA pour les dernière 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. Peu de temps après cet accord, la crise ukrainienne venait refroidir les relations de la Russie avec les pays occidentaux.

En 2010, VSMPO-AVISMA a pris le contrôle d'Uralredmet le producteur russe de vanadium, de molybdène, de niobium et de terres rares. Cette acquisition avait deux objectifs:

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	Page
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	86/150

- La sécurisation des approvisionnements de VSMPO en éléments d'alliage par une intégration verticale en amont ;
- La consolidation stratégique d'un noyau dur industriel dans le secteur des matières premières stratégiques voulue par le Kremlin.

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.

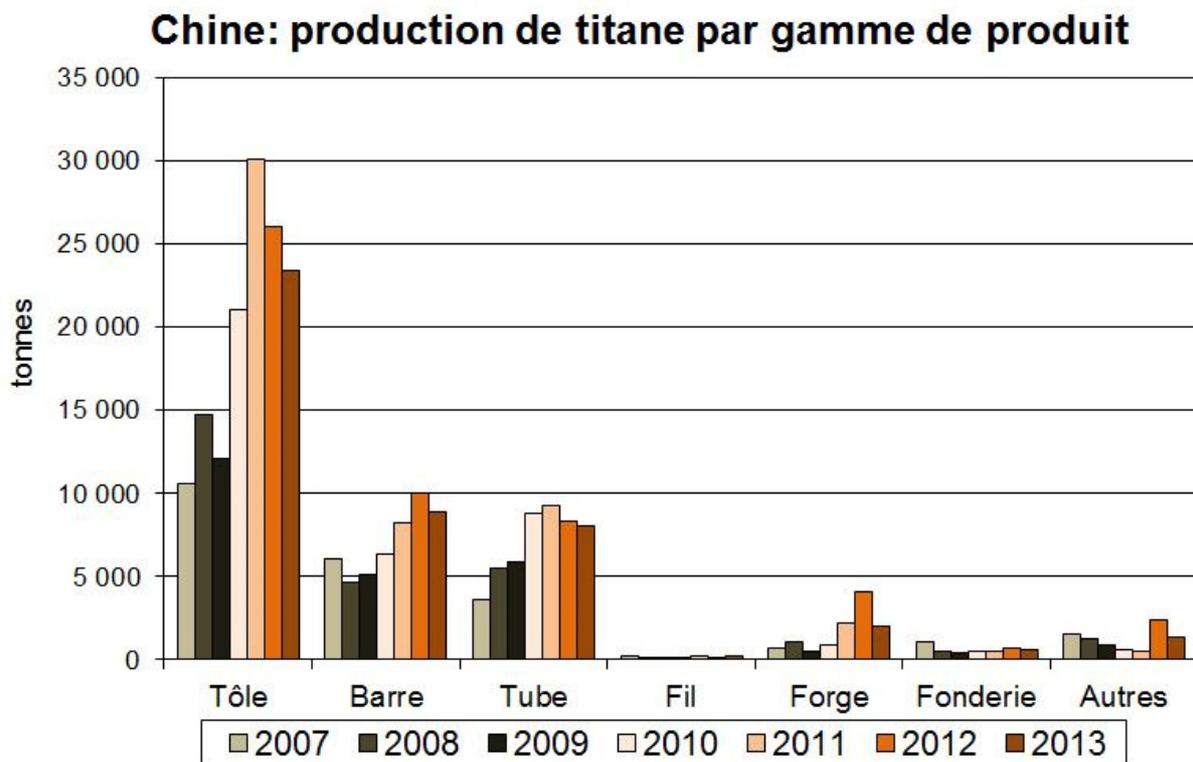
#### ⇒ **Ukraine**

Le producteur d'éponge ZTMK contrôlé par le groupe DF devait finaliser en 2011 un programme d'intégration vertical en installant une capacité de fusion EB de 1.000 t/an permettant de fabriquer des lingots ou des slabs. Dans le contexte actuel en Ukraine, ce projet est repoussé sine die.

#### ⇒ **Chine**

En Chine, l'augmentation de capacité de fusion depuis 2010 a porté sur +20.000 t/an exclusivement 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.10], une trentaine d'industriels transforment le titane en produits plats et longs. La Figure 50 donne la répartition de cette production entre 2007 et 2013.



**Figure 50: Production chinoise par type de produit**

## X NOUVEAUX PROCÉDES D'EXTRACTION

Nous abordons dans ce chapitre les développements technologiques qui peuvent potentiellement 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 menées<sup>52</sup> pour remplacer le procédé Kroll, nous passerons en revue celles qui font l'objet de développements ayant un potentiel industriel :

- 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 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).

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	88/150

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 disparues depuis 2010, une équipe de l'Université de Bradford a présenté en 2014 ses travaux sur une nouvelle approche.

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.

## **X.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 rapport<sup>53</sup>.

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<sup>vv</sup> et aux USA<sup>ww</sup>. 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

<sup>vv</sup> Financement de la « Defence Research Agency » puis de QinetiQ (R.-U)

<sup>ww</sup> « DARPA Initiative in Titanium » piloté par Timet sur financement de la « Defence Advanced Research Projects Agency »

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	89/150

chimie semble moins complexe que celle du titane. Pour le titane pur et les alliages contenant plus 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 t/an pour 2013-2014. Ces moyens de production ne semblent pas avoir été mis en service.

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.

## **X.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.49].

La société ITP a été rachetée en 2008 par le groupe international d'origine saoudienne Cristal<sup>54</sup> offrant ainsi au procédé Armstrong une source d'approvisionnement

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	90/150

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 précompactées.

### X.3 Procédé MER

Le procédé électrolytique MER<sup>55</sup> 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 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<sup>xx</sup> 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<sup>yy</sup> aux USA datent de 2011.

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).

### X.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

<sup>xx</sup> Plaques de protection balistique en alliage de titane et réalisation d'assemblages  $TiB_2/Ti$  par PTA (Plasma Transfer Arc)

<sup>yy</sup> United States Environmental Protection Agency

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	91/150

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  $\text{CaCl}_2$ .

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 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.

## **X.5 Poudres d'hydrure de titane (procédé HDH)**

Les poudres d'hydrure de titane ( $\text{TiH}_2$ ) 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  $\text{TiH}_2$  par un procédé Kroll modifié où le Mg liquide est partiellement remplacé par du  $\text{H}_2$  gazeux pour la réduction du  $\text{TiCl}_4$ . 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 ADMA<sup>56</sup> 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, de semble pas si important. La Figure 80 en annexe XLIII 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<sup>zz</sup> 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.

Par ailleurs, l'Université de l'Utah aux USA a développé une approche alternative pour l'emploi direct des poudres de  $\text{TiH}_2$  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

<sup>zz</sup> Defense Appropriations Act Congressional Award

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	92/150

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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> ne s’oxydent pas à l’air ;
- la bonne cinétique de densification par l’autodiffusion du titane pendant le frittage.

## **X.6 Procédé TiRO**

Le procédé TiRO est développé par l’organisation australienne CSIRO<sup>aaa</sup>. Basée sur le même principe que Kroll, le procédé TiRO permet de produire du titane métal par réduction continue de TiCl<sub>4</sub> 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.

## **X.7 Procédé CSIR**

CSIR<sup>bbb</sup> 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<sub>4</sub> en bain de sel<sup>57</sup>.

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). Les partenaires vont démarrer une unité pilote en

<sup>aaa</sup> Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation

<sup>bbb</sup> Council for Scientific and Industrial Research

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	93/150

2013 qui utilisera les poudres (titane pur et alliages) fabriquées par CSIR à partir du 2<sup>ème</sup> trimestre 2013 au rythme de 2 kg/h.

## **X.8 Procédé Bradford**

En 2014, l'Université de Bradford a présenté ses travaux de laboratoire ayant pour objectif de réduire directement le TiO<sub>2</sub> (anastase) par réaction avec du calcium<sup>58</sup>. Le procédé présente l'intérêt de consommer très peu d'énergétique (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'issu du processus, l'Université de Bradford a obtenu une éponge de pureté > 98% 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).

## **XI INNOVATIONS DANS LES PROCEDES DE MISE EN ŒUVRE**

### **XI.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)*<sup>59</sup>. 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 menées 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 :

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	94/150

- 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 par une buse placée sur l’axe de la tête laser (Laser Metal Deposition). La technique permet de fabriquer des pièces complètes mais également de procéder à des réparations par rechargement de matière sur des pièces existantes.

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 par LZN (Laser Zentrum Nord) pour fabriquer des pièces d’attache pour l’A350XWB d’Airbus.

Les USA sont leader dans le domaine. Ils regrouperaient 38% des capacités mondiales de fabrication suivis par le Japon (10%) 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.

Les méthodes additives étant assez récentes, la Chine a investi 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 avions de combat J-15, J-16 et J-20 ainsi que sur 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.

## **XI.2 Méthodes par consolidation directe de poudre**

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 ».

Ainsi, 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 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

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	95/150

technologie permet d'envisager la fabrication de pièces de structure aéronautique pouvant aller jusqu'à 200 à 300 kg ou un volume pouvant atteindre 1,2 m<sup>3</sup>.

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 (travaux en cours sur différents procédés électrolytique, dont le procédé FFC et sur de nouvelles technologies de production directe de fil titane).

### **XI.3 Développements dans les technologies de soudage**

Les développements de technologies de soudage automatisées<sup>60</sup> 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...).

## **XII 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 XVI) ou assemblés

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	96/150

par soudage MIG<sup>ccc</sup> pour former des électrodes « totem » refondues ensuite par le procédé VAR<sup>ddd</sup>.

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* »). Ils peuvent être utilisés directement ou transformés en ferrotitane. 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* »).

## XII.1 Capacités de recyclage

### ⇒ USA

Les Etats-Unis sont pionniers dans le domaine du recyclage du titane. En 2014, la capacité mondiale de fusion par recyclage représentait environ 110.000 t/an, soit 30% de la capacité mondiale totale (voir section IX.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.

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

**Tableau 13: Consommation de scrap de titane aux USA [réf.7]**

### ⇒ 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. La proportion de scrap

<sup>ccc</sup> « *Metal Inert Gas* » : technique de soudage

<sup>ddd</sup> « *Vacuum Arc Reduction* » : technique de fusion sous vide par électrode consommable

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	97/150

utilisée serait maintenant de l'ordre de 20 à 25%, le reste étant utilisé en sidérurgie. Les moyens de traitement des déchets de titane sont internes à VSMPO.

#### ⇒ 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 (inférieur à 10%). Le reste est utilisé en sidérurgie ou exporté vers les USA et le Royaume-Uni (2 à 4.000 t/an). 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 (probablement inférieur à 5%) 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 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 d'une capacité de 4.000 t/an. En juillet 2013, Aubert & Duval a annoncé son intention de démarrer un grand projet de recyclage de titane porté par sa joint-venture UKAD. Ce projet a été confirmé en novembre 2014 avec la possibilité de démarrer une capacité de fusion PAM sur le sol français.

## **XII.2 Production de scrap de titane**

Nous présentons dans le Tableau 14 une estimation de la production mondiale de déchets de titane. Le calcul 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.

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	98/150

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

**Tableau 14: Estimation de la production mondiale de scrap de titane**

### **XII.3 Volumes de scrap de titane recyclés dans la filière titane**

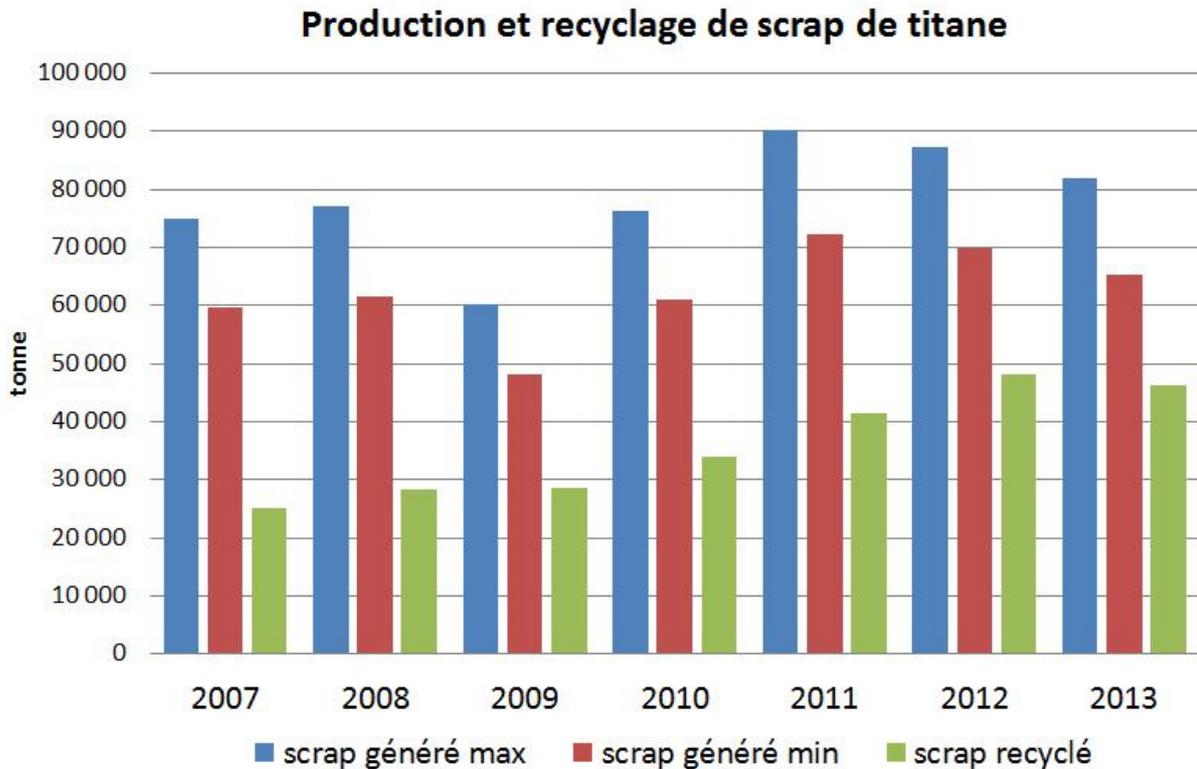
Sur ces quantités théoriques calculées précédemment, seulement une fraction est effectivement valorisée par économie circulaire. Le scrap le mieux valorisé est le déchet de cycle court (fusion, demi-produits) qui, souvent, est recyclé en interne chez les producteurs de titane disposant des moyens de fusion adaptés.

Comme indiqué dans le section III.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.

Grace 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 15 une estimation des volumes de titane recyclés dans la filière titane et, dans la Figure 51, la comparaison avec les quantités de scrap recyclable.

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

**Tableau 15: Estimation des volumes de scrap de titane recyclés dans la filière**



**Figure 51: Production et recyclage de scrap de titane dans la filière**

#### **XII.4 Consommation de scrap de titane par les autres filières métallurgiques**

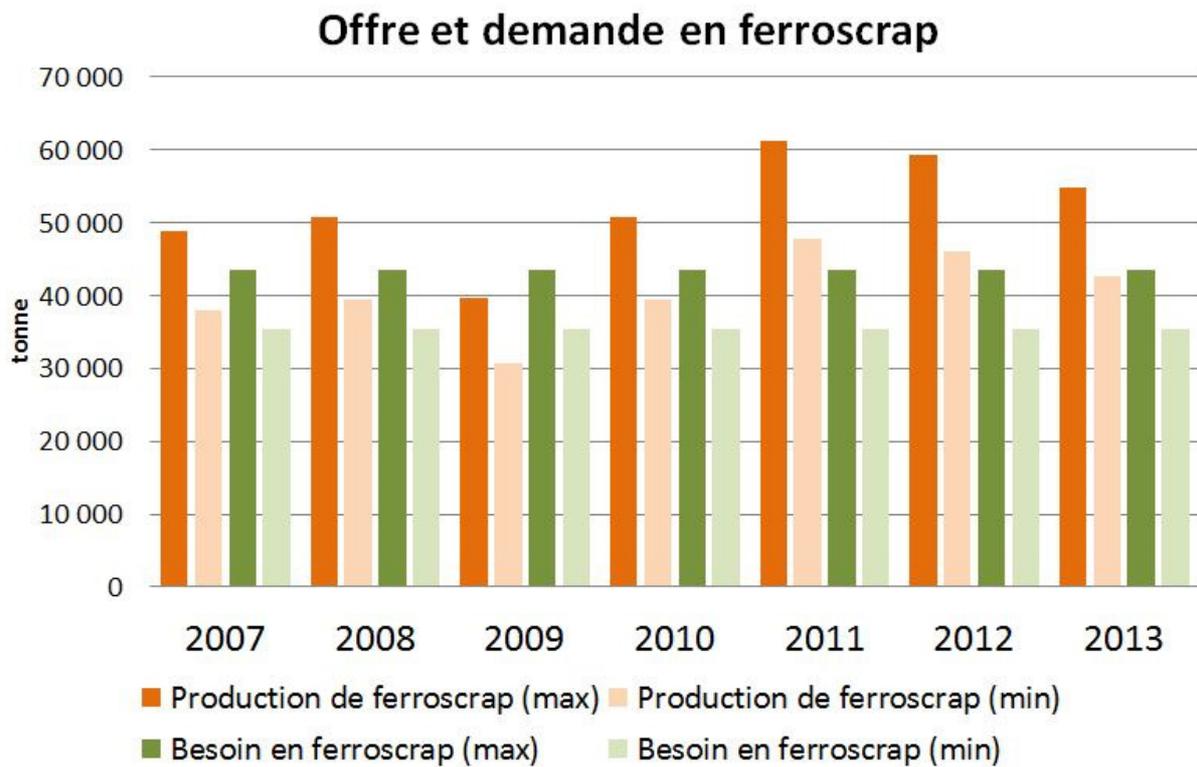
Le scrap de titane non recyclable au sein de la filière titane peut être valorisé comme élément d'addition dans d'autres filières métallurgiques (acier bas carbone, inox, superalliages etc.). Ces filières utilisent en priorité le scrap de titane non recyclable pour des raisons de coût mais, en fonction 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%<sup>eee</sup> alors que la qualité à faible teneur, produite sans adjonction de scrap de titane, est le FeTi30% :

- 1 kg de FeTi70% nécessite 0,79 kg de scrap de titane<sup>61</sup> ;
- 1 kg de FeTi30% ne consomme pas de scrap de titane.

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 52 ci-dessous fait la synthèse

<sup>eee</sup> 70% de titane contenu

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 14).



**Figure 52: Offre et demande en ferroscrap de titane**

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	Page
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	101/150

## *TROISIEME PARTIE: EQUILIBRE OFFRE-DEMANDE*

### CHAPITRE XII

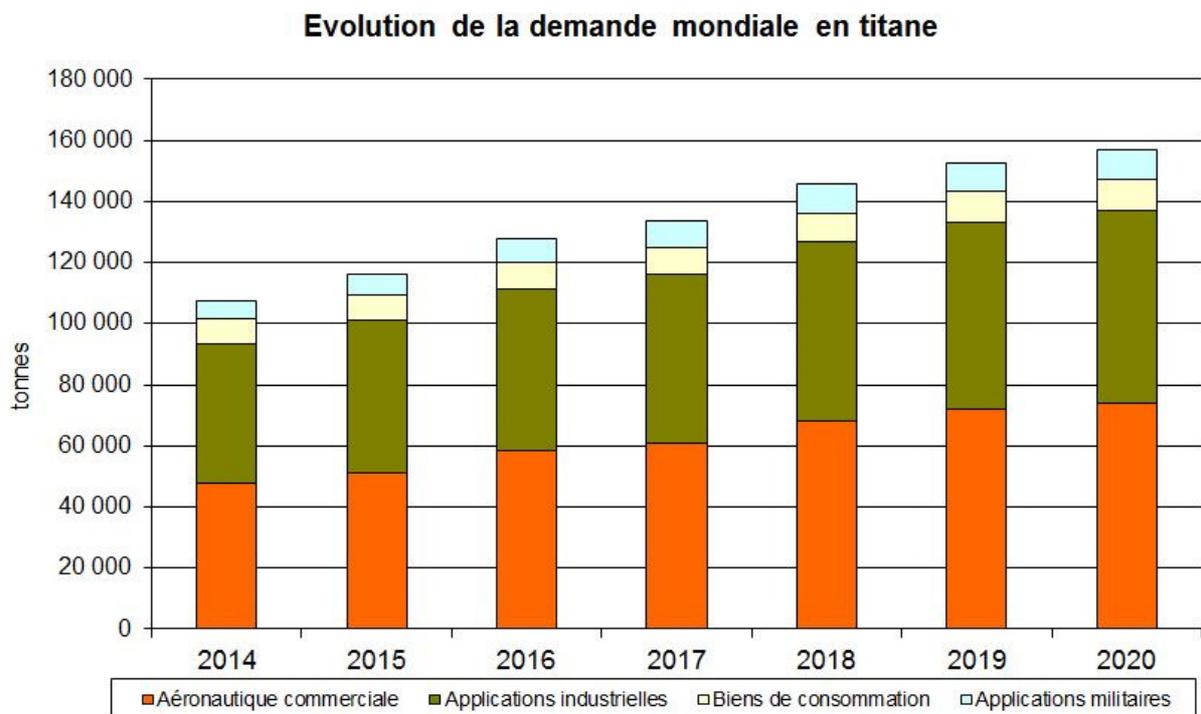
#### **Résumé :**

L'étude de l'offre et de la demande à l'horizon 2020 met en évidence une offre sur-capacitaire en éponge de titane et un risque de sous-capacité en moyens de fusion dès 2019. Les filières de production orientées aéronautique seront plus particulièrement concernées par un risque de goulot d'étranglement au niveau des capacités de fusion. Le phénomène sera accentué si les cadences de production augmentent plus vite que prévu, surtout si les programmes concernés sont ceux des nouveaux avions A350, A380 et B787 qui consomment beaucoup plus de titane que les autres. Du côté des applications industrielles, le marché du dessalement est potentiellement source de tension sur les conditions d'approvisionnement car l'apparition de nouveaux super-projets capables de consommer plusieurs milliers de tonnes est possible.

A plus long terme, l'énergie thermique des mers est un nouveau domaine d'emploi du titane à très fort potentiel. A raison de 1.000 à 1.200 t de titane par tranche de 1.000 MW et un besoin mondial pouvant aller jusqu'à 577 GW, on mesure l'impact que pourrait avoir cette nouvelle technologie sur la consommation de titane.

### XIII SYNTHÈSE DE L'ÉVOLUTION DE LA DEMANDE MONDIALE

A partir des prévisions de la consommation de titane détaillées dans les chapitres IV à VII, nous présentons dans la Figure 53 la synthèse de l'évolution de la demande qui constitue le scénario de référence. Le taux de croissance moyen sur la période 2013-2020 est de 5,75%/an.



**Figure 53: Évolution de la consommation mondiale de titane (scénario de référence)**

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

- L'emploi croissant du titane dans la conception des avions commerciaux modernes (compatibilité du titane avec les composites et hautes performances spécifiques) et l'augmentation des cadences de production dans l'aéronautique (effet volume) liées aux excellentes perspectives à 20 ans du trafic aérien;
- Le développement de l'outil de production industriel chinois, dans le domaine de la chimie en particulier, et de la production d'énergie, nucléaire en particulier. Le titane est utilisé en raison de sa résistance à la corrosion ;

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	103/150

- Les médiocres perspectives de consommation de titane dans les biens de consommation en raison de son prix élevé (exception faite de marché très porteur comme le médical mais dont l’impact sur la consommation global est faible) ;
- La baisse de la demande en titane dans le domaine de la Défense en raison des coupes budgétaires sur les programmes d’armement dans les pays occidentaux.

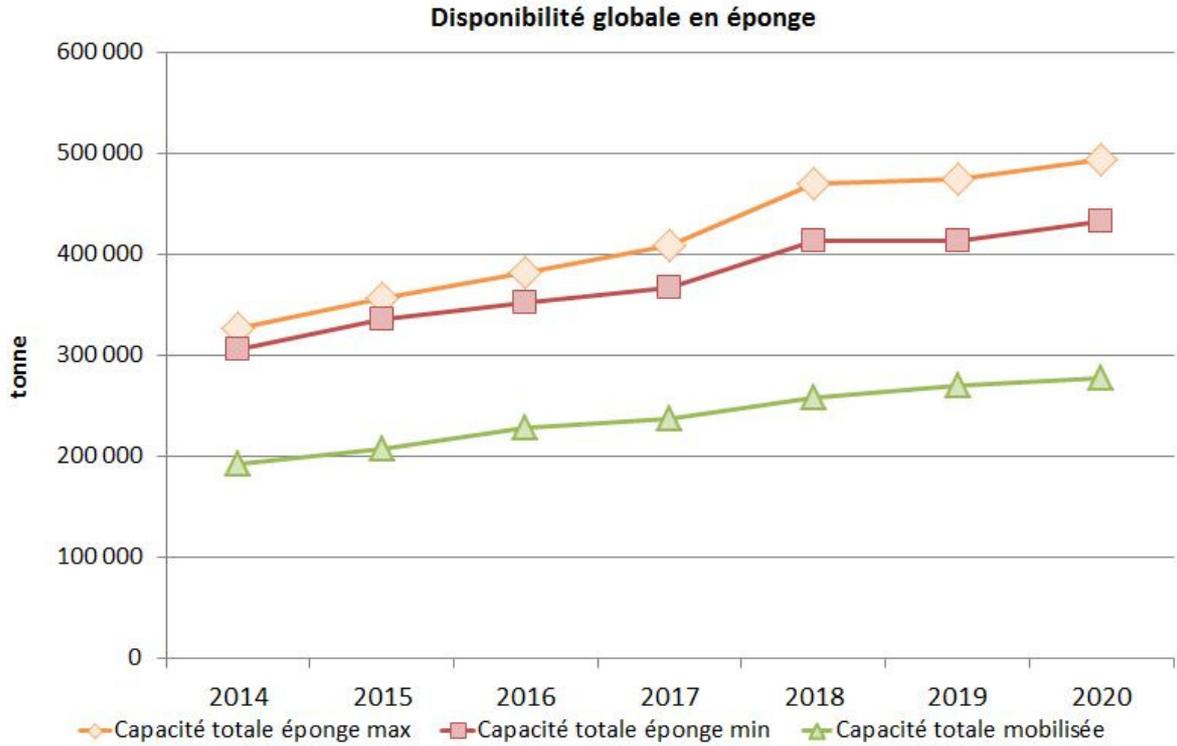
Dans les sections suivantes, nous complétons ce scénario de référence par quelques commentaires sur la sensibilité du modèle aux hypothèses de calcul les plus significatives.

#### **XIV ANALYSE DE L’EQUILIBRE OFFRE – DEMANDE**

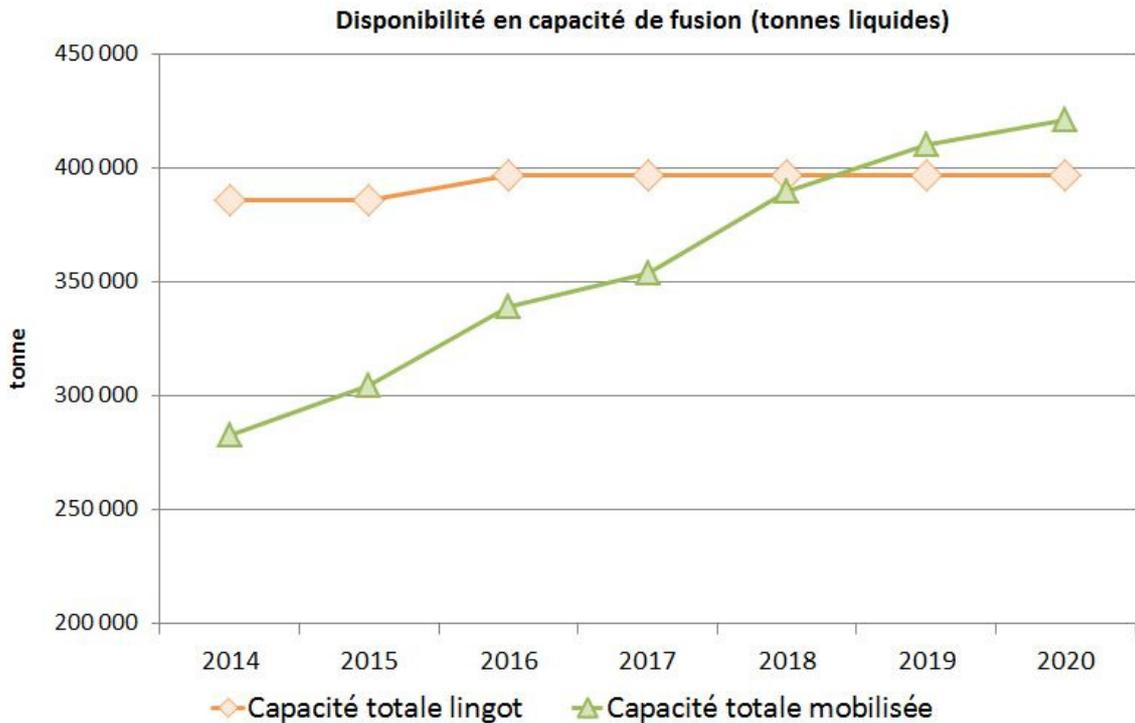
Nous présentons dans la Figure 54 l’équilibre entre l’offre et la demande en éponge, toutes qualités confondues, pour la période 2014 – 2020.

On constate que le marché est et restera en situation sur-capacitaire au moins jusqu’en 2020 et que le taux de croissance des capacités est, en moyenne, équivalent à l’augmentation de la demande. Il est important de noter que le besoin en éponge que nous calculons tient compte du fait que la filière utilise également le scrap de titane recyclé comme matière première en complément de l’éponge.

En revanche, on constate dans la Figure 55 que les capacités de production de lingot deviendront sous-capacitaires à partir de 2019. Cette estimation tient compte du fait que les produits aéronautique nécessitent deux voire trois refusions. Ainsi, les investissements en capacité de fusion consentis ces 4 dernières années ont permis de repousser d’autant l’échéance de cette situation sous-capacitaire mais, l’augmentation de la demande étant ce qu’elle est, de nouveaux moyens de fusions devront être mis en service pour y faire face. En 2020, le besoin supplémentaire serait de 24.000 t/an.



**Figure 54: Equilibre offre-demande pour l'éponge**



**Figure 55: Equilibre offre-demande pour la production de lingot**

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	105/150

## **CONCLUSION**

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	Page
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	106/150

## XV CONCLUSION

Le marché du titane n'est pas encore totalement libéré des effets de la crise des *subprimes* qui a impacté la demande à partir du 3<sup>ème</sup> trimestre 2008. Le prix de l'éponge de titane de qualité métallurgique est passé en un an de 8 \$/kg à 2 \$/kg. Puis le marché est reparti à la hausse pendant deux années pleines jusqu'au 3<sup>ème</sup> trimestre 2011 avant d'entamer à nouveau un cycle de décroissance qui semble avoir pris fin au dernier trimestre 2014. Sur ce second cycle, le prix de l'éponge a culminé à 10 \$/kg.

*Au niveau de demande mondiale*, le marché du titane est globalement en croissance. Il a doublé en volume entre 2003 et 2008 pour atteindre 100.000 t. Après la chute brutale de 2009 à 75.000 t, le marché a connu une nouvelle phase de croissance en 2011 puis est repassé par un minimum en 2013 à 110.000 t. Fin 2014, les indicateurs semblent être redevenus favorables avec une reprise de l'activité au dernier trimestre. Au final, la prévision de consommation pour 2014 est à peine supérieure à 2013 et les perspectives à la hausse jusqu'en 2020 avec un taux de croissance de 5,75%/an en moyenne. A cette échéance, la demande mondiale en titane devrait approcher les 160.000 t.

Le **secteur aéronautique** est un des deux piliers de la consommation de titane avec 30 à 45% de la demande mondiale. Le titane est utilisé sous la forme d'alliages à haute technicité dont on valorise les bonnes performances mécaniques spécifiques (rapportée à sa densité), tant dans les structures que dans les moteurs. Les approvisionnements sont cadrés par des contrats à moyen et long termes pour sécuriser les besoins en volume fixés par les cadences de production des avions.

Jusqu'en 2008, la croissance a été très forte pour répondre aux besoins des programmes en cours : elle est passée en 5 ans de 16.000 t à 44.000 t. En 2008, la réduction des cadences de certains programmes et l'arrêt de la politique de sur-stockage de Boeing pour son programme Dreamliner 787 ont eu pour conséquence une forte baisse de la demande qui est retombée à 29.500 t. Depuis 2010, la consommation aéronautique n'a cessé de progresser, en volume mais aussi en part de marché. En d'autres termes, alors que le contexte économique affectait globalement l'activité, la demande aéronautique a maintenu un cap de croissance. **Cette relative stabilité est un fait nouveau dans les déterminants de la demande**, l'aéronautique jouant jusqu'alors un rôle prépondérant dans l'instabilité du marché. Nous attribuons cette évolution à la robustesse des perspectives dont bénéficie le secteur avec 35.000 nouveaux avions à fabriquer dans les 20 prochaines années et plus de 11.000 déjà en commande. Au rythme des évolutions de cadences prévues, la visibilité sur la demande en titane peut être donnée sur 7 ans, période que nous avons retenue pour nos prévisions. **Nous avons estimé la consommation de titane pour l'ensemble du secteur aéronautique à**

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	107/150

**75.000 t à l'horizon 2020.** Le taux de croissance moyen entre 2014 et 2020 est estimé à 7,39%/an.

L'autre grand pilier de la demande en titane est le **secteur des applications industrielles** qui représente, selon les années, entre 35 et 55% de la consommation mondiale. Le titane est utilisé pour sa très bonne résistance à la corrosion dans de nombreuses applications de l'industrie chimique et dans les 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.

Entre 2003 et 2008, la consommation est passée de 21.500 t à 37.000 t avec une forte proportion de la demande en provenance de la Chine pour le développement de son industrie et de ses capacités énergétiques. En 2009, la crise économique a gelé de nombreux projets d'investissement et fait chuter la consommation à 27.000 t. Le fait marquant pour le secteur des applications industrielles est **l'émergence de « super-projet » dans le domaine du dessalement** qui a marqué la demande en titane par l'ampleur de leurs besoins. Entre 2010 et 2013, deux projets aux Moyen-Orient ont absorbé la quantité considérable de 12.000 t de titane, dopant ainsi la demande à 67.500 et 61.500 t en 2011 et 2012. Les effets sur l'équilibre offre-demande ont été plutôt bénéfiques car, dans la même période, la catastrophe de Fukushima a bloqué temporairement l'activité dans le nucléaire et globalement les effets de la crise ont fait baisser l'activité en 2012 et 2013. Ce n'est que fin 2014 que la demande est repartie à la hausse et les perspectives d'évolution sont en croissance en moyenne de 4,7%/an entre 2014 et 2020.

Nous attirons l'attention sur le fait que **le risque d'instabilité sur ce secteur de consommation** a augmenté avec le développement de projets industriels de très grande capacité comme dans le dessalement. En fonction des technologies retenues, chaque grand projet peut potentiellement consommer de quelques centaines à plusieurs milliers de tonnes de titane.

A plus long terme, la demande en titane dans le secteur industriel pourrait être transformée par l'émergence de la production **d'énergie thermique des mers (OTEC)**. Actuellement en phase de test dans quelques unités pilotes, cette technologie pourrait consommer en phase d'industrialisation plusieurs milliers de tonnes de titane pour chaque centrale.

Plus modeste en termes de volume, les **applications militaires** représentent un domaine d'emploi stratégique pour les pays industrialisés et ceux en voie de développement. Il est utilisé surtout sous la forme d'alliages, pour des applications techniques et spécialisées nécessitant des savoir-faire pointus. Tous les domaines de l'armement sont concernés par son

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	108/150

emploi : les avions, les bateaux, les sous-marins, les missiles, les blindages de véhicules, les satellites etc.

Globalement en croissance, la demande est passée par un pic en 2006 que nous avons estimé à 12.000 t. Depuis, les restrictions sur les budgets de Défense dans les pays occidentaux se sont traduits par **une baisse de la consommation** de titane de presque la moitié. Il convient toutefois de signaler qu'aucune statistique officielle n'existe dans ce domaine pour des raisons évidentes de confidentialité. Dans les 20 prochaines années, c'est le nouveau programme d'avion multi-rôle F-35 *Joint Strike Fighter* mené par les USA en coopération avec 8 autres pays qui représentera la plus forte demande en titane militaire.

La plus grande incertitude porte d'une part sur les quantités de titane consommées en Chine pour les programmes d'armement aéronautique et, d'autre part sur les besoins dans le domaine naval, à l'export, pour la Russie.

Enfin, le titane est utilisé dans le secteur des **biens de consommation** pour des produits plutôt haut de gamme voire de luxe. Il bénéficie auprès du grand public d'une bonne notoriété mêlant confusément technicité et performance. Concrètement, son potentiel d'emploi basé sur les propriétés physiques et mécaniques est considérable dans des domaines comme l'automobile ou la construction navale mais son prix empêche son développement. Le marché le plus porteur est le **médical** car la propriété de biocompatibilité du titane lui offre un avantage concurrentiel face aux autres métaux dans ce secteur en forte croissance.

La consommation pour le secteur des biens de consommation représentait environ 12% de la demande mondiale et a suivi la croissance du marché jusqu'en 2008 pour atteindre 12.000 t. Elle a ensuite décliné en volume et en part de marché jusqu'en 2013 avec respectivement 7.500 t et 7%. Seul le médical a maintenu sa croissance et devrait poursuivre son développement jusqu'en 2020 et au de-là.

*Du côté de l'offre*, le paysage industriel a notablement évolué depuis une dizaine d'années. Les **capacités de production d'éponge de titane** ont plus que triplé entre 2003 et 2013. Elles sont actuellement de **310.000 t/an**.

La Chine a fait la plus forte progression en passant de 7.000 t/an à 130.000 t/an sur cette période. Elle concentre aujourd'hui un tiers des capacités mondiales. Pourtant, un défi capacitaire de taille reste à relever pour ce pays : c'est celui de la qualité. En effet, **aucune éponge chinoise n'est qualifiée pour un usage aéronautique**. C'est un objectif prioritaire pour ce pays qui ambitionne de développer son aviation, tant dans le domaine civil que dans le militaire. Jusqu'à présent basées sur les technologies soviétiques utilisant le slag de titane, il est possible que la Chine s'oriente vers les méthodes de transformation à partir du rutilé telles que celles utilisées aux USA. Compte tenu qu'une qualification au standard international nécessite environ 4 ans, nous ne prévoyons pas de concurrence d'une éponge aéronautique chinoise avant 2020.

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	109/150

Parmi les autres pays producteurs d'éponge de titane, c'est le Japon et la Russie qui ont le plus investi dans de nouvelles capacités : le Japon est la seconde plus grande capacité mondiale avec 69.000 t/an et la Russie est 3<sup>ème</sup> avec 49.000 t/an. Alors que la stratégie de la Russie est de maintenir sa position totalement intégrée et autonome en éponge, le Japon poursuit une politique de développement misant sur le potentiel à l'export. Fait marquant sur le marché, ce pays a signé un accord avec l'Arabie-Saoudite pour construire une usine d'éponge sur le sol saoudien en 2018. Cet évènement marquerait **l'entrée d'un pays du Moyen-Orient dans le cercle des pays producteurs d'éponge.**

Bien qu'ils soient grands consommateurs de titane, les USA ne sont pas autonomes en production éponge. Avec une capacité de seulement 26.600 t, les Etats-Unis sont obligés d'importer tous les ans plus des 2/3 de leurs besoins. Le Kazakhstan a maintenu sa capacité de production d'éponge à 26.000 t et l'Ukraine à 11.000 t.

Au total, **les capacités actuelles de production d'éponge de qualité aéronautique sont de 160.000 t/an** soit exactement la moitié de la capacité total. **A l'horizon 2020, la capacité totale pourrait encore croître jusqu'à 500.000 t/an, dont 200.000 t/an pour la part aéronautique.**

**Concernant les moyens de fusion**, elles sont passées de 230.000 t/an en 2003 à **390.000 t/an en 2013**. Sur la période, les USA ont augmenté leurs capacité de +60% et possèdent plus du tiers de la capacité mondiale avec 145.000 t/an. La Chine s'est hissée à la deuxième place avec 109.000 t/an. Le reste des moyens se situent principalement au Japon et en Russie (environ 50.000 t/an chaque).

En 2009, le Kazakhstan a fait le choix de s'intégrer verticalement en se dotant de moyens de fusion pour une capacité totale de 12.000 t/an. Deux filières se sont constituées, l'une pour servir la demande en alliage de titane au travers d'une joint-venture avec la France et l'autre est destinée à alimenter la demande en titane pur et faiblement allié dans le cadre d'une JV avec la Corée du Sud. Les **opérations d'intégration verticale**, par rachat ou par création de JV se sont multipliées aux USA et en transnational entre les USA et la Russie (avant la crise ukrainienne). Parmi les évènements récents les plus marquants, il y a eu en 2013 le rachat de Timet par PCC et la création de la JV entre VSMPO et Alcoa.

Cette orientation de l'offre a pour conséquence **un appauvrissement des possibilités de sourcing** en amont des filières pour les industriels non intégrés verticalement. Outre la sécurisation de l'accès aux matières premières, l'intégration a également pour conséquence de capter les savoir-faire et les innovations sur les procédés.

Concernant les **nouvelles technologies d'extraction**, la révolution attendue depuis plus de 50 ans pour **le remplacement *ceteris paribus* du procédé Kroll n'a pas eu lieu**. Des progrès ont été faits avec des technologies alternatives mais leur développement est long et leur percée sur le marché se fera progressivement en servant des marchés de niche. Parmi les projets qui semblent les plus avancés sur le plan de l'industrialisation il y a les procédés suivants : FFC, Armstrong, MER, HDH, CSIR, TiRO... De nombreuses communications sont

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	110/150

faites sur des partenariats et des lancements d'unités pilote de production pour tous ces procédés mais, pour l'instant, aucun de semble être arrivé à la phase de production industrielle.

Enfin, il faut également citer le développement des technologies de **fabrication additives** appliquées aux pièces en titane. Les procédés sont au point et utilisés depuis plusieurs années pour la production de pièces de petite dimension, en exemplaire unique ou en petites séries. Le fait nouveau réside dans **l'emploi de ces procédés en tant qu'outil de production industriel de masse**. Ainsi, le groupe américain GE a adopté la fabrication additive pour la production d'aubes en TiAl.

*Concernant l'équilibre de l'offre et de la demande*, notre analyse a mis en avant que les capacités disponibles en éponge de titane étant dimensionnées pour répondre aux besoins du marché jusqu'en 2020, et ce, quelle que soit la qualité recherchée. Cette analyse prend en compte la consommation de scrap de titane selon les modes de production industriels spécifiques à chaque filière.

L'augmentation globale de la demande en titane et la croissance de l'activité aéronautique en particulier, justifient que des investissements soient réalisés dans les pays producteurs mais aussi dans les pays transformateurs et consommateurs pour **valoriser les déchets de titane**. Notre analyse des volumes produits et consommés annuellement mettent en évidence les déséquilibres entre production et consommation. Actuellement, la grande majorité du scrap produit dans le Monde est recyclée aux USA après avoir été importé d'Europe et du Japon. **La situation est particulièrement anormale pour l'Europe qui produit de grands volumes de déchets valorisables et ne possède, par ailleurs, aucune capacité de production d'éponge.**

L'autre potentiel de valorisation que la filière titane pourrait exploiter porte sur le recyclage des déchets actuellement qualifiés de « non recyclables ». Ces déchets sont utilisés pour alimenter les autres filières métallurgiques (acier bas carbone, inox, superalliages etc.) mais ils pourraient probablement être mieux valorisés, au moins pour une partie, pour faire des pièces en titane à bas coût.

Pour les capacités de fusion, la situation est plus critique que pour l'éponge puisque nous avons estimé que **l'offre sera sous-capacitaire à partir de 2019** avec les prévisions actuelles d'évolution des moyens de fusion. Globalement **le besoin additionnel sera, en 2020, de l'ordre 25.000 t/an** pour une capacité disponible de 397.000 t/an. Sur la base de ce constat, on peut conclure que toute initiative visant à augmenter la capacité de fusion à foyer froid en Europe est pertinente et souhaitable.

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	111/150

## ***ANNEXES***

## XVI 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.

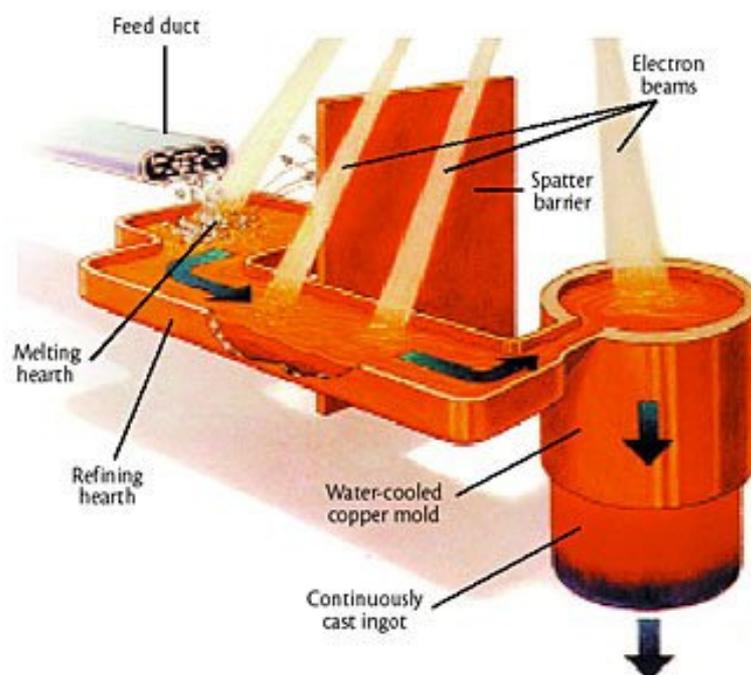
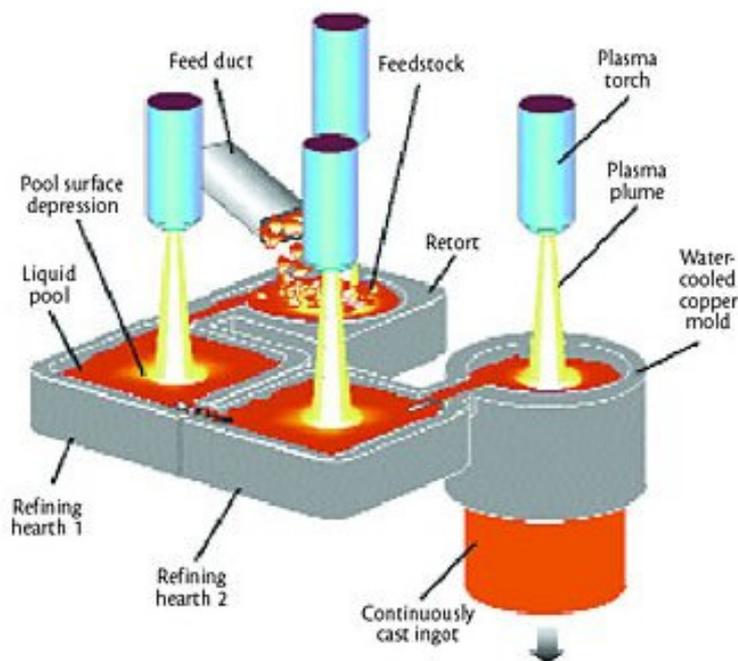


Figure 56: Principe du procédé de fusion par faisceau d'électron EB (source Timet)



**Figure 57: Principe du procédé de fusion par torches 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 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.

**XVII ANNEXE : HISTORIQUE DU PRIX DE L'EPONGE**

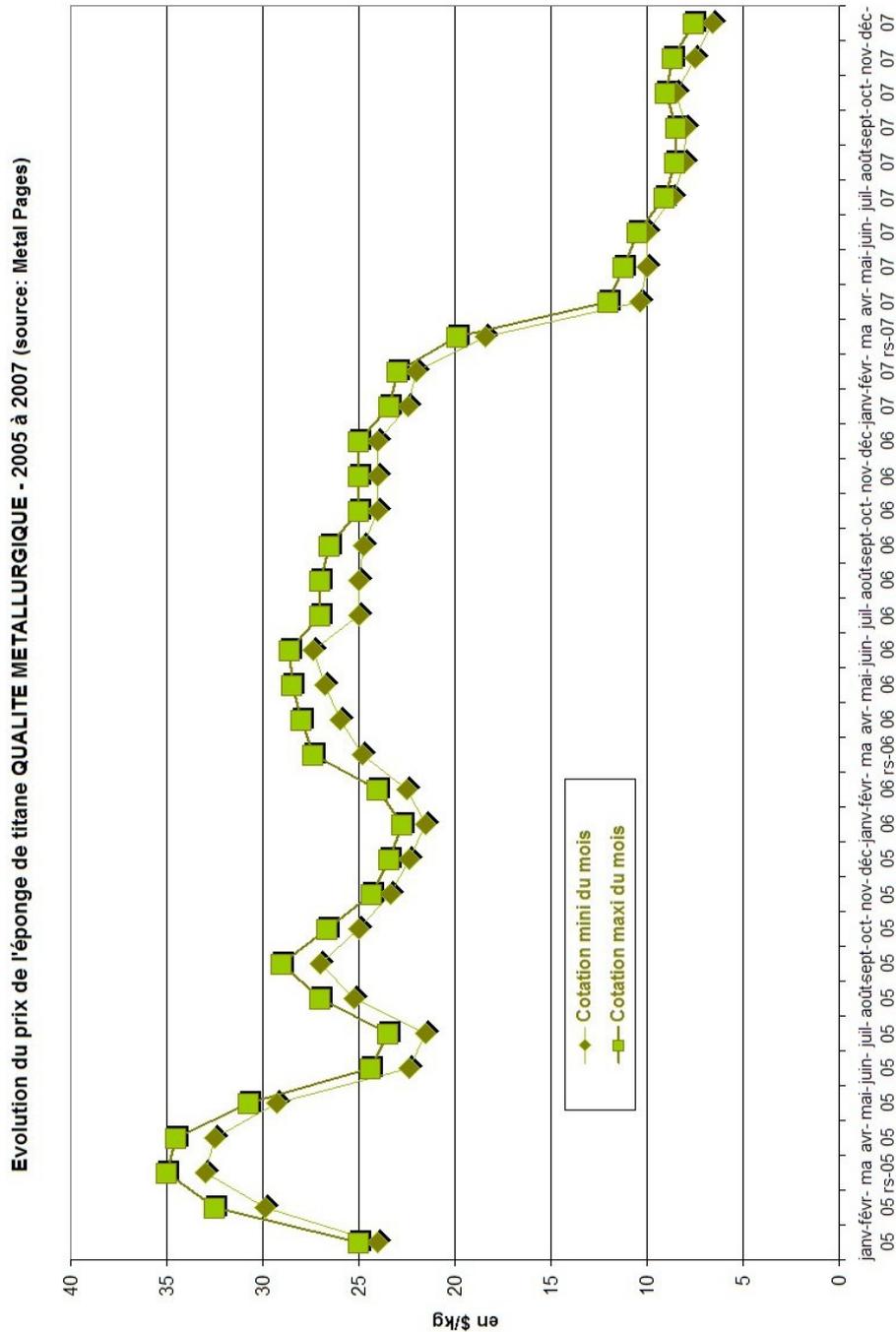


Figure 58: Évolution du prix de l'éponge de qualité métallurgique entre 2005 et 2007 [réf.3]

### XVIII ANNEXE : HISTORIQUE DU PRIX DU FERROTITANE 70%

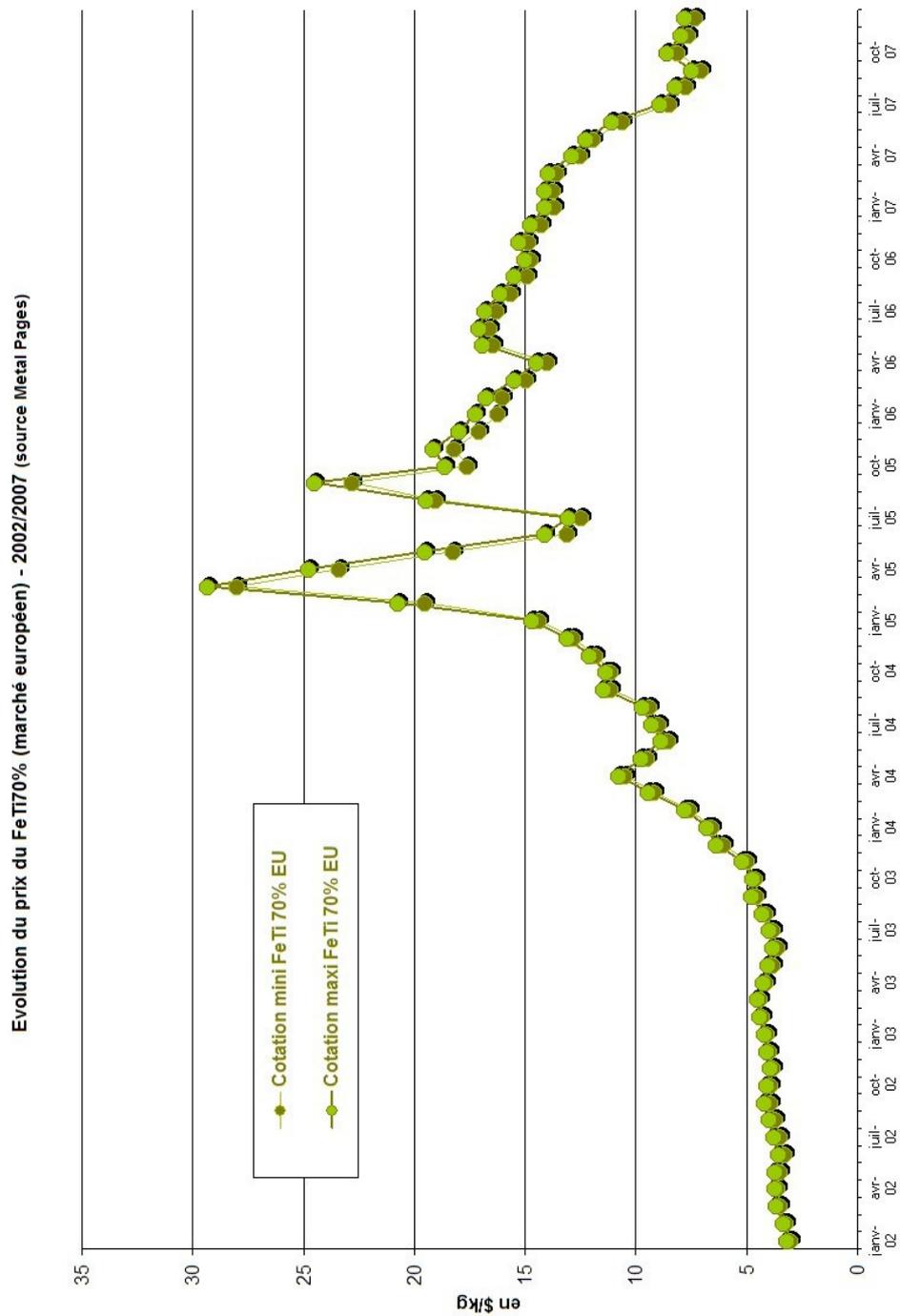


Figure 59: Évolution du prix du ferrotitane 70% entre 2002 et 2007 [réf.3]

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	116/150

## **XIX ANNEXE : SCENARI 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 16: Mécanisme d'évolution des prix et de la disponibilité des matières premières selon l'état du marché**

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	117/150

**XX 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 <sup>er</sup> 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 17: Prix des matières premières en fonction de l'équilibre offre-demande**

**XXI ANNEXE : OFFRE-DEMANDE USA (2010 – 2013)**

TABLE 1  
COMPONENTS OF U.S. TITANIUM METAL SUPPLY AND DEMAND<sup>1</sup>

(Metric tons)

	2010		2011				
	4th quarter	1st quarter- 4th quarter	1st quarter	2nd quarter	3rd quarter	4th quarter	1st quarter- 4th quarter
<b>Production:</b>							
Sponge	W	W	W	W	W	W	W
Ingot	15,100	56,400	14,500	13,800	15,200	16,800	60,300
Mill products	9,580	36,300	9,660	9,860	11,300	9,720	40,500
<b>Exports:</b>							
Waste and scrap	1,460	3,480	1,240	1,230	1,310	1,380	5,150
Sponge	55	293	45	60	36	116	256
Ingot	51	467	36	29	29	157	252
Other unwrought	516	2,570	59	82	182	599	923
Bar, rod, profiles, wire	799	2,830	893	1,000	861	1,300	4,060
Billet	741	2,240	781	889	938	892	3,500
Bloom, sheet bar, slab	472	1,240	279	326	390	562	1,560
Other wrought	2,380	8,450	2,960	3,980	4,490	4,160	15,600
Total	6,470	21,600	6,290	7,590	8,240	9,170	31,300
<b>Imports:</b>							
Waste and scrap	2,820	10,700	2,670	3,960	3,430	3,880	13,900
Sponge <sup>2</sup>	6,420	20,500	7,160	7,910	8,730	9,960	33,800
Ingot	117	237	105	196	115	239	654
Powder	36	119	6	23	21	2	52
Other unwrought	13	88	43	55	23	86	208
Wrought	1,930	8,430	1,560	1,810	1,460	1,370	6,190
Castings	1.00	4	<sup>(3)</sup>	35	12	3	51
Other	72	276	165	158	151	101	574
Total	11,400	40,300	11,700	14,100	13,900	15,600	55,400
<b>Stocks, end of period:</b>							
Sponge, industry	10,500	10,500	7,000	8,490	5,000	10,800	10,800
Scrap	7,900	7,900	8,500	10,400	11,300	12,900	12,900
Ingot	2,920	2,920	3,380	3,470	3,000	3,850	3,850
<b>Consumption:</b>							
Sponge	9,870	34,900	12,600	12,000	12,100	11,700	48,400
Scrap	5,830	29,200	6,750	6,940	9,320	7,850	30,900
Ingot	10,600	40,900	12,200	12,500	15,800	15,400	55,900
<b>Shipments:</b>							
Ingot and slab (producer net shipments)	3,210	13,700	2,950	4,300	4,390	3,770	15,400
<b>Mill products (net shipments):</b>							
Forging and extrusion billet	4,780	19,700	4,810	3,280	4,580	4,110	16,800
Other	4,870	18,500	5,530	11,100	6,550	5,620	28,700
Total	9,650	38,300	10,300	14,300	11,100	9,720	45,500
Castings	W	W	W	W	W	W	W
<b>Receipts, scrap:</b>							
Home	2,530	9,770	W	2,990	4,140	5,200	12,300 <sup>4</sup>
Purchased	5,660	23,400	W	7,770	7,290	6,170	21,200 <sup>4</sup>
Total	8,190	33,200	6,600	10,800	11,400	11,400	40,200

<sup>1</sup>Revised. W Withheld to avoid disclosing company proprietary data.

<sup>2</sup>Data are rounded to no more than three significant digits; may not add to totals shown.

<sup>3</sup>Estimated by the U.S. Geological Survey.

<sup>4</sup>Less than ½ unit.

<sup>5</sup>Data for second, third, and fourth quarter.

**Tableau 18: Offre-demande sur le marché intérieur américain en 2010 – 2011 [réf.7]**

TABLE 1  
COMPONENTS OF U.S. TITANIUM METAL SUPPLY AND DEMAND<sup>1</sup>

(Metric tons)

	2012		2013				1st quarter- 4th quarter
	4th quarter	1st quarter- 4th quarter	1st quarter	2d quarter	3d quarter	4th quarter	
<b>Production:</b>							
Sponge	W	W	W	W	W	W	W
Ingot	17,100	68,800	16,300	15,200	16,400	14,600	62,500
Mill products	8,850	39,800	9,270	9,200	9,020	8,500	36,000
<b>Exports:</b>							
Waste and scrap	1,610	8,760	1,490	1,130	956 <sup>r</sup>	1,130	4,700
Sponge	347	1,420	359	316	146 <sup>r</sup>	1,040	1,860
Ingot	1,140	3,760	1,410	1,460	1,460 <sup>r</sup>	1,110	5,440
Other unwrought	59	159	114	426	426 <sup>r</sup>	294	1,260
Bar, rod, profiles, wire	805	3,560	754	850	947 <sup>r</sup>	853	3,400
Billet	768	3,660	705	953	894 <sup>r</sup>	860	3,410
Bloom, sheet bar, slab	532	2,180	552	628	577 <sup>r</sup>	524	2,280
Other wrought	3,820	13,800	2,870	3,540	3,510 <sup>r</sup>	2,600	12,500
Total	9,080	37,400	8,240	9,300	8,920 <sup>r</sup>	8,420	34,900
<b>Imports:</b>							
Waste and scrap	3,050	14,400	3,130	3,220	3,170 <sup>r</sup>	3,140	12,700
Sponge <sup>2</sup>	6,920	33,700	5,600	3,390	5,680 <sup>r</sup>	5,250	19,900
Ingot	87	510	164	105	242 <sup>r</sup>	373	883
Powder	4	34	20	40	7 <sup>r</sup>	22	89
Other unwrought	101	448	147	279	181 <sup>r</sup>	168	775
Wrought	1,530	6,360	1,370	1,730	1,340 <sup>r</sup>	1,630	6,060
Castings	19	36	5	15	15 <sup>r</sup>	2	37
Other	72	448	104	115	125 <sup>r</sup>	141	485
Total	11,800	56,000	10,500	8,900	10,800 <sup>r</sup>	10,700	40,900
<b>Stocks, end of period:</b>							
Sponge, industry	18,100	18,100	21,500	22,600	24,400	25,200	25,200
Scrap	13,500	13,500	12,300	12,600	12,500	16,200	16,200
Ingot	4,170	4,170	4,490	5,200	5,600	6,140	6,140
<b>Consumption:</b>							
Sponge	7,530	35,100	6,140	6,170	5,230	7,010	24,600
Scrap	11,200	38,700	8,660	8,990	10,600	8,640	36,900
Ingot	13,100	57,300	14,100	10,700	12,800	10,900	48,400
<b>Shipments:</b>							
Ingot and slab (producer net shipments)	5,770	20,500	3,790	6,190	6,590	6,430	23,000
<b>Mill products (net shipments):</b>							
Forging and extrusion billet	3,540	16,700	6,300	6,100	6,020	5,530	24,000
Other	5,340	22,900	2,930	2,640 <sup>r</sup>	2,560 <sup>r</sup>	2,520	10,700
Total	8,880	39,600	9,230	8,740 <sup>r</sup>	8,580	8,060	34,600
Castings	W	W	W	W	W	W	W
<b>Receipts, scrap:</b>							
Home	6,670	21,900	3,810	4,140	4,690	4,680	17,300
Purchased	6,770	26,800	6,110	7,090	7,160	9,100	29,500
Total	13,400	48,800	9,920	11,200	11,800	13,800	46,800

<sup>r</sup>Revised. W Withheld to avoid disclosing company proprietary data.

<sup>1</sup>Data are rounded to no more than three significant digits; may not add to totals shown.

<sup>2</sup>Estimated by the U.S. Geological Survey.

Tableau 19: Offre-demande sur le marché intérieur américain en 2012 - 2013 [réf.2]

**XXII ANNEXE : IMPORT – EXPORT USA (2010 – 2013)**

TABLE 3  
U.S. IMPORTS FOR CONSUMPTION OF TITANIUM METAL<sup>1</sup>

(Metric tons)

	2010		2011				1st quarter- 4th quarter
	4th quarter	1st quarter- 4th quarter	1st quarter	2nd quarter	3rd quarter	4th quarter	
<b>Waste and scrap:</b>							
Canada	184	682	188	178	132	240	738
France	363	1,480	349	525	447	469	1,790
Germany	461	2,050	290	655	492	498	1,930
Israel	82	256	106	143	173	101	523
Italy	76	398	63	107	83	77	329
Japan	593	1,550	590	612	418	642	2,260
Korea, Republic of	100	416	84	106	280	185	655
Mexico	60	151	67	125	82	96	369
Russia	25	243	46	45	14	53	158
Spain	34	134	47	96	38	38	220
Taiwan	194	692	165	390	114	144	813
United Kingdom	467	1,720	436	623	840	918	2,820
Other	179	943	235	353	312	424	1,320
<b>Total</b>	<b>2,820</b>	<b>10,700</b>	<b>2,670</b>	<b>3,960</b>	<b>3,430</b>	<b>3,880</b>	<b>13,900</b>
<b>Unwrought:</b>							
<b>Sponge:</b>							
China	555	868	1,220	886	1,550	2,210	5,860
Japan	3,240	9,790	4,150	3,610	3,690	4,620	16,100
Kazakhstan <sup>2</sup>	2,060	8,550	1,230	2,730	2,660	2,000	8,610
Russia	422	918	150	399	350	363	1,260
Other <sup>3</sup>	146	331	409	279	491	775	1,960
<b>Total</b>	<b>6,420</b>	<b>20,500</b>	<b>7,160</b>	<b>7,910</b>	<b>8,730</b>	<b>9,960</b>	<b>33,800</b>
<b>Ingot:</b>							
Germany	80	156	99	99	48	98	344
Russia	12	12	3	91	67	141	302
Other	25 <sup>r</sup>	69 <sup>r</sup>	2	7 <sup>r</sup>	--	--	9
<b>Total</b>	<b>117</b>	<b>237</b>	<b>105</b>	<b>196</b>	<b>115</b>	<b>239</b>	<b>654</b>
<b>Powder</b>	<b>36</b>	<b>119</b>	<b>6</b>	<b>23</b>	<b>21</b>	<b>2</b>	<b>52</b>
<b>Other</b>	<b>13</b>	<b>88</b>	<b>43</b>	<b>55</b>	<b>23</b>	<b>86</b>	<b>208</b>
<b>Wrought:</b>							
Bar, rod, profiles, wire	597	2,530	371	519	438	385	1,710
Billet	435 <sup>r</sup>	2,010 <sup>r</sup>	183	260	257	187	885
Bloom, sheet bar, slab	7	101 <sup>r</sup>	5	10	4	11	30
Plate, sheet, strip, foil	762	3,320	852	876	588	591	2,910
Tube and pipe	88	326 <sup>r</sup>	88 <sup>r</sup>	102 <sup>r</sup>	127 <sup>r</sup>	124 <sup>r</sup>	440
Other	37	149	62	41	47	67	218
<b>Total</b>	<b>1,930</b>	<b>8,430<sup>r</sup></b>	<b>1,560</b>	<b>1,810</b>	<b>1,460</b>	<b>1,370</b>	<b>6,190</b>
<b>Other articles of titanium:</b>							
Castings	1	4	(3)	35	12	3	51
Other	72	276	165	158	151	101	574
<b>Ferrotitanium and ferrosilicon titanium</b>	<b>363</b>	<b>2,740</b>	<b>475</b>	<b>635</b>	<b>544</b>	<b>419</b>	<b>2,070</b>

<sup>r</sup>Estimated. <sup>2</sup>Revised. -- Zero.

<sup>1</sup>Data are rounded to no more than three significant digits; may not add to totals shown.

<sup>2</sup>All or part of these data have been referred to the U.S. Census Bureau for verification.

<sup>3</sup>Less than 1/2 unit.

**Tableau 20: Importations de titane des USA en 2010 – 2011 [réf. 7]**

TABLE 3  
U.S. IMPORTS FOR CONSUMPTION OF TITANIUM METAL<sup>1</sup>

(Metric tons)

	2012		2013				
	4th quarter	1st quarter- 4th quarter	1st quarter	2d quarter	3d quarter	4th quarter	1st quarter- 4th quarter
<b>Waste and scrap:</b>							
Canada	189	757	214	176	194 <sup>r</sup>	241	826
France	516	1,950	536	371	430 <sup>r</sup>	475	1,810
Germany	458	2,260	484	400	718 <sup>r</sup>	529	2,130
Israel	85	410	128	111	78 <sup>r</sup>	132	448
Italy	74	301	67	60	23 <sup>r</sup>	39	190
Japan	402	2,040	309	418	405 <sup>r</sup>	352	1,480
Korea, Republic of	19	605	172	90	123 <sup>r</sup>	221	606
Mexico	150	541	130	157	192 <sup>r</sup>	121	599
Sweden	48	314	50	54	35 <sup>r</sup>	83	222
Taiwan	47	383	97	69	57 <sup>r</sup>	75	298
United Kingdom	799	3,540	770 <sup>r</sup>	1,080	685 <sup>r</sup>	618	3,160
Other	264	1,350	168	233	232 <sup>r</sup>	253	886
Total	3,050	14,400	3,130	3,220	3,170 <sup>r</sup>	3,140	12,700
<b>Unwrought:</b>							
<b>Sponge:</b>							
China	238	3,510	1,040	738	594 <sup>r</sup>	756	3,130
Japan	4,510	18,900	3,370	2,070	4,230 <sup>r</sup>	3,750	13,400
Kazakhstan <sup>2</sup>	1,530	8,150	495	120	105	105	825
Ukraine	291	1,470	433	348	451 <sup>r</sup>	128	1,360
Other <sup>2</sup>	347	1,680	256	121	299 <sup>r</sup>	512	1,190
Total	6,920	33,700	5,600	3,390	5,680 <sup>r</sup>	5,250	19,900
<b>Ingot:</b>							
Germany	--	109	--	--	--	--	--
Russia	87	401	164	101	242 <sup>r</sup>	373	879
Other	--	--	--	4	--	--	4
Total	87	510	164	105	242 <sup>r</sup>	373	883
Powder	4	34	20	40	7 <sup>r</sup>	22	89
Other	101	448	147	279	181 <sup>r</sup>	168	775
<b>Wrought:</b>							
Bar, rod, profiles, wire	367	1,750	308	457	469 <sup>r</sup>	346	1,580
Billet	220	1,010	241	253	257 <sup>r</sup>	359	1,110
Bloom, sheet bar, slab	2	21	3	21	(2)	31	55
Plate, sheet, strip, foil	716	2,860	639	706	432 <sup>r</sup>	699	2,480
Tube and pipe	89	303	62	79	54 <sup>r</sup>	63	258
Other	137	420	112	218	128 <sup>r</sup>	132	590
Total	1,530	6,360	1,370	1,730	1,340 <sup>r</sup>	1,630	6,070
<b>Other articles of titanium:</b>							
Castings	19	36	5	15	15 <sup>r</sup>	2	37
Other	72	446	104	115	125 <sup>r</sup>	141	485
Ferrotitanium and ferrosilicon titanium	483	2,410	380	539	415 <sup>r</sup>	346	1,680

<sup>r</sup>Estimated. <sup>R</sup>Revised. -- Zero.

<sup>1</sup>Data are rounded to no more than three significant digits; may not add to totals shown.

<sup>2</sup>Less than ½ unit.

Tableau 21: Importations de titane des USA en 2012 – 2013 [réf. 7]

TABLE 2  
U.S. EXPORTS OF TITANIUM PRODUCTS<sup>1</sup>

(Metric tons)

	2010		2011				1st quarter– 4th quarter
	4th quarter	1st quarter– 4th quarter	1st quarter	2nd quarter	3rd quarter	4th quarter	
<b>Metal:</b>							
Waste and scrap	1,460	3,480	1,240	1,230	1,310	1,380	5,150
<b>Unwrought:</b>							
Sponge	55	293	45	60	36	116	256
Ingot	51	467	36	29	29	157	252
Other unwrought	516	2,570	59	82	182	599	923
<b>Wrought:</b>							
Bar, rod, profiles, wire	799	2,830	893	1,000	861	1,300	4,060
Billet	741	2,240	781	889	938	892	3,500
Bloom, sheet bar, slab	472	1,240	279	326	390	562	1,560
Other	2,380	8,450	2,960	3,980	4,490	4,160	15,600
Ferrotitanium and ferrosilicon titanium	695	2,570	665	987	895	664	3,210
Ores and concentrates	4,670	18,900	7,380	7,760	8,540	2,900	26,600
<b>Pigment:</b>							
80% or more titanium dioxide	190,000	717,000	177,000	181,000	204,000	179,000	741,000
Other titanium dioxide	9,190	36,700	9,880	11,600	10,400	8,110	40,000
Unfinished titanium dioxide <sup>2</sup>	1,260	4,160	2,230	1,640	1,830	1,460	7,160

<sup>1</sup>Data are rounded to no more than three significant digits; may not add to totals shown.

<sup>2</sup>Unmixed and not surface treated.

Tableau 22: Exportation des USA en 2010 - 2011 [réf. 7]

TABLE 2  
U.S. EXPORTS OF TITANIUM PRODUCTS<sup>1</sup>

(Metric tons)

	2012		2013				1st quarter– 4th quarter
	4th quarter	1st quarter– 4th quarter	1st quarter	2d quarter	3d quarter <sup>r</sup>	4th quarter	
<b>Metal:</b>							
Waste and scrap	1,610	8,760	1,490	1,130	956	1,130	4,700
<b>Unwrought:</b>							
Sponge	347	1,420	359	316	149	1,040	1,860
Ingot	1,140	3,760	1,410	1,460	1,460	1,110	5,440
Other unwrought	59	159	114	426	426	294	1,260
<b>Wrought:</b>							
Bar, rod, profiles, wire	805	3,560	754	850	947	853	3,400
Billet	768	3,660	705	953	894	860	3,410
Bloom, sheet bar, slab	532	2,180	552	628	577	524	2,280
Other	3,820	13,800	2,870	3,540	3,510	2,600	12,500
Ferrotitanium and ferrosilicon titanium	705	3,610	1,580	1,010	808	710	4,110
Ores and concentrates	16,000	43,000	6,640	2,490	1,800	570	11,500
<b>Pigment:</b>							
80% or more titanium dioxide	112,000	587,000	142,000	170,000	161,000	151,000	624,000
Other titanium dioxide	4,060	33,100	9,060	11,300	13,700	9,440	43,500
Unfinished titanium dioxide <sup>2</sup>	971	4,570	782	937	800	639	3,160

<sup>r</sup>Revised.

<sup>1</sup>Data are rounded to no more than three significant digits; may not add to totals shown.

<sup>2</sup>Unmixed and not surface treated.

Tableau 23: Exportation de titane des USA en 2012 – 2013 [réf.7]

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	123/150

### XXIII ANNEXE : CONSOMMATION DE TITANE PAR SECTEUR EN CHINE

En tonne	Chimie	Aérospatial	Naval	Métallurgie	Énergie électrique	Médical	Dessalement	Off-shore	Sport & Loisir	Autres
<b>2009</b>	11.918	2.519	836	1.658	2.006	1.030	1.320	622	1.746	1.310
<b>2010</b>	19.718	3.603	626	2.472	1.443	1.083	2.256	766	2.904	2.183
<b>2011</b>	27.156	4.080	720	2.742	3.253	1.027	2.556	1.343	2.414	4.101
<b>2012</b>	25.216	4.261	1.279	2.139	6.131	1.313	2.110	572	4.743	2.567
<b>2013</b>	22.878	4.866	402	2.481	5.206	538	1.376	680	2.151	760

**Tableau 24: Consommation de titane détaillée par secteur en Chine [réf. 10]**

## XXIV ANNEXE : EXPORTATIONS ET IMPORTATIONS DU JAPON

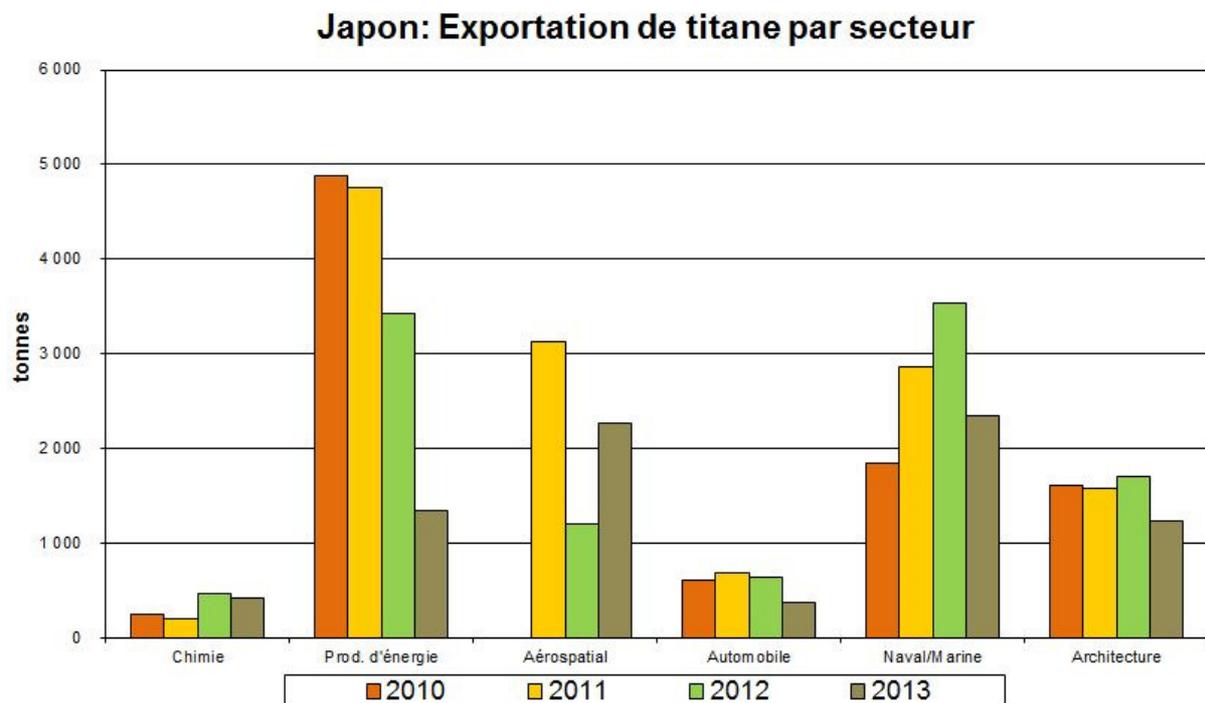
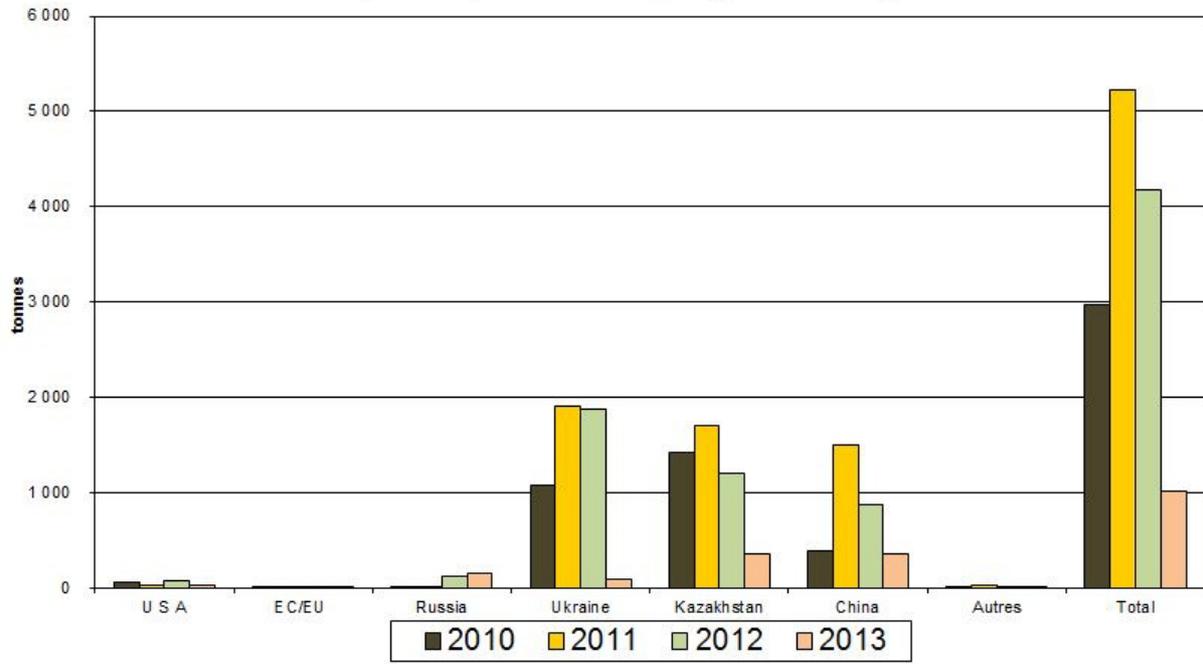


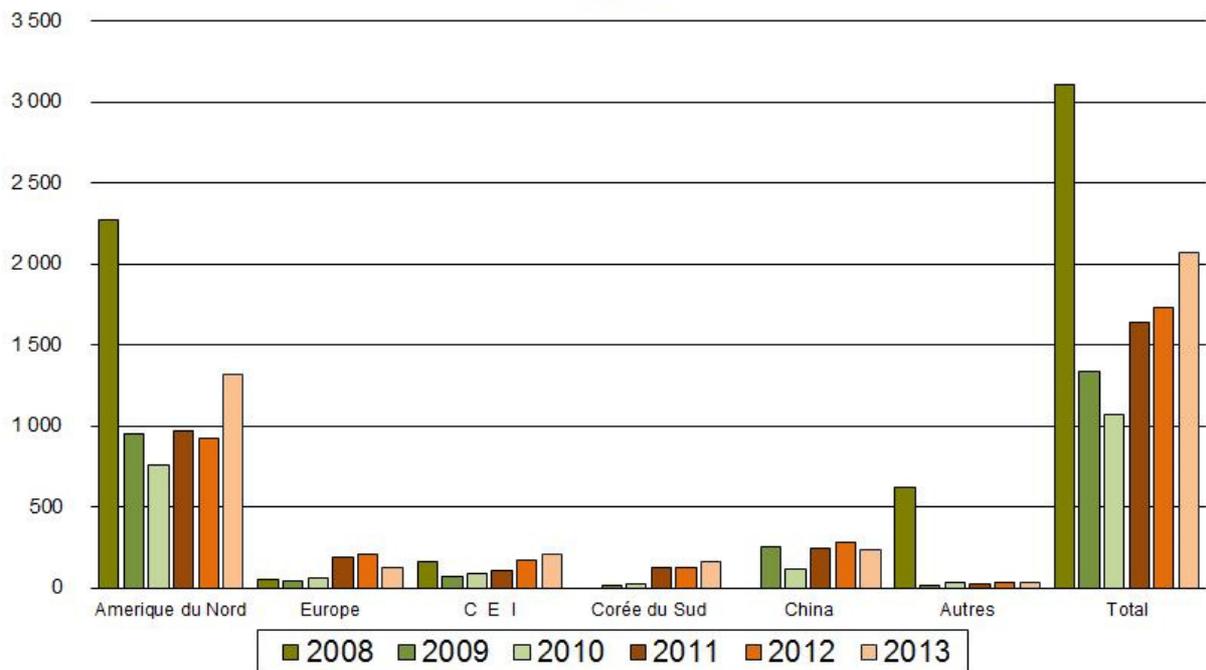
Figure 60: Exportations de produits titane du Japon par secteur [réf. 12]

**Japon: Importation d'éponge et de lingot**



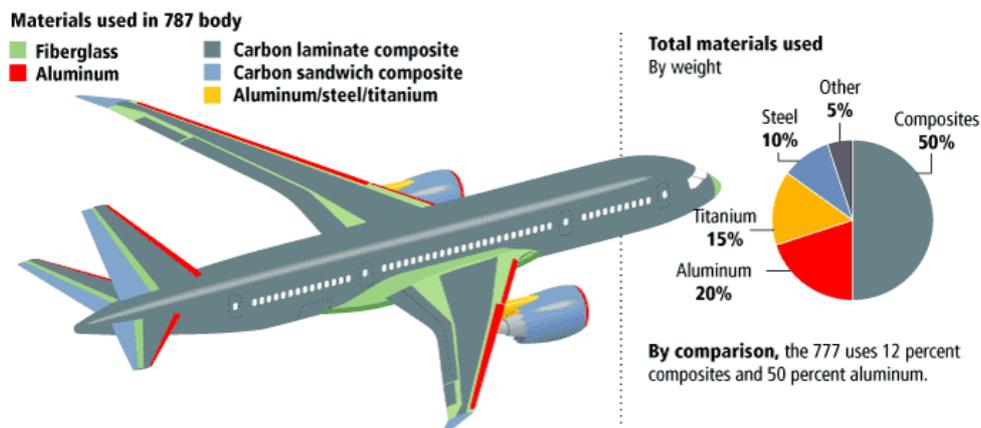
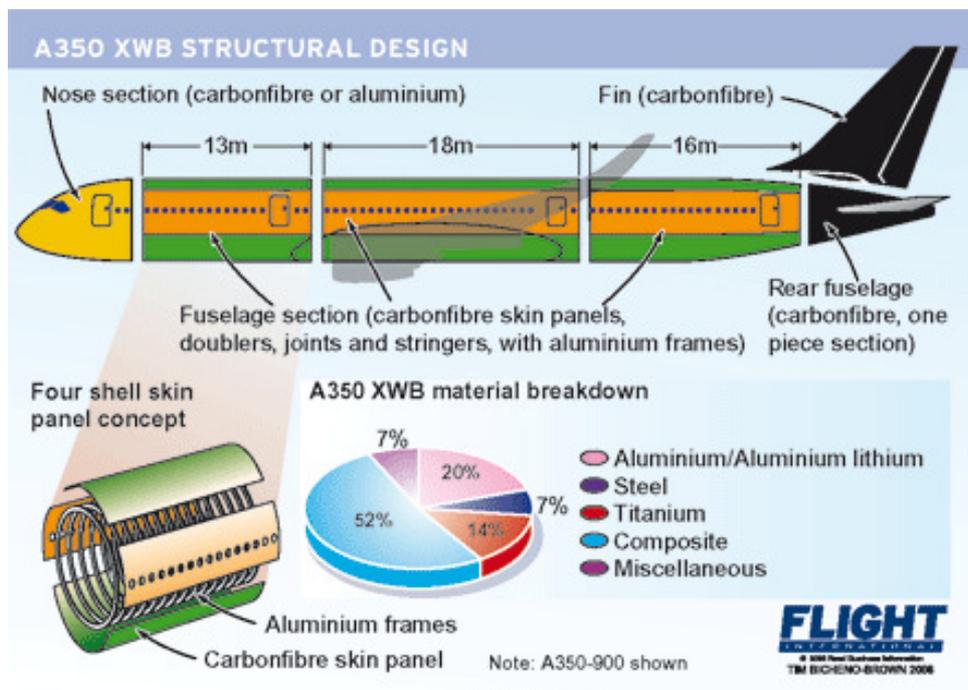
**Figure 61: Importation d'éponge du Japon [réf. 12]**

**Japon: Importation de produits titane**  
 (en tonne)



**Figure 62: Importation de produits titane du Japon [réf. 12]**

**XXV ANNEXE : EMPLOI DES COMPOSITES DANS LES AVIONS DE NOUVELLE GENERATION**



**Figure 63: Utilisation des matériaux composites et des métaux dans l'A350 et le B787**

## XXVI ANNEXE : EVOLUTION DU PRIX DU BARRIL DE PETROLE



Figure 64: Evolution du prix du pétrole entre 1980 et 2014 et projection au-delà [réf.15]

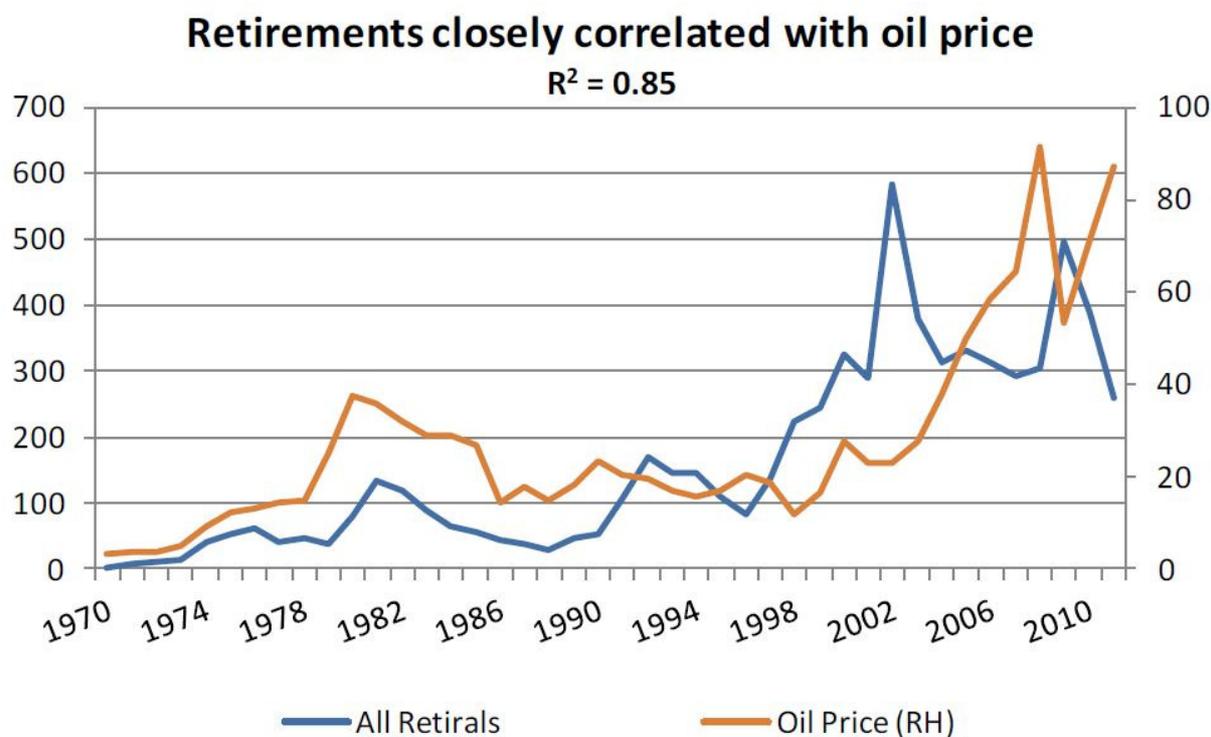
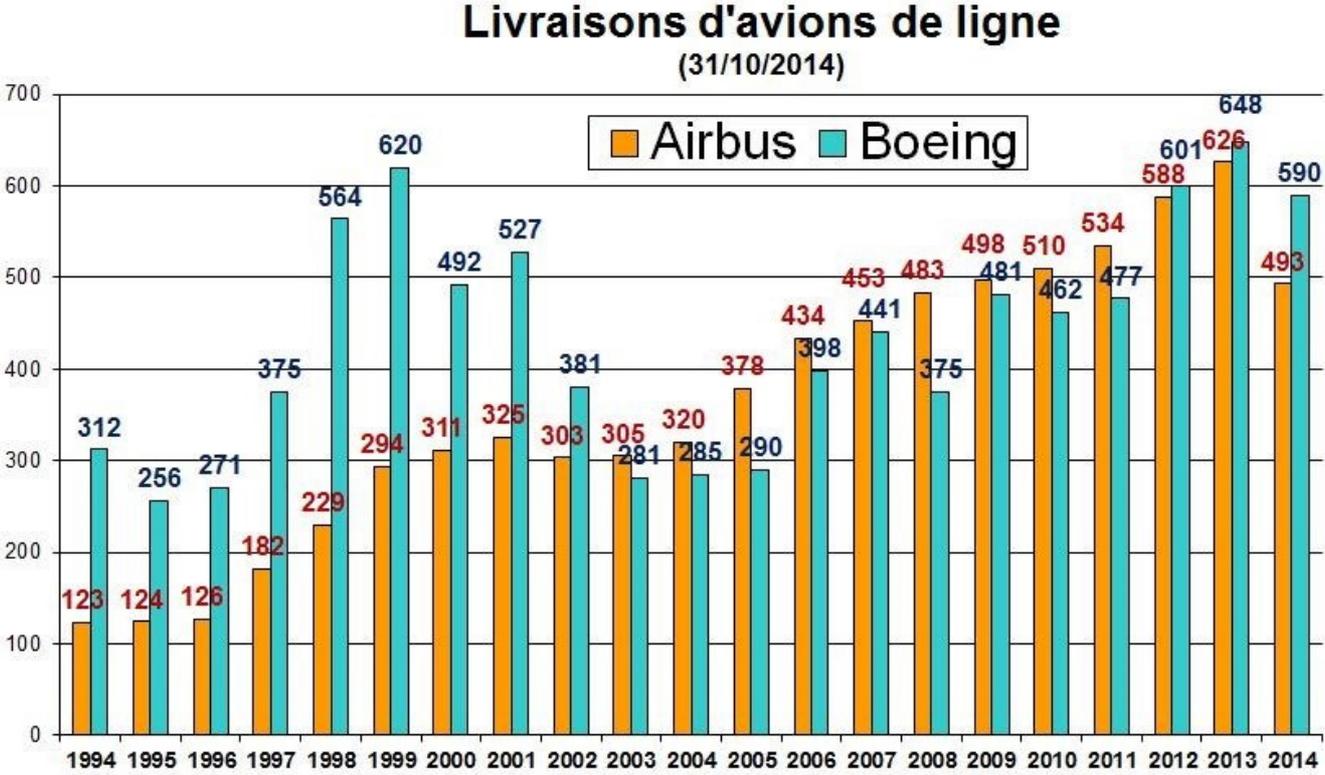


Figure 65: Corrélation entre le prix du pétrole et le retrait du service des avions [réf.18]

**XXVII ANNEXE : HISTORIQUE DE PRODUCTION D’AIRBUS ET BOEING**

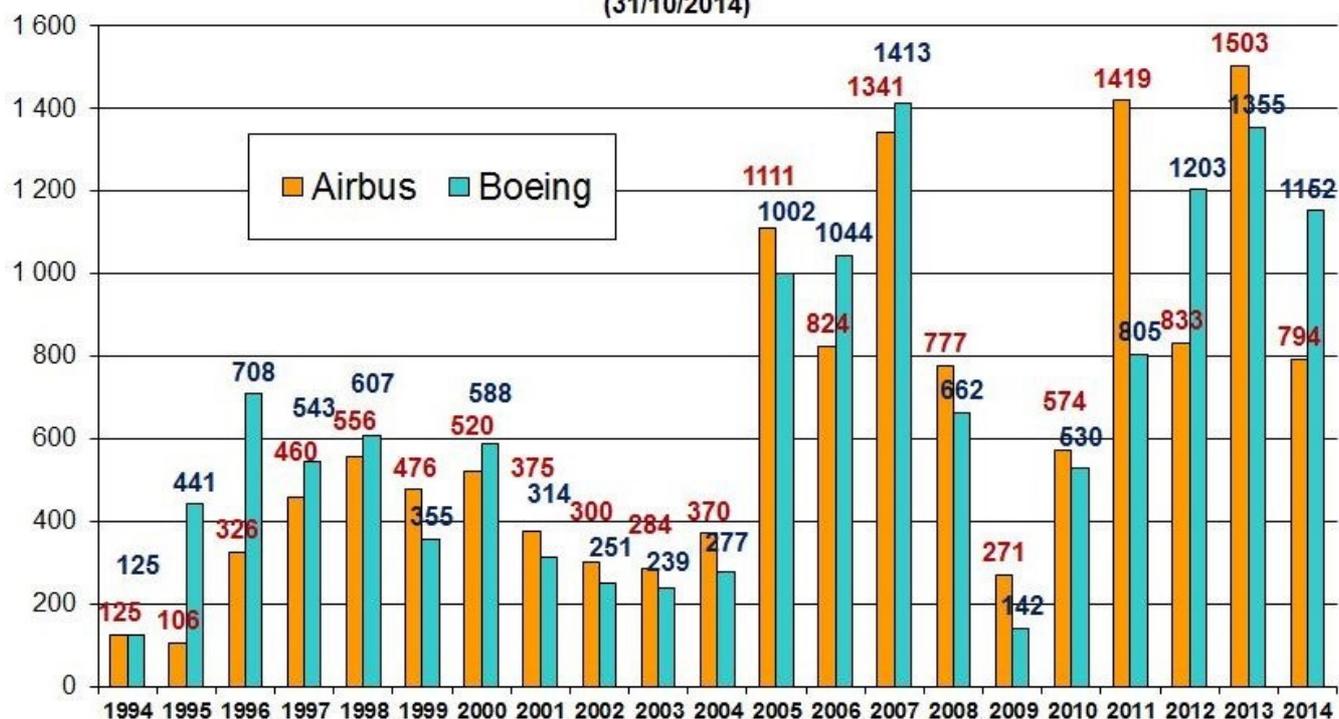


**Figure 66: Historique des livraisons annuelles d’avion d’Airbus et Boeing**

**XXVIII ANNEXE : PRISES DE COMMANDE D’AIRBUS ET DE BOEING**

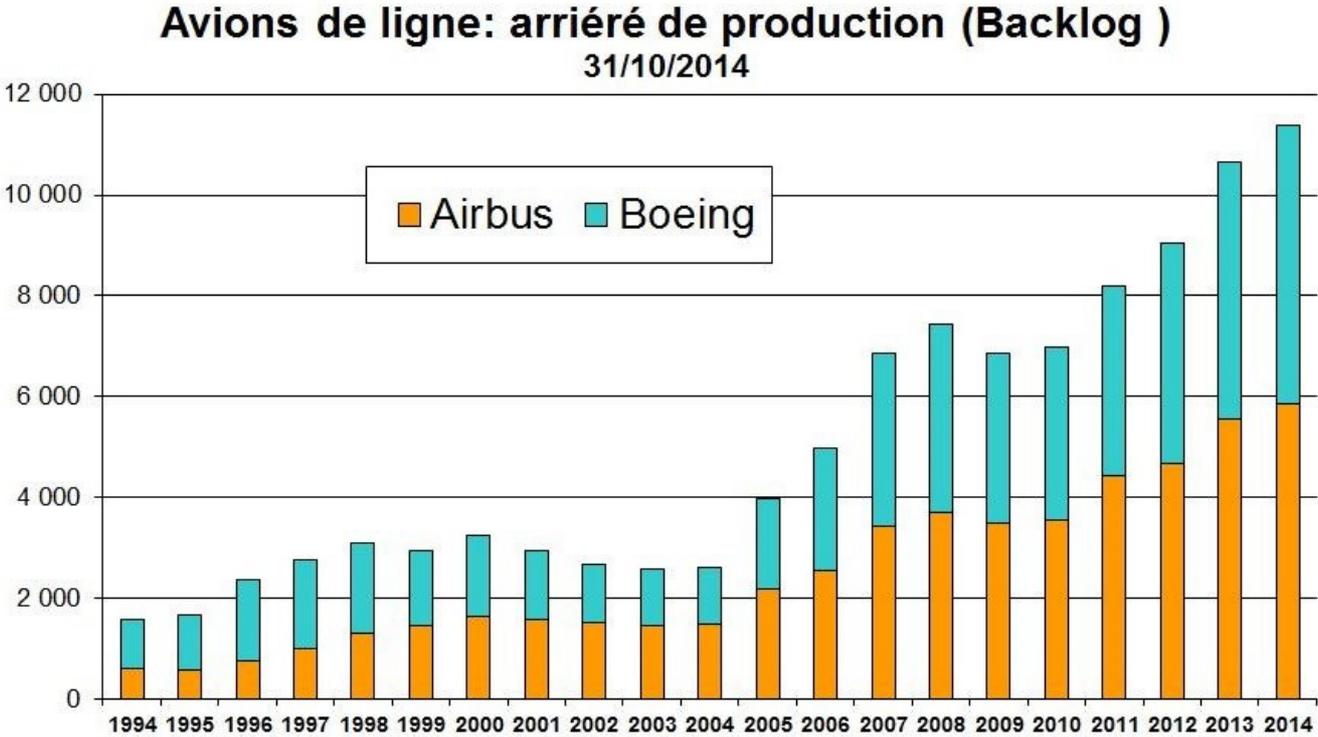
**Avions de ligne: commandes nettes d'avions**

(31/10/2014)



**Figure 67: Historique des prises de commande d’Airbus et de Boeing**

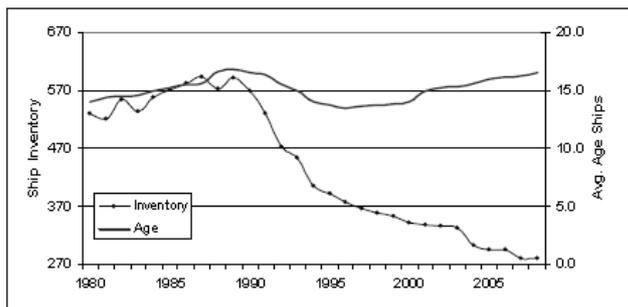
**XXIX ANNEXE : BACKLOG DE COMMANDE AIRBUS & BOEING**



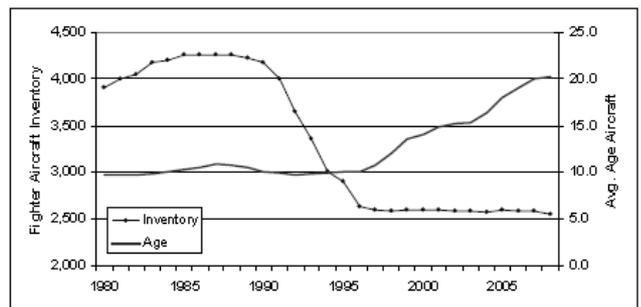
**Figure 68: Évolution de l’arriéré de production (backlog) d’Airbus et de Boeing**

**XXX ANNEXE : AGE MOYEN DES EQUIPEMENTS MILITAIRES US**

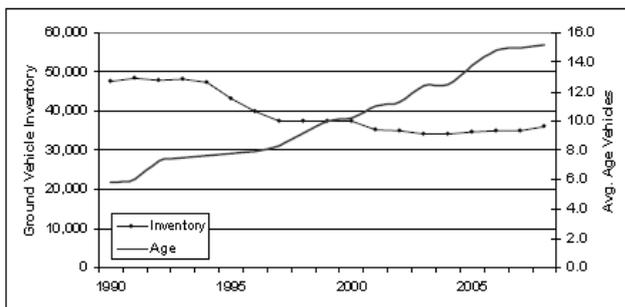
**Navy Ships**



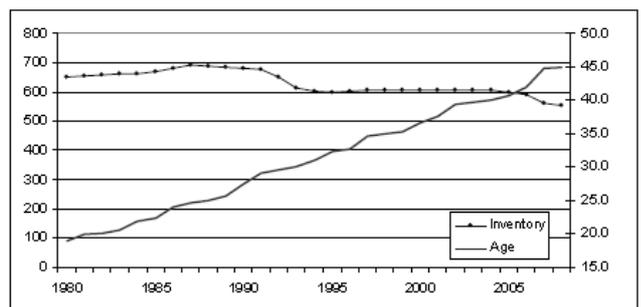
**USAF Fighter Aircraft**



**Ground Combat Vehicles**

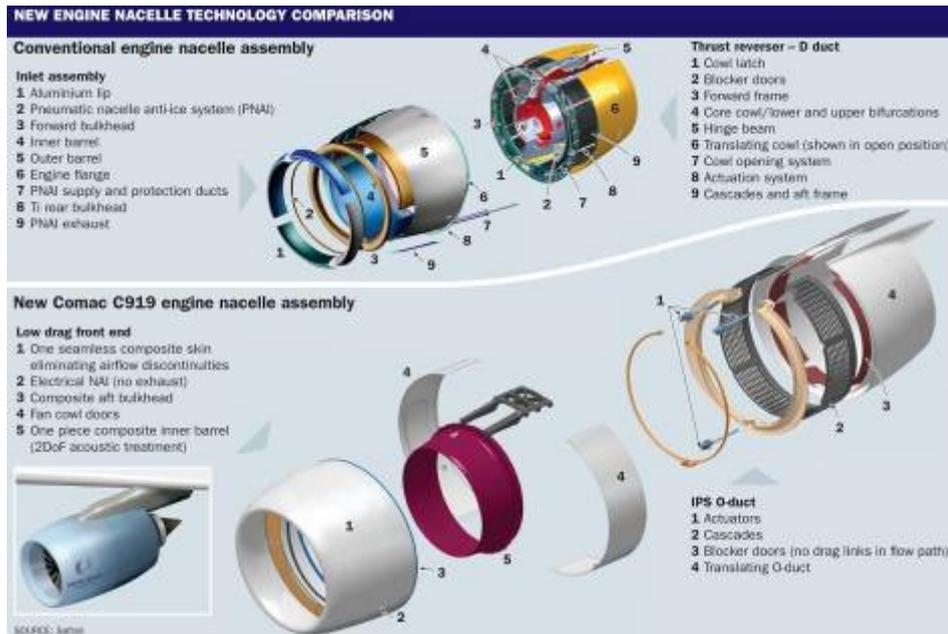


**USAF Tankers**



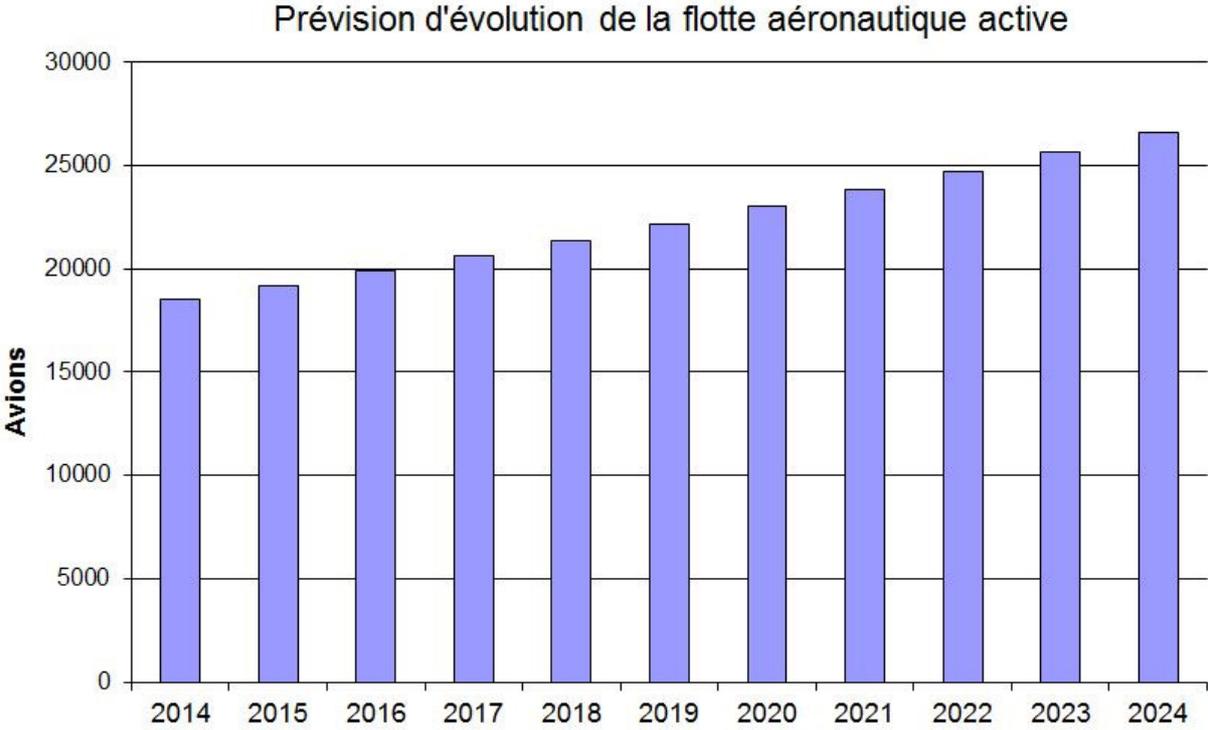
**Figure 69: Inventaire et âge moyen des équipements militaires américains [réf. 22]**

**XXXI      ANNEXE : NACELLE DU FUTUR AVION CHINOIS C919**



**Figure 70: Nouvelle technologie de nacelle « moteur » de l'avion chinois C919**

**XXXII ANNEXE : EVOLUTION DE LA FLOTTE ACTIVE D'AVION**



**Figure 71: Évolution de la flotte active d'avion tous types confondus**

### XXXIII ANNEXE: BLINDAGES EN TITANE



Figure 72: Exemples de kits de protection balistique en titane [réf. 24]

### XXXIV ANNEXE : CANON HOWITZER 155MM CHASSIS EN TITANE



**Figure 73: Châssis en titane et exemple de pièce de fonderie en titane du canon d'artillerie Howitzer de 155mm [réf.25]**

**XXXV ANNEXE: CHASSIS EN TITANE POUR LE FUTUR VEHICULE FCS**



**Figure 74: Projet de châssis en titane pour la plateforme commune des véhicules du “Futur Combat System” de l’Armée américaine**

### XXXVI ANNEXE : AVION DE CHASSE CHINOIS

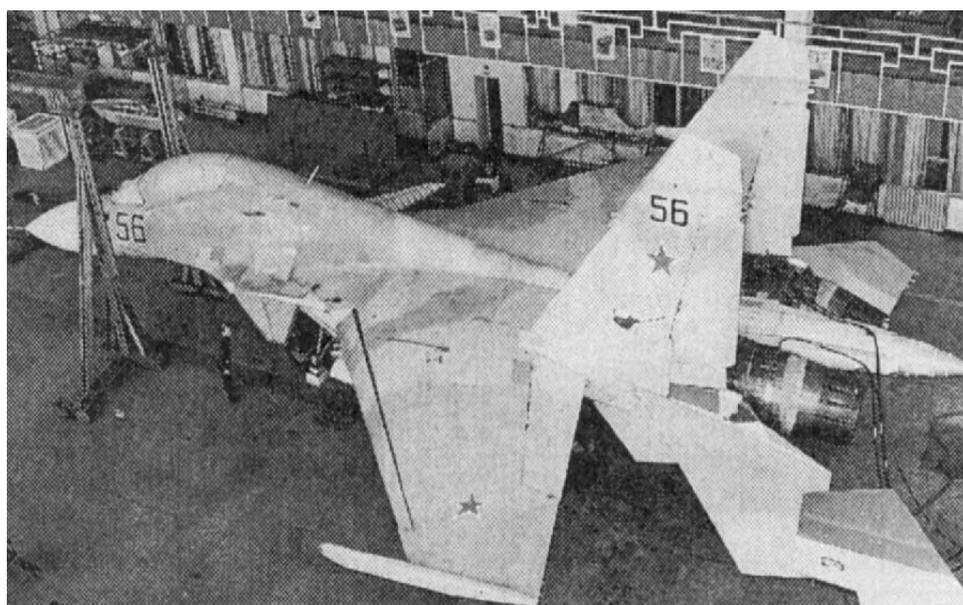


Figure 75: Le J-11, avion de chasse chinois assemblé sous licence Sukhoï Su-27SK

### XXXVII ANNEXE : PROGRAMMES NUCLEAIRES

TABLE 1. REACTORS IN OPERATION, IN LONG TERM SHUTDOWN AND UNDER CONSTRUCTION, 31 DEC. 2013

Country	Reactors in operation		Reactors in long term shutdown		Reactors under construction		Nuclear electricity supplied in 2013	
	No. of units	Total MW(e)	No. of units	Total MW(e)	No. of units	Total MW(e)	TW(e)-h	% of total
ARGENTINA	2	935			1	692	5.7	4.4
ARMENIA	1	375					2.2	29.2
BELARUS					1	1109	NA	NA
BELGIUM	7	5927					40.6	52.1
BRAZIL	2	1884			1	1245	13.8	2.8
BULGARIA	2	1906					13.3	30.7
CANADA	19	13500					94.3	16.0
CHINA	20	15977			29	28774	104.8	2.1
CZECH REP.	6	3684					29.0	35.9
FINLAND	4	2752			1	1600	22.7	33.3
FRANCE	58	63130			1	1630	405.9	73.3
GERMANY	9	12068					92.1	15.4
HUNGARY	4	1889					14.5	50.7
INDIA	21	5308			6	3907	30.0	3.5
IRAN, ISL. REP.	1	915					3.9	1.5
JAPAN	48	42388	1	246	2	1325	13.9	1.7
KOREA, REP. OF	23	20721			5	6370	132.5	27.6
MEXICO	2	1330					11.4	4.6
NETHERLANDS	1	482					2.7	2.8
PAKISTAN	3	690			2	630	4.4	4.4
ROMANIA	2	1300					10.7	19.8
RUSSIA	33	23643			10	8382	161.7	17.5
SLOVAKIA	4	1815			2	880	14.6	51.7
SLOVENIA	1	688					5.0	33.6
SOUTH AFRICA	2	1860					13.6	5.7
SPAIN	7	7121	1	446			54.3	19.7
SWEDEN	10	9474					63.7	42.7
SWITZERLAND	5	3308					25.0	36.4

Country	Reactors in operation		Reactors in long term shutdown		Reactors under construction		Nuclear electricity supplied in 2013	
	No. of units	Total MW(e)	No. of units	Total MW(e)	No. of units	Total MW(e)	TW(e)-h	% of total
UAE					2	2690	NA	NA
UK	16	9243					64.1	18.3
UKRAINE	15	13107			2	1900	78.2	43.6
USA	100	99081			5	5633	790.2	19.4
Total	434	371733	2	692	72	69367	2358.9	NA

Note:

The total includes the following data from Taiwan, China:

— 6 units, 5032 MW in operation; 2 units, 2600 MW under construction;

— 39.8 TW(e)-h of nuclear electricity generation, representing 19.1% of the total electricity generated there.

Tableau 25: Réacteurs nucléaires en service et en cours de construction [réf.37]

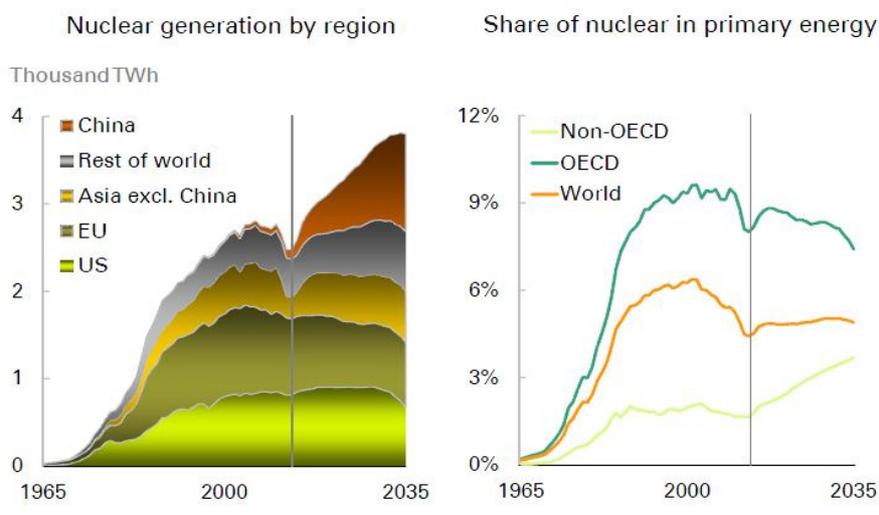


Figure 76: Part du nucléaire dans les ressources énergétiques mondiales [réf.32]

### XXXVIII ANNEXE: ENERGIE THERMIQUE DES OCEANS (OTEC)

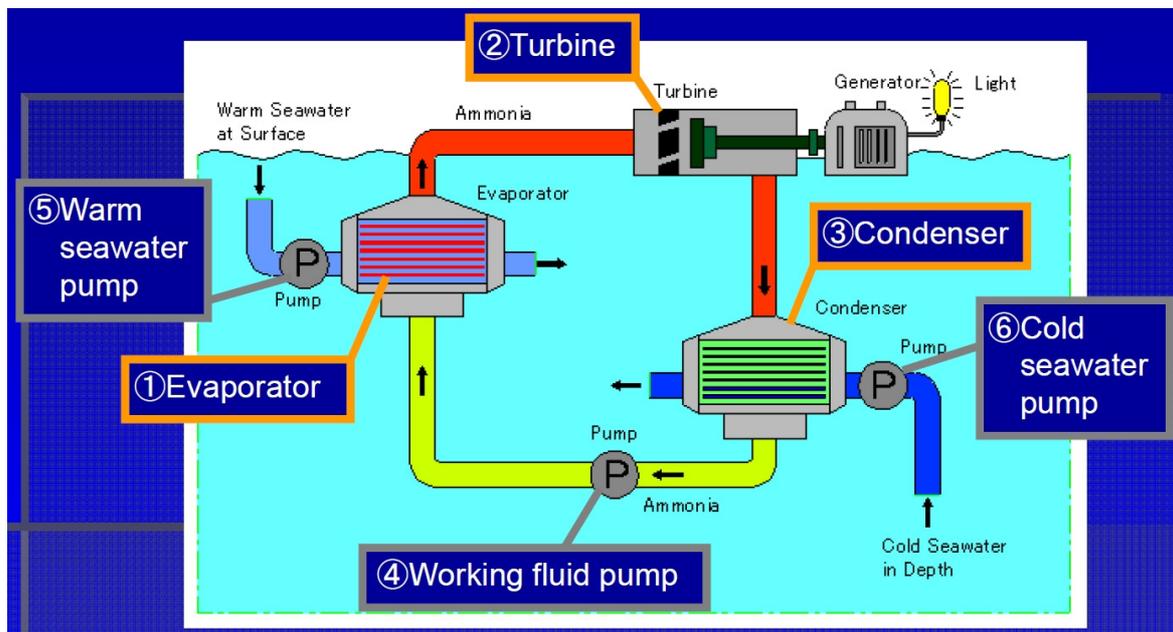


Figure 77: Principe de la technologie OTEC<sup>62, 63</sup>

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

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	140/150

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 DCNS et Lockheed Martin aux USA (voir paragraphe VI.1.4), les japonais s'intéressent aussi à la technologie et en 2003, un site d'expérimentation démarre au Japon en partenariat avec l'IOES<sup>fff</sup> 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 glaçon 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 Monde<sup>64</sup> est donnée dans les tableaux ci-dessous.

Location	Power output planned	Specifics available	Developer
Hawaii	103 kW	Closed cycle. One of the oldest installations installed in 1979	NELHA Natural Energy Laboratory
Hawaii	1 MW	Open cycle, operated between 1993 and 1998. Power generation, also focused on use of water for aquaculture; a land-based plant.	OTEC International LLC and NELHA Natural Energy Laboratory Hawaii
Hawaii	10 MW	Closed cycle, near shore platform, planned to be in function in 2013, but shelved. Funded with a grant of USD 4.4 million of the Naval Facility Engineering Command, meant to also serve as a pilot for further development in isolated areas/islands- military basis/ remote settlements. Prior to 2009, Lockheed Martin was also awarded USD 12.2 million for preparatory OTEC design and exploration.	Lockheed Martin Naval Facility Engineering Command
Japan/ Nauru	120 kW	Closed cycle, operated in 1982 and 1983 for scientific research; around 90% goes to pumping and energy used to operate the plant.	Japan Institute for Ocean Energy Research

<sup>fff</sup> Institut of Ocean Energy

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	141/150

Location	Power output planned	Specifics available	Developer
Japan, Imari	30 kW	Demonstration plant; several others have been built in earlier stages by Saga University. The multi-purpose 30 kW is from 2003.	Saga University; other partners
Japan/ Okinawa	50 kW	Completed on 16 June 2013 – a research, development and demonstration plant near Kumejima Island- land-based plant used for electricity generation and research on other OTEC applications, aquaculture, agriculture, cooling; later possible scaling up to 125 MW could take place as estimated by Xenesis.	Xenesis Incorporated, IHI, and Yokogawa
India- Tuticorin South India	1 MW	Ammonia-based closed cycle, started in 2000, but not completed due to problems with the pipes for pumping the seawater; floating plant.	Indian Government/ Indian Institute of Technology
Southern China	10 MW	On 13 April 2013, agreement signed for development of a 10 MW land-based OTEC installation on the Southern Coast of China, between Beijing Based Reignwood Group and Lockheed Martin.	Lockheed Martin, Reignwood Group (Lockheed Martin, 2013)
Martinique/ Bellefontaine	10 MW	Floating platform of DCNS Consortium – planning in more progressed state as of 2014, focusing on 2016 for operation. Also other sites are being thought of, e.g., Reunion. A second plant is also considered.	DCNS France
South Korea	20 kW	Installed in 2013.	KISOT
Bahamas/ Baha Mar	NA	USD 104 million project providing cooling for Baha Mar Resort; permit issues/infrastructural and ecological issues - conflicts with navigation issues and cabling, coast protection issues, seemed to have stalled the project -at least temporarily.	Ocean Thermal Energy Conversion Corporation
Bora Bora	NA	Land-based, used for air conditioning only, no power generation.	Intercontinental Hotel Bora Bora
Tetiaroa	NA	Land-based, used for air conditioning only, no power generation.	The Brando Hotel, Tetiaroa

**Tableau 26: Projets OTEC dans le Monde (juin 2014) [réf.64]**

**XXXIX ANNEXE: CAPACITES MONDIALES DE PRODUCTION D'EPONGE**

Capacité mondiale de production d'éponge de titane (2014)

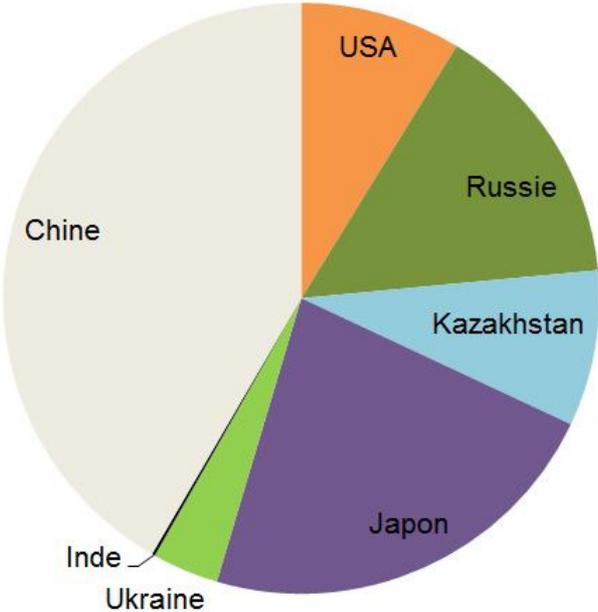


Figure 78: Capacité de production d'éponge par pays en 2014

## **XL ANNEXE : TECHNOLOGIE DE PRODUCTION D'ÉPONGE**

### **Technology Comparison of Titanium Sponge Production in China & Abroad**

<b>Country</b>	<b>China</b>	<b>Japan</b>	<b>America</b>	<b>Russia</b>	<b>Kazakstan</b>	<b>Ukraine</b>
<b>Raw material</b>	92% high-Ti slag	95% rutile	95% rutile	87% high-Ti slag	87% high-Ti slag	87% high-Ti slag
<b>Chlorination</b>	φ1.2 ~ 2.6m boiling chlorinator	φ1.9 ~ 3m boiling chlorinator	φ3m boiling chlorinator	φ5m salt chlorinator	φ5m salt chlorinator	φ5msalt chlorinator
<b>Refining</b>	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
<b>Reduction-distillation</b>	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
<b>Magnesium electrolysis</b>	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 27 : Comparaison des différentes technologies de production d'éponge [Réf.65]**

**XLI ANNEXE : STANDARDS DE QUALITE D'EPONGE DE TITANE**

## China sponge national standard

Grade	Brand	No less Than	Chemical Elements (quality grade)%									brinell hardness  HBW/10/14700/30	
			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

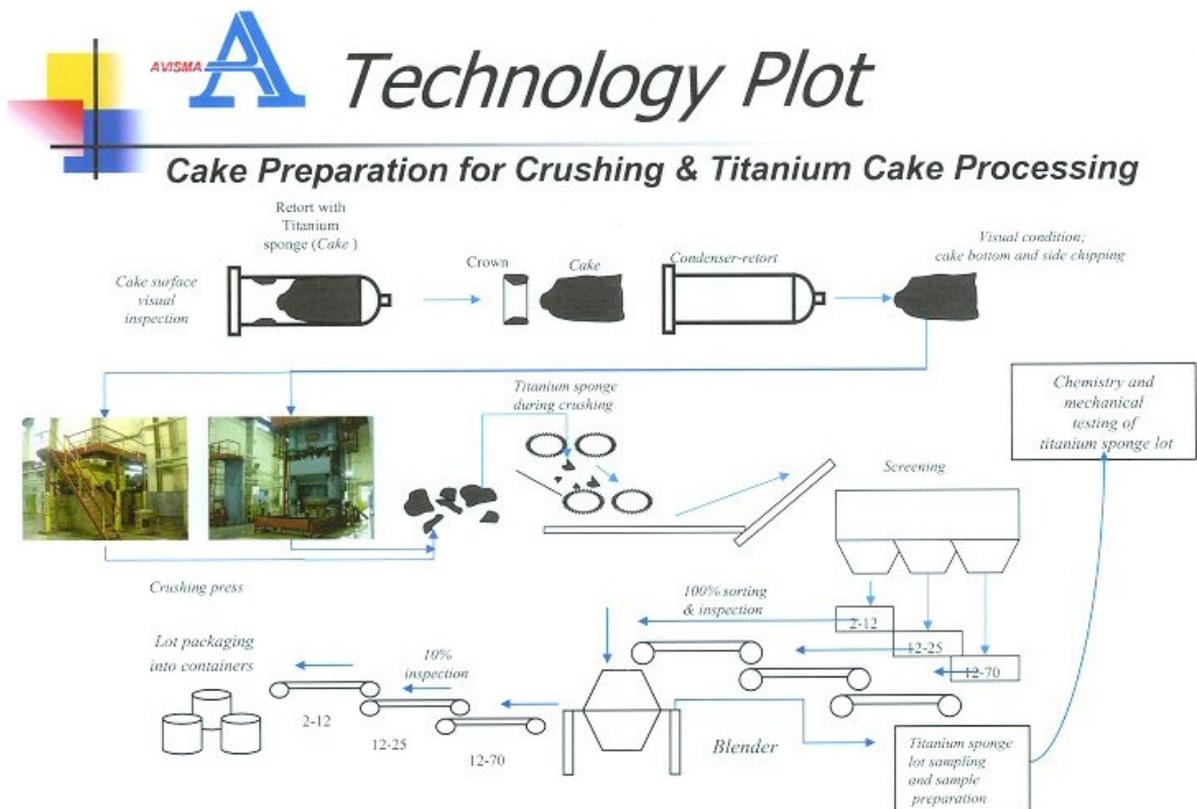
Grade	Ti (%min)	Impurity									BHN
		Fe	Cl	Mn	Mg	Si	N	C	H	O	
Soft	99.8	0.03	0.08	0.002	0.04	0.02	0.006	0.01	0.003	0.05	90
Sponge	99.7	0.04	0.08	0.002	0.04	0.02	0.006	0.01	0.003	0.06	95
Mild	99.6	0.08	0.1	0.005	0.05	0.02	0.01	0.02	0.004	0.07	100
Sponge	99.5	0.12	0.12	0.01	0.06	0.02	0.015	0.02	0.005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

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	145/150

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 28: Standards de qualité des éponges chinoises, japonaises<sup>65</sup>**

**XLII ANNEXE: PROCEDE DE TRAITEMENT DE L'EPONGE DE TITANE**



**Figure 79: Procédé de traitement de l'éponge de titane chez VSMPO-AVISMA (Russie)**

### XLIII ANNEXE: MISE EN FORME DES POUDRES ADMA (HDH)

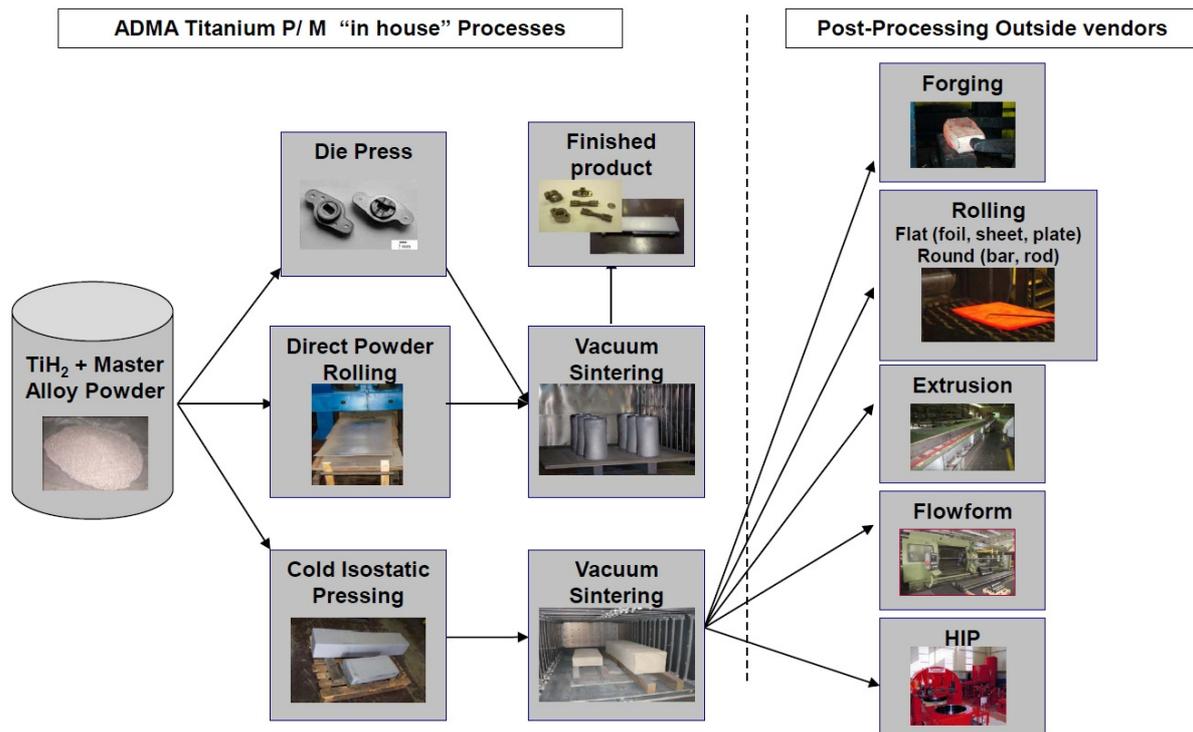


Figure 80: Mise en forme et transformation de produits titane élaborés à partir de  $TiH_2$  [réf. 56]

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	148/150

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- <sup>1</sup> Black sand, The history of Titanium, Kathleen L. Housley, Metal Management Inc., ISBN 0-935297-43-X, 2007
- <sup>2</sup> U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Titanium mineral concentrates, February 2014, p.173
- <sup>3</sup> Metal Pages, <http://www.metal-pages.com/metalprices/historical/>
- <sup>4</sup> Longbow Research, 2Q10 Titanium Supply Channel Survey, L. Folta, July 6, 2010
- <sup>5</sup> <http://www.amm.com/>
- <sup>6</sup> <http://www.metalprices.com/>
- <sup>7</sup> U.S. Geological Survey, Mineral Industry Survey, Minerals Yearbook Titanium 2007, 2008, 2009, 2010 & 2011, Titanium in the fourth quarter 2012 & 2013 (<http://minerals.usgs.gov/minerals>)
- <sup>8</sup> Russian titanium market update, M. Metz, Proc. International Titanium Conference, Titanium 2014, Chicago, Illinois, USA
- <sup>9</sup> 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
- <sup>10</sup> Annual Review Chinese Titanium Market, Metal Pages Research, 2008 to 2013
- <sup>11</sup> Oriental Patron Equity Research Industrial, Tiangong International case, Vivien Chan, January 2014
- <sup>12</sup> Japanese Titanium Statistics by JTS (The Japan Titanium Society), <http://www.titan-japan.com>
- <sup>13</sup> Statistical review 2005 – 2009, International Titanium Association
- <sup>14</sup> Statistical review 2009 – 2013, International Titanium Association
- <sup>15</sup> Airbus Global Market Forecast, 2014 – 2033, [www.airbus.com](http://www.airbus.com)
- <sup>16</sup> Boeing Current Market Outlook 2014, [www.boeing.com](http://www.boeing.com)
- <sup>17</sup> Idle talk - stored airliner fleet balloons to record level in latest census, M. Kingsley-Jones, Flight International, August 17, 2009, [www.flightglobal.com](http://www.flightglobal.com)
- <sup>18</sup> Aircraft retirement trends & Outlook, D. Forsberg, Avolon, september 2012.
- <sup>19</sup> Embraer Commercial Aviation, Market Outlook 2014-2033, [www.embraer.com](http://www.embraer.com)
- <sup>20</sup> Bombardier Business Aircraft, Market Forecast 2014 – 2033, <http://www.bombardier.com>
- <sup>21</sup> Embraer deliveries 3Q14, press release, [www.embraer.com](http://www.embraer.com)
- <sup>22</sup> ITA economics panel aerospace & defense : what lies ahead ?, G. Khanna, Proc. International Titanium Association, Titanium 2009, Waikoloa, Hawaiï, USA
- <sup>23</sup> MIL-DTL-46077G, Armor Plate, Titanium Alloy, Weldable, 28 september 2007
- <sup>24</sup> New titanium add-on armor provides enhanced soldier protection in a lightweight solution, S. Luckowski, Proc. International Titanium Association, Titanium 2009, Waikoloa, Hawaiï, USA
- <sup>25</sup> LW155, advanced planning briefing to insdstry, J. Shields, May 2002
- <sup>26</sup> Today's military challenge: taking titanium to tomorrow, D. Hickton, , Proc. International Titanium Conference, Titanium 2014, Chicago, Illinois, USA
- <sup>27</sup> Report to Congressional Committees, GAO-14-190, <http://www.gao.gov/assets/670/662448.pdf>
- <sup>28</sup> International Energy Outlook 2013, U.S. Energy Information administration, July 25, 2013, [www.eia.gov/oiaf/ieo/index.html](http://www.eia.gov/oiaf/ieo/index.html)
- <sup>29</sup> Annual Energy Outlook 2014 with projection to 2040, U.S. Energy Information administration, April 2014, [www.eia.gov/forecasts/aeo](http://www.eia.gov/forecasts/aeo)
- <sup>30</sup> S.S. Ushkov and B.G. Ushakov, "Titanium structural alloys," Advanced Materials and Technologies, St. Petersburg, TsNII KM Prometei, 1993, pp. 35 - 36

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	Page
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	149/150

<sup>31</sup> The outlook for energy: a view to 2040, ExxonMobil, 2014

<sup>32</sup> BP energy outlook 2035, January 2014

<sup>33</sup> LNG Liquefaction Plants, Global LNG Info, april 2014, <http://www.globallnginfo.com>

<sup>34</sup> World's LNG Liquefaction Plants and Regasification Terminals, september 2014, <http://www.globallnginfo.com>

<sup>35</sup> An overview of the world LNG market and Canada's potential for exports of LNG, Canadian association of petroleum producers, january 2014

<sup>36</sup> LNG Shipping Market Review & Forecast, Drewry Maritime research, annual report 2012, november 2012

<sup>37</sup> IAEA, Nuclear power reactors in the world, reference data series No.2, 2014 edition

<sup>38</sup> BP energy outlook 2035, january 2014, [www.bp.com/energyoutlook/](http://www.bp.com/energyoutlook/)

<sup>39</sup> The big, green, clean machine – a nuclear renaissance update for the titanium industry, D. Schumerth, Proc. International Titanium Association, Titanium 2009, Waikoloa, Hawaiï, USA

<sup>40</sup> Kobe Steel Supplies High Heat Transfer Titanium Sheet for Use in OTEC Demonstration Project in Okinawa, A. Okamoto, Kobe steel, october 2013

<sup>41</sup> OTEC Océanothermie, David Levrat, rapport ingénieur ENSEEIHT 2003, juin 2004 révisée octobre 2004.

<sup>42</sup> 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](http://www.iaeng.org/publication/WCE2010/WCE2010_pp1618-1623.pdf)

<sup>43</sup> 2007 Survey of Energy Resources World Energy Council 2007, [www.worldenergy.org/documents/otec\\_country\\_notes.pdf](http://www.worldenergy.org/documents/otec_country_notes.pdf)

<sup>44</sup> OTEC & TIDAL energy, P. Bansal, <http://www.che.iitm.ac.in/~sjayanti/presentations/final1.ppt>

<sup>45</sup> Ocean thermal energy conversion : information needs assessment, National Oceanic & Atmospheric Administration, september 2012, <http://coastalmanagement.noaa.gov/otec/docs/otecassessment.pdf>

<sup>46</sup> 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](http://crrc.unh.edu/sites/crrc.unh.edu/files/media/docs/Workshops/otec_2/OTECII_effects_withappendix.pdf)

<sup>47</sup> [http://www.otecnews.org/wp-content/uploads/2013/11/Ikegami\\_Mutair\\_Saga\\_University.pdf](http://www.otecnews.org/wp-content/uploads/2013/11/Ikegami_Mutair_Saga_University.pdf)

<sup>48</sup> American chemistry council, <http://www.americanchemistry.com>

<sup>49</sup> 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

<sup>50</sup> Opportunities for low cost titanium in reduced fuel consumption, improved emissions, and enhanced durability heavy-duty vehicle, EHK Technologies, Juillet 2002, [www.ehktechnologies.com](http://www.ehktechnologies.com)

<sup>51</sup> Titanium in automotive production, Olivier Schauerte, Volkswagen AG Wolfsburg, Advanced Engineering Materials June 2003,5,N°6, p.411-418.

<sup>52</sup> Summary of emerging titanium cost reduction technologies, EHK Technologies, January 2004

<sup>53</sup> Impact des différents scénarii 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

<sup>54</sup> Non-melt processing of "low-cost" Armstrong titanium and titanium alloys powders, W. Peter, Proc. of the Light Metals Technology Conference 2007

<sup>55</sup> 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

<sup>56</sup> 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

<sup>57</sup> 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

<sup>58</sup> Separation of Ultra High Purity Alpha Titanium Sponge (>98%) from Titanium dioxide by Direct Reduction, J. Ephraim, Proc. International Titanium Association, Titanium Europe 2014, Sorrento, Italy, May 19-21, 2014

<sup>59</sup> [http://fr.wikipedia.org/wiki/Fabrication\\_additive](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fabrication_additive)

<sup>60</sup> Friction stir welding and hybrid laser welding provide new solutions for titanium manufacturing, J. Bernath, Proc. International Titanium Association, Titanium 2009, Waikoloa, Hawaiï, USA

Edition publique Etude de veille sur le marché du titane 2012 -2014	<b>Page</b>
BdC N° 1401645274 du 30/10/2012 et N° 1402408946 du 10/03/2014	150/150

---

<sup>61</sup> Titanium scrap market overview, Ed Newman and al., Proc. of 21rst annual International Titanium Association Application Conference, oct 1- 3, 2006

<sup>62</sup> Ocean Thermal Energy Corporation, <http://www.otecorporation.com>

<sup>63</sup> A high performance titanium sheet for plate type heat exchanger, D. Hayashi, Proc. International Titanium Conference, Titanium 2010, Orlando, Florida, USA

<sup>64</sup> Ocean thermal energy conversion, technology brief, Irena, june 2014, [www.irena.org](http://www.irena.org)

<sup>65</sup> China Titanium Metal Import & Export Trends, F. Faizulla, Proc. International Titanium Association, Titanium 2007, Orlando, Florida, USA