

Rapport de synthèse

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur
les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010

Pierre-François LOUVIGNÉ

-

Etude réalisée pour le compte du

Ministère de l'Economie des Finances et de l'Industrie
Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières
Direction des Ressources Energétiques et Minérales

dans le cadre de la Convention N° 01 2 83 00 07

Novembre 2003

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	1/104

SOMMAIRE

<i>Environnement de la mission et principales conclusions</i>	6
PREMIERE PARTIE: Contexte actuel	10
I UN CYCLE DE PRODUCTION LONG ET COMPLEXE	10
II DETERMINANTS DU MARCHÉ ACTUEL	13
II.1 LES PRODUCTEURS DE TITANE	14
II.2 ASPECTS GEOSTRATEGIQUES DE LA PRODUCTION DE TITANE	18
II.3 LES APPROCHES « BAS COÛT »	24
II.3.1 Les technologies à foyer froid	24
II.3.2 La fusion par induction (ou Induction Skull Melting - ISM)	26
II.3.3 Les nouveaux procédés d'extraction d'éponge	27
II.4 LE SCRAP DE TITANE	27
II.5 INTERACTION AVEC LA FILIERE ACIER	33
II.5.1 Éponge de titane	33
II.5.2 Ferrotitane	33
II.6 ESTIMATION DE LA CONSOMMATION MONDIALE DE TITANE	37
II.7 SYNTHÈSE DES DETERMINANTS DU MARCHÉ ACTUEL	39
II.8 CHOIX DES SCÉNARIIS	40
<i>DEUXIEME PARTIE: étude des scénarii d'évolution du marché du titane</i>	42
III SCENARIO DE CONTINUITÉ DE LA FILIERE KROLL	42
III.1 RAPPORTS DE FORCE ENTRE FOURNISSEURS	43
III.1.1 Le potentiel de VSMPO	43
III.1.2 Le cas particulier de UKTM	44
III.1.3 L'augmentation de la capacité de production d'éponge	44
III.1.4 Les nouveaux entrants asiatiques	45
III.2 CARACTERISTIQUE DE L'OFFRE DANS LA FILIERE KROLL	46
III.2.1 Une industrie liée à des secteurs stratégiques	47
III.2.2 Les prix du marché basés sur les coûts de production des pays développés	47
III.2.3 Un marché dominé par l'offre	48
III.2.4 La production d'éponge : un facteur limitant de l'offre	49
III.2.5 Deux matières premières dans la filière titane: l'éponge et le scrap	49
III.2.6 Mieux valoriser le scrap	50
III.3 LOGIQUE DE MARCHÉ ET DEVELOPPEMENT : LA DEMANDE	50
III.3.1 Classement des marchés par facteur principal d'influence	51
III.3.2 Analyse du classement par facteur principal d'influence	52
III.4 PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DE LA FILIERE KROLL	52
III.4.1 Évolution du prix du titane : paramètres liés à l'offre	52
III.4.2 Baisse des coûts de production : paramètres liés à l'offre	53

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	2/104

III.4.3	Évolution des besoins sur les marchés captifs	55
III.4.3.1	Évolution du besoin dans l'aéronautique commercial	55
III.4.3.2	Évolution du besoin dans le domaine aéronautique militaire	55
III.4.3.3	Évolution des besoins sur les marchés « Sport, Loisir, Lunetterie, Luxe »	58
III.4.3.4	Évolution du besoin sur le marché de l'Énergie (1 ^{ère} partie : marché captif)	58
III.4.4	Développement des marchés à effet de seuil sur les prix	59
III.4.4.1	Potentiel d'évolution dans le domaine de l'énergie (2 ^{ème} partie : marché à effet de seuil)	59
III.4.4.2	Marché du dessalement	60
III.4.4.3	Potentiel de développement dans le domaine de la Défense (hors aéronautique)	60
III.4.4.4	Débouchés dans le secteur du transport terrestre	61
III.4.4.5	Potentiel des secteurs Chimie, Off-shore et secteurs associés	62
III.4.4.6	Applications architecturales	63
III.4.4.7	Développement du secteur naval	63
III.5	SYNTHESE DU SCENARIO « CONTINUTE DE LA FILIERE KROLL »	64
IV	SCENARIO d'EMERGENCE DE LA FILIERE FFC	67
IV.1	UN PROCEDE REVOLUTIONNAIRE ?	68
IV.2	PRINCIPE DU PROCEDE FFC-CAMBRIDGE	68
IV.3	LES SPECIFICITES DU PROCEDE FFC	70
IV.4	AUTRES NOUVEAUX PROCEDES D'EXTRACTION	71
IV.5	CONTEXTE INDUSTRIEL DU PROCEDE FFC	73
IV.6	LES ATOUTS DU PROCEDE FFC	74
IV.6.1	Les produits de réaction	74
IV.6.2	Processus de production	75
IV.6.3	Éponges pré-alliées	75
IV.6.4	Production directe de poudre de titane	76
IV.6.5	Qualité des produits	77
IV.6.6	Nouveaux matériaux	78
IV.7	IMPACT DU PROCEDE FFC SUR LA FILIERE TITANE	78
IV.7.1	Conséquence sur le prix de l'éponge	78
IV.7.2	Conséquence pour les applications « poudre »	79
IV.7.3	Conséquence pour les procédés de fusion	80
IV.7.3.1	Procédé VAR	80
IV.7.3.2	Procédés à foyer froid EB et PAM	81
IV.7.3.3	Procédé par induction (ISM)	81
IV.7.4	Conséquences pour les marchés (effet volume)	81
IV.7.5	Effets induits sur le scrap et sur la filière ferrotitane	82
IV.8	PROJETS DE DEVELOPPEMENT DU PROCEDE FFC	83
IV.9	EXTRAPOLATION SUR LE DEROULEMENT DU SCENARIO	85
IV.10	SYNTHESE DU SCENARIO D'EMERGENCE DE LA FILIERE FFC	87
V	CONCLUSION	90
	ANNEXES	92
	REFERENCES INTERNET	101
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	103

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	3/104

LISTE DE FIGURES

Figure 1: Cycle de production d'un lingot de titane pur obtenu par procédé Kroll et par double fusion VAR (source Toho Titanium Co.)	12
Figure 2: Répartition par secteur d'activité de la production japonaise de titane (données de l'association japonaise Japan Titanium Society (JTS))	18
Figure 3: Estimation de la production mondiale d'éponge de titane en 2000 selon l'étude Roskill	19
Figure 4: Estimation de la production mondiale d'éponge de titane en 2002 – sources: USGS hors production américaine (estimation) – Total estimé: 78.200 tonnes	19
Figure 5: Estimation de la capacité mondiale de production d'éponge de titane	20
Figure 6: Estimation de la capacité mondiale de production de lingot de titane sources : USGS, Roskill	20
Figure 7: Répartition par destination de l'éponge AVISMA exportée (source AVISMA)	22
Figure 8: Production d'éponge en CEI entre 1991 et 1998 – source Roskill ^t	23
Figure 9: Principe du procédé de fusion par faisceau d'électron EB (source Timet)	24
Figure 10: Principe du procédé de fusion par torches plasma PAM (source: Timet)	25
Figure 11: Exemple de four à induction (Induction Skull Melting – ISM)	26
Figure 12: Four à induction avec un creuset optimisé (source Tecnofin)	26
Figure 13: Nature des matières premières utilisées par Timet (source: UOIG)	29
Figure 14: Cycle économique des matières premières et recyclées (valeurs calculées à partir de données Midhani)	30
Figure 15: Flux d'import/export de scrap de titane en 2000	31
Figure 16: Production mondiale de FeTi70% en 2000 par région (source LSM)	34
Figure 17: Consommation mondiale de FeTi70% par région en 2000 (source LSM)	34
Figure 18: Evolution du prix du FeTi70% de 1980 à 2001 en \$/lb (source LSM)	35
Figure 19: Evolution du prix du scrap non traité de 1987 à 2001 en \$/kg (source Metal Bulletin)	36
Figure 20: Interaction entre filières titane et ferrotitane	37
Figure 21: Facteurs principaux régissant le choix du titane pour une application donnée	51
Figure 22: Baisse des coûts dans la chaîne de production du titane	53
Figure 23: Comparatif des coûts de production en fonction de la technique de fusion adoptée (VAR ou ISM) pour la production de club de golf	54
Figure 24: Prévision de production mondiale d'avions militaires - Estimation (sources: Allvac)	56
Figure 25: Prévision de production d'avion militaire d'après Timet	56
Figure 26: Production d'avions militaires entre 1985 et 2003 d'après Timet	58
Figure 27: Étapes du procédé FFC Cambridge (d'après QinetiQ)	69
Figure 28: Principe de réduction électrochimique (d'après QinetiQ)	69
Figure 29: Image de la microstructure de l'éponge FFC au microscope électronique à balayage	71
Figure 30: Principe du procédé OS comparé à celui du procédé FFC	72
Figure 31: Répartition des droits d'exploitation du brevet FFC	74
Figure 32: Production d'éponge pré-alliée par le procédé FFC (Source: QinetiQ)	75
Figure 33: Éponge FFC pré-alliée après réduction (source QinetiQ)	76
Figure 34: Exemple de microstructure d'éponge FFC (source QinetiQ)	76
Figure 35: Grains de poudre de titane obtenus par le procédé FFC (source: QinetiQ)	77
Figure 36: Impact du procédé FFC sur le marché des poudres de titane (source QinetiQ)	79
Figure 37: Production de poudre de titane par le procédé FFC (source: QinetiQ)	80
Figure 38: Facteurs principaux régissant le choix du titane pour une application donnée	81
Figure 39: Coexistence des filières Kroll et FFC	83
Figure 40: Prix moyen mensuel de l'éponge de titane sur le marché libre européen (source: Metal Bulletin)	93
Figure 41: Prix moyen de l'éponge de titane des producteurs américains (source: Metal Bulletin)	93
Figure 42: Historique de la capacité opérationnelle mondiale de production d'éponge (en Tonnes) – source ITA/USGS/JTS	94
Figure 43: Prix moyen du scrap de titane (tournure non traitée) sur des lots de 10 tonnes (source: Metal Bulletin)	95

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	4/104

<i>Figure 44: Import-Export de ferrotitane et ferrosilicotitane en France</i>	96
<i>Figure 45: Import-Export de déchets et débris de titane en France</i>	97
<i>Figure 46: Import-Export de barres, profilés et fils de titane en France</i>	97
<i>Figure 47: Import-Export de tôles, bandes et feuilles de titane en France</i>	98
<i>Figure 48: Import-Export de tubes et tuyaux de titane en France</i>	98
<i>Figure 49: Import-Export d'autres produits de titane en France</i>	99

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	5/104

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1: Importation d'éponge aux USA en 2002 (source: USGS)</i>	21
<i>Tableau 2: Classification du scrap de titane par nature</i>	28
<i>Tableau 3: Recyclage du scrap de titane aux USA en 2001 et 2002</i>	32
<i>Tableau 4: Estimation de la répartition de la consommation mondiale de titane d'après MBM et RTI</i>	37
<i>Tableau 5: Estimation de la production de titane en 2002 (*source VSMPO, **source Japan Titanium Society)</i>	38
<i>Tableau 6: Prévission d'augmentation des budgets de Défense aux USA (source Crédit Suisse/First Boston)</i>	57
<i>Tableau 7: Consommation de titane au Japon en 2002 ventilée par secteur (source JTS)</i>	100

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	6/104

ENVIRONNEMENT DE LA MISSION ET PRINCIPALES CONCLUSIONS

✓ Contexte de l'étude

En 2001, la crise internationale née des attentats du 11 septembre aux États-Unis a eu pour impact immédiat de fragiliser la filière de l'industrie aéronautique mondiale et par conséquent de ses sous-traitants dont fait partie l'industrie du titane. Or cet événement intervient à un moment où le marché du titane présente un risque élevé de déstabilisation de ses conditions d'approvisionnement. Cette déstabilisation peut être due, soit à une évolution de l'offre des filières traditionnelles sous la pression de la demande de « titane bas coût », soit à l'apparition d'une nouvelle filière exploitant un procédé innovant d'extraction du métal titane, ou encore, à un effet combiné des deux précédentes hypothèses.

Compte tenu de l'importance stratégique de ce métal dans le secteur aéronautique et pour certaines applications spécifiques de défense, **il est proposé dans le cadre de cette étude de déterminer l'impact de ces différents scénarii d'évolution des filières du titane sur les conditions d'approvisionnement à échéance de 5 à 10 ans.**

Différents éléments sont à prendre en compte dans l'étude :

Du côté de la demande, les crises internationales qui se succèdent depuis le début de la décennie ajoutent un facteur d'incertitude à la configuration future du marché du titane en ce sens qu'elles ont des répercussions sur le niveau de la demande et par conséquent sur les choix stratégiques des producteurs. A cet égard deux hypothèses peuvent être envisagées :

- effondrement de la demande dû à la crise internationale et risque accentué de fermeture de capacité qui renforcera l'impact sur les choix technologiques des opérateurs ;
- maintien du niveau de la demande dû, soit à une reprise rapide du niveau de croissance des économies occidentales, soit à un accroissement significatif des besoins de l'industrie de défense (aéronautique et autre). Cette reprise permettrait aux opérateurs d'accorder une part plus importante aux aspects technico-économiques dans leurs choix stratégiques.

Du côté de l'offre, deux scénarii majeurs sont à prendre en compte a priori :

- le premier scénario s'inscrit dans la continuité des filières actuelles avec une évaluation des effets des filières naissantes de titane « bas coût » (« bas coût » au sens « moindre qualité ») sur les prix de la matière et sur les volumes de production. On s'intéresse, en conséquence, aux effets induits (coût et volume) sur les applications actuelles utilisant du titane de qualité et on évalue les nouveaux marchés intéressés par du titane « bas coût ». L'analyse est complétée

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	7/104

par une présentation des évolutions prévisibles de la politique commerciale des pays de CEI ainsi que celle des nouveaux fournisseurs face à cette évolution de l'offre ;

- le second scénario est centré sur l'émergence d'une nouvelle filière de titane s'appuyant sur les développements récents du partenariat Cambridge/DERA qui ont abouti à l'invention d'un nouveau procédé d'extraction du titane en remplacement du procédé Kroll. Il s'agit d'abord d'évaluer la solidité des bases scientifiques du nouveau procédé et de ses chances de succès à l'échelle industrielle, et ensuite, d'estimer les gains en terme de coût de fabrication et de simplification des gammes de fabrication. A partir de ces éléments, une projection est faite des prix de vente probables du titane métal et des conséquences sur les demi-produits et les produits finis.

In fine, on évalue dans quelles mesures l'apparition d'une nouvelle filière risque de transformer la donne sur le marché du titane. En croisant les divers scénarii d'offre et de demande, on détermine les conséquences sur les filières « Kroll » (titane de qualité et titane bas coût) en tenant compte des ripostes possibles, stratégiques (politique de concentration, politique offensive d'attaque sur le brevet, neutralisation de la filière etc.) et économiques (baisse des prix, apport massif de matière sur le marché etc.). Sur la base des hypothèses de prix du marché issues de l'étude, on propose les nouvelles configurations possibles du marché du titane en terme de volume et de répartitions selon les débouchés existants et potentiels.

✓ **Principales conclusions**

Les travaux se sont déroulés sur une période de 14 mois de janvier 2002 à avril 2003, à un moment où des projets de développement de nouveaux procédés, en particulier le procédé de l'Université de Cambridge dit « procédé FFC », commencent à prendre forme. La description des procédés est intégrée dans le rapport qui se présente en deux grandes parties :

- la première partie : présentation du contexte actuel, de l'organisation industrielle de la filière et des déterminants du marché ;
- la deuxième partie : étude des scénarii d'évolution du marché.

A l'issue de ces travaux il apparaît qu'à l'horizon de l'étude :

⇒ les perspectives d'évolution du marché, au delà de la crise actuelle, vont dans le sens d'un accroissement significatif de la demande portée par différents secteurs:

- par le secteur aéronautique civil, en raison du renouvellement des flottes actuelles et des besoins croissants dans les pays en voie de développement;

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	8/104

- par le secteur militaire, en raison des nouvelles applications dans le domaine des blindages et structures de véhicules pour répondre au besoin d'allègement des matériels militaires;
- par le secteur industriel, en raison des gains que peut apporter l'utilisation du titane dans la réduction des coûts d'exploitation des installations.

⇒ du côté de l'offre, on assiste à un renversement des rapports de force entre les producteurs de titane au profit de l'industrie d'Europe centrale et au détriment de l'industrie américaine. Les producteurs japonais, précurseurs pour de nombreux domaines d'application hors aéronautique, conservent une position forte tant à l'exportation que pour leur consommation domestique. Bien que déjà présente au niveau de l'offre internationale, la Chine ne possède pour l'instant qu'une capacité de production trop limitée pour jouer un rôle significatif. A échéance d'une dizaine d'année, ce pays est en mesure de développer ses moyens de production et de concurrencer les producteurs d'Europe de l'Est grâce à ses faibles coûts de production. Ce nouveau contexte économique marquerait une nouvelle étape dans la baisse du prix du titane.

⇒ l'analyse que nous avons menée sur les scénarii montre à quel point l'industrie des pays développés a besoin d'une véritable rupture technologique dans ses filières de production pour permettre une baisse significative des coûts de production du titane. Cette baisse des coûts, partiellement obtenue grâce aux nouveaux procédés de fusion à foyer froid, est en effet trop limitée pour espérer atteindre les prix seuils pour certains grands marchés d'application. L'émergence d'un nouveau procédé d'extraction du titane métal est possible dans les 5 à 10 années à venir, que ce soit le procédé FFC déjà financé par la DARPA^a ou un des nombreux autres procédés en cours de développement de par le monde. Au delà de la méthode d'obtention du métal, c'est également un vaste champ d'innovation qui s'ouvre, tant au niveau des matériaux que dans celui des techniques de mise en œuvre. La recherche se trouve maintenant stimulée par le contexte concurrentiel des producteurs de CEI et d'Asie pour produire à moindre coût ce matériau qui est et restera, rappelons-le, un matériau stratégique pour certaines application comme le militaire et le nucléaire.

^a Defense Advanced Research Projects Agency (USA)

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	9/104

Première Partie : Contexte actuel

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	10/104

PREMIERE PARTIE: CONTEXTE ACTUEL

CHAPITRE I

I UN CYCLE DE PRODUCTION LONG ET COMPLEXE

Le titane est le 9^{ième} élément le plus abondant sur Terre (0.44% à 0.6% de la croûte terrestre selon les estimations) et se classe 4^{ième} dans la liste des métaux après le fer, l'aluminium et le magnésium. Il est extrait de minerais, principalement d'ilménite (FeTiO₃ – réserve mondiale estimée¹ à 1 milliard de tonnes d'équivalent TiO₂) et de rutil (TiO₂ – réserve mondiale estimée¹ à 230 millions de tonnes). Toutefois la quantité de minerai 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 4.5 millions de tonne de TiO₂ en 2002, un peu plus d'une centaine de milliers de tonnes est utilisée pour produire de l'éponge de titane (production mondiale d'éponge estimée à environ 80.000 tonnes en 2002^b). Le reste de la production est utilisé dans l'industrie du pigment, en particulier comme agent de blanchiment du papier et des peintures.

Dans la filière de production du titane métal, le TiO₂ est ensuite transformé en TiCl₄ par procédé de chloration puis réduit par réaction avec du sodium (procédé Hunter) ou avec du Magnésium (procédé Kroll) pour obtenir in fine un matériau très poreux appelé éponge de titane. Le procédé Kroll est aujourd'hui le procédé le plus utilisé dans l'industrie en raison du danger de manipulation du sodium.

Néanmoins, le procédé Kroll reste une étape de production délicate en raison du caractère fortement exothermique de formation du TiCl₄ et de la complexité des traitements chimiques. Le réacteur doit être maintenu à une température comprise entre 850°C et 950°C pour obtenir la fusion du MgCl₂ mais doit également rester en deçà de 1000°C pour éviter la contamination par le fer et un endommagement du container.

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

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

Une estimation² de la décomposition des coûts dans la production d'éponge de titane par le procédé Kroll donne la répartition suivante :

^b les données de production américaines ne sont pas publiées. La production mondiale d'éponge or USA publiée par l'USGS¹ est de 72.000 tonnes en 2002.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	11/104

- la matière première rutil compte pour 4% à 6% du coût total ;
- la préparation du réacteur et des constituants compte pour 4% à 5% ;
- la production et la purification du $TiCl_4$ compte pour 30% à 33% ;
- la réduction du magnésium, la distillation sous vide, et la préparation finale de l'éponge compte pour 55% à 60%.

Cette répartition souligne l'importance de la part investissement et coût d'exploitation de l'outil de production dans cette filière. D'autres données obtenues de la société SMC³ qui exploite l'unité de production kazakh UKTM donnent la répartition suivante :

- matières premières (Ilménite, chlore, magnésium) – 15% à 20%
- main d'œuvre – 20%
- électricité – 20%
- investissement, maintenance, consommables – 40% à 45%

Ces chiffres sont donnés à titre indicatif compte tenu du peu d'information disponible. Toutefois on peut retenir que la filière Kroll est basée sur un outil de production complexe et consommateur d'énergie dont la structure de coût ne peut s'affranchir de charges d'investissement et d'exploitation lourdes. C'est pour cette raison que de nombreuses recherches ont été menées pour remplacer le procédé Kroll.

Nous présenterons dans ce document des développements récents dans le domaine des procédés d'extraction du titane et en particulier le procédé FFC auquel nous consacrerons une étude de scénario.

Après l'étape de production de l'éponge, vient ensuite 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 par faisceau d'électron EB (Electron Beam) ou par faisceau plasma PAM (Plasma Arc Melting) ;
- la technique de fusion par induction ISM (Induction Skull Melting)

Nous présenterons ces différentes techniques et discuterons de leur impact sur l'organisation de la filière de production.

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 en terme d'homogénéité des produits obtenus, le cycle de production peut comprendre deux, voire trois fusions successives du même lingot.

Un chapitre de l'étude sera réservé au scrap de titane et aux interactions entre la filière de recyclage du titane et celle du ferrotitane. Le ferrotitane est un composé utilisé dans l'industrie sidérurgique. Sa fabrication utilise également le scrap de titane comme matière première.

Les lingots sont en général transformés par forgeage à chaud et usinage pour obtenir des demi-produits sous forme de brames, bloom ou billeterie. Puis on obtient des produits finis (feuilles, bobines, barres, plaques, câbles etc.) par différentes étapes de transformation de laminage, forgeage, extrusion, usinage etc. Les pièces de fonderie sont en générale réalisées directement à partir du lingot de fusion auquel est rajoutée une proportion variable de scrap. De nouvelles techniques permettant d'obtenir plus directement des pièces proches des cotes finies sont également utilisées ou en cours de développement en particulier en métallurgie des poudres.

A fin d'illustration nous présentons dans la figure suivante un schéma présentant le cycle typique de production d'un lingot de titane pur obtenu par double fusion VAR à partir d'une éponge produite par le procédé Kroll.

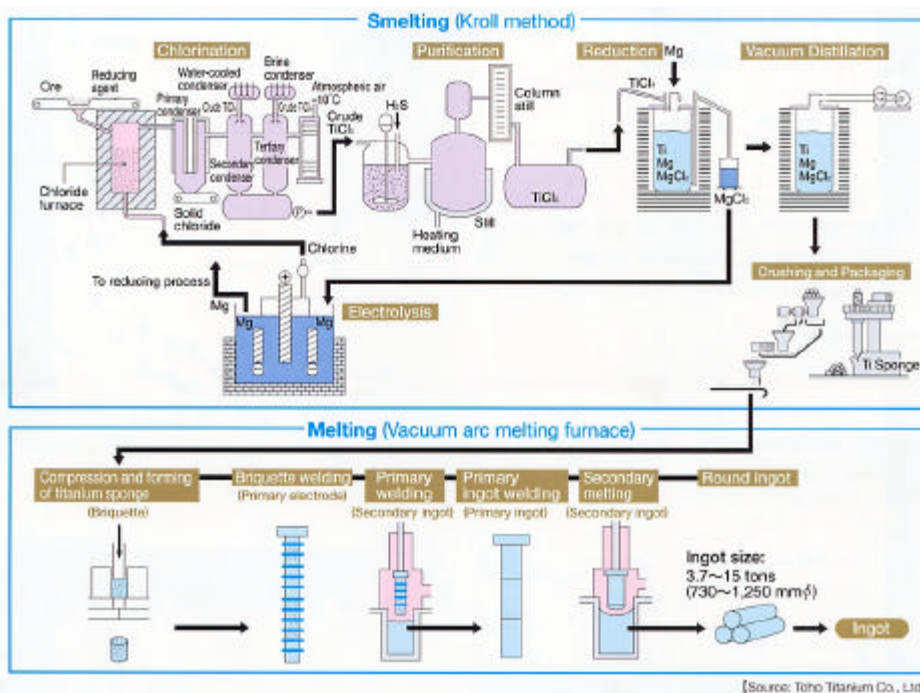


Figure 1: Cycle de production d'un lingot de titane pur obtenu par procédé Kroll et par double fusion VAR (source Toho Titanium Co.)

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	13/104

PREMIERE PARTIE: CONTEXTE ACTUEL

CHAPITRE II

II DETERMINANTS DU MARCHE ACTUEL

Résumé : Dépendant de marchés cycliques comme l'aéronautique et l'énergie, le marché du titane est instable, soumis à de fortes variations sur les prix et les délais d'approvisionnement. Le développement des marchés de diversification n'est pas encore suffisant pour absorber les fluctuations de la demande sur ces marchés traditionnels. Après deux décennies de domination de l'industrie américaine, on observe une montée en puissance de l'industrie productrice de CEI, en particulier russe. Ce changement de leadership stimule une baisse des prix dans un contexte concurrentiel ravivé, mais cette baisse est limitée car le référentiel de prix du titane reste basé les coûts de production des pays développés. Aux USA, le développement des techniques de fusion à foyer froid a permis également d'initier une dynamique de baisse des coûts en utilisant massivement le déchet de titane (scrap) comme matière première en complément de l'éponge de titane, la matière première noble de la filière. Malheureusement, cette valorisation des déchets dans la filière titane provoque des conflits d'approvisionnement avec une autre filière liée à l'industrie sidérurgique : celle du ferrotitane. Non structuré et soumis aux aléas de l'offre et de la demande sur deux filières disjointes, le marché du scrap est sujet périodiquement à spéculation, pénurie et fluctuation des prix.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	14/104

II.1 LES PRODUCTEURS DE TITANE

VSMPO - AVISMA (Russie) : Producteur de titane intégré verticalement depuis la production d'éponge jusqu'à la réalisation de pièces finies. VSMPO contrôle le producteur national d'éponge AVISMA dont il détient au moins 70% du capital. Challenger de l'américain Timet actuel numéro 1, le producteur russe est en position de force sur le marché et en passe de devenir leader. Héritier des développements d'alliages russes de l'époque soviétique, VSMPO possède non seulement le savoir-faire industriel pour le développement de nouveaux alliages mais il détient également un formidable outil de production, unique au monde. Le producteur russe cherche actuellement à mettre en place des accords de distribution sur le marché français dans le but de développer les marchés hors aéronautique. La lutte commerciale avec les producteurs américains est rude, en particulier avec le leader actuel Timet. Bon nombre de personnels débauchés par cette société travaille maintenant dans les bureaux de VSMPO basés aux USA.

Le producteur russe possède les ressources pour absorber une très forte augmentation de la demande. Il est référencé auprès de tous les grands industriels de l'aéronautique : 70% de la production annuelle de VSMPO est commandée dans le cadre de contrat cadre avec Boeing, Airbus, GE et R&R. Le partenariat Boeing - VSMPO défini initialement sur la période 1997-2003 a été étendu jusqu'en 2007. Environ 20% des pièces en titane de Boeing est d'origine russe et un programme de développement du partenariat technico-scientifique a été mis en place avec l'embauche de 350 ingénieurs aéronautiques russes au "Boeing Design Center" de Moscou. Airbus a également en projet d'ouvrir un centre technique en Russie.

La production de VSMPO est estimée à environ 10.000 à 15.000 tonnes de titane en 2002 pour une capacité théorique de l'ordre de 100.000 tonnes dont probablement la moitié n'est pas opérationnelle actuellement. La production d'éponge AVISMA est estimée à environ 23.000 à 26.000 tonnes en 2002 pour une capacité de production théorique comprise entre 26.000 et 40.000 tonnes selon les sources. La valeur basse de l'estimation semble la plus probable car VSMPO a annoncé en juillet 2003 que sa capacité serait augmentée à 30.000 tonnes dans le courant de l'année.

Très récemment (mai 2003), VSMPO a créé une joint venture (UNITI LLC) avec le groupe Allegheny pour développer en commun le marché américain du titane pur sur les applications chimie, énergie, dessalement, architecture, automobile, biens de consommation etc.

UKTM (Kazakhstan) : Le producteur d'éponge kazakh est un acteur clef du marché car il est le seul fabricant d'éponge ne dépendant pas d'une unité de production de lingot. Son capital social est contrôlé par la société belge Specialty Metals (65.57%) qui a su investir dans cette unité de production à l'époque de la libéralisation du marché soviétique. Soumis dans le passé aux contraintes d'importation des minerais de titane, la société exploite maintenant, dans la région, des ressources minières d'ilménite à travers la joint venture kazakh-belgo-suisse « Satpayevsk Titanium Mine Ltd ». Sa capacité actuelle de production est de l'ordre de

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	15/104

26 000 tonnes, pour une production actuelle de l'environ 14.000 tonnes (sources USGS⁴). L'éponge est qualifiée par les grandes compagnies de moteur d'avion (Pratt&Withney, SNECMA, R&R, GE).

ZTMK (Ukraine) : Producteur d'éponge, ZTMK est l'une des sources historiques d'approvisionnement de matière première pour la Russie et le Kazakhstan. Depuis la chute de l'empire soviétique, le producteur est en quête de marchés à l'export car la demande intérieure est peu développée. La libération partielle des parts du capital de la société détenu par l'état ukrainien, est régulièrement annoncée puis reportée. Le producteur bénéficie depuis 2002 de tarification préférentielle en électricité pour soutenir sa compétitivité, le prix du kilowatt/heure étant indexé au prix de l'éponge TG120-150 publié au marché libre européen.

D'après l'USGS⁵ la production d'éponge est estimée à 6200 tonnes en 2001-2002 pour une capacité de 6500 tonnes environ. L'étude Roskill⁶ annonce une capacité de production de l'ordre de 20 000 tonnes en 2001 pour une production proche de l'estimation USGS. La capacité de production de lingot étant pour l'instant très limitée en Ukraine (environ 1000 tonnes), la plupart de l'éponge est, semble-t-il, exportée vers les Pays-bas puis ré-exporté vers l'Allemagne, le Royaume-Uni et la Russie⁷. Selon d'autres sources, le producteur ukrainien exporterait également des volumes importants d'éponge vers la Chine. Par recoupement de diverses informations, nous pensons que cette éponge est destinée principalement à l'industrie sidérurgique en Europe et en Asie.

L'éponge n'étant pas qualifiée pour les applications moteurs dans l'aéronautique, le potentiel du producteur ukrainien est loin d'être exploité actuellement. Soutenu par une volonté nationale forte de développer l'industrie, des projets d'extension des capacités de production d'éponge et de lingot sont envisagés.

ANTARES (Ukraine) : Producteur de lingot utilisant l'éponge de ZTMK. Antares bénéficie du même soutien de la part de l'état ukrainien que le producteur d'éponge. Il cherche à développer l'export vers les pays occidentaux et offre la possibilité de limiter sa prestation à la fusion des lingots, le client pouvant apporter sa matière première. Sa capacité de production actuelle est de 5.000 tonnes/an. Antares dispose de deux fours EB qui produisent des lingots cylindriques et rectangulaires de 3 à 15 tonnes.

TITANIA – DEUTSCHE TITAN (Italie - Allemagne) : Dépendant du groupe Thyssen, le producteur de lingot est l'outsider européen occidental spécialisé dans le titane pur. Deutsche Titan, filiale de Titania, a une capacité de production 4000 tonnes. Titania adopte une stratégie du « tout scrap » en utilisant la fusion par induction (skull melting) développée initialement par l'institut russe VILS et qui permet l'utilisation massive de scrap comme matière première de fusion. Titania a une présence commerciale forte sur le titane pur en particulier pour les applications chimie, off-shore, dessalement avec une capacité de production propre d'environ 1000 tonnes et transforme également des lingots importés de Russie et des USA. Comme Antares, le producteur européen souhaite diversifier l'offre en limitant sa prestation à la fusion (scrap fourni par le client).

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	16/104

TIMET (USA) : Timet est le plus important producteur américain de titane. Il est intégré verticalement et subsiste seul producteur d'éponge aux USA^c après l'arrêt de production de Oremet en 2001. Sa capacité actuelle de production d'éponge est de 14 500 tonnes selon le Roskill et 8 600 tonnes selon l'USGS. Timet possède également des capacités de production de lingots aux USA (17.500 tonnes par le procédé VAR et 22.500 tonnes par le procédé EB) et en Europe (2500 tonnes à Timet Savoie (ex-CEZUS) en France, 5000 tonnes à Timet UK (ex-IMI) au Royaume Uni).

Le producteur américain développe sa stratégie de diversification sur les marchés hors aéronautique. Timet fournit en effet 65% des besoins du marché aéronautique américain qui représente 75% de son chiffre d'affaire. Compte tenu de la crise que subit ce secteur, la compagnie programme une réduction de l'activité jusqu'en 2004. Timet a semble-t-il en cours le développement de nouvelle capacité de production de pièces de fonderie, en particulier pour le secteur automobile.

Malgré sa production d'éponge intégrée, Timet a signé des contrats d'approvisionnement en éponge avec UKTM jusqu'en 2007 ainsi qu'avec AVISMA et les producteurs japonais.

RMI (USA) : Second producteur US de lingots avec une capacité de 16.300 tonnes, RMI cherche comme Timet à se diversifier sur les nouveaux marchés en raison de son activité importante dans le secteur aéronautique (70% de son chiffre d'affaire). Ne possédant plus sa propre capacité de production d'éponge, RMI est totalement dépendant des producteurs étrangers : UKTM, Toho, Sitix et AVISMA. RMI valorise son ferrosrap avec sa compagnie sœur Galt Alloys productrice de FeTi.

RMI a signé un accord d'approvisionnement avec Airbus jusqu'en 2004. Il deviendrait le second fournisseur derrière VSMPO.

ALLEGHENY WAH-CHANG et ALLVAC (USA) : Troisième producteur US de lingots, le groupe a stoppé son activité de production d'éponge Oremet-Wah Chang en 2001. Allegheny possède une capacité de production de lingot d'environ 32.000 tonnes avec les technologies VAR, plasma et EB. Le titane ne représente qu'une partie de l'activité du groupe qui produit également de l'acier. Ainsi certains outils de transformation de la filière acier sont utilisés pour le titane.

Le groupe a formé une joint venture avec le russe VSMPO (voir VSMPO).

BAOJI (Chine) : Seul producteur de lingot en Chine, Baoji possède une capacité de production de 4000 tonnes destinées à satisfaire les besoins intérieurs pour les secteurs stratégiques de l'aéronautique, de l'Espace, de la Défense et de l'énergie. A l'origine, l'entreprise nationale a été financée dans le cadre du 3^{ème} plan quinquennal de développement de l'industrie de Défense et de Hautes Technologies. Nouvel entrant sur le marché international, le producteur chinois n'en a pas moins réussi à se faire référencer auprès de

^c la société ALTA produit également de l'éponge (ultra pure) mais uniquement pour les applications électronique et semi-conducteurs. Sa capacité est de 350 tonnes/an.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	17/104

l'industrie aéronautique occidentale (Airbus, RMI, R&R, Boeing) et présente un fort potentiel de développement à l'export. Récemment, ce producteur a investi dans son outil de production en particulier par l'achat d'un four à foyer froid vraisemblablement dans l'objectif de mieux valoriser son scrap. Les prévisions d'augmentation de la capacité de production sont de l'ordre de 3000 à 6000 tonnes au-delà de la capacité actuelle. Baoji utilise l'éponge chinoise produite par Zunyi.

ZUNYI (Chine) : Producteurs d'éponge chinois dont la capacité de production est en prévision d'augmentation de 2500 tonnes à 5000 tonnes d'ici à 2004 pour répondre à la demande intérieure et satisfaire la demande à l'export limitée pour l'instant à 10% de la production totale.

WUSHUN (Chine) : second producteur d'éponge chinois d'une capacité limitée à 500 tonnes.

MIDHANI (Inde) : Midhani est le seul producteur de lingot indien. Il s'agit d'une unité de production industrielle nationale développée dans le cadre de programme « Home Grown Technology » sous tutelle de la Défense. La capacité de production est actuellement de l'ordre de 200 à 250 tonnes. Midhani est un nouvel entrant sur le marché international avec une volonté de développement à l'export. Il n'est pas en mesure actuellement de jouer un rôle significatif au plan international en raison de ses moyens limités.

Le cas particulier du Japon : une culture insulaire

L'activité titane au Japon se caractérise par un marché intérieur très diversifié où le secteur aéronautique pour les besoins intérieurs ne représente que quelques pour cents et une activité d'exportation représentant la moitié de la production totale du pays.

SUMITOMO SITIX et **TOHO** sont les deux principaux producteurs d'éponge avec une capacité respective de 18.000 et 10.800 tonnes. Sitix a retrouvé en 2002 sa capacité de production des années 80 pour répondre à l'augmentation de la demande internationale en conséquence de chute de capacité de production américaine. L'éponge japonaise utilisée pour les besoins intérieurs est aussi largement exportée et reconnue pour son excellente qualité.

SUMITOMO SITIX, TOHO et **KOBE** sont les principaux producteurs de lingots japonais pour une capacité nationale totale de production de l'ordre de 23.000 tonnes. Leur activité est historiquement orientée vers des marchés hors aéronautique comme le montre le graphe suivant.

<p align="center">Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010</p>	<p align="center">Page</p>
<p align="center">Document de synthèse – Édition : Décembre 2003</p>	<p align="center">18/104</p>

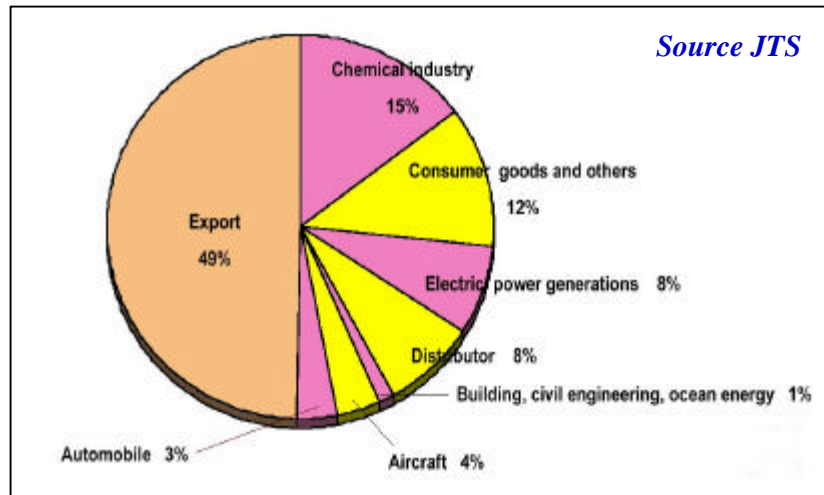


Figure 2: Répartition par secteur d'activité de la production japonaise de titane (données de l'association japonaise Japan Titanium Society (JTS))

II.2 ASPECTS GEOSTRATEGIQUES DE LA PRODUCTION DE TITANE

La production d'éponge est le premier maillon de la filière titane. C'est aussi une matière première utilisée dans l'industrie sidérurgique comme élément d'addition des aciers bas carbone au même titre que le ferrotitane. Il est donc intéressant d'étudier la répartition géographique des producteurs et d'analyser l'impact stratégique sur les filières.

Les grands producteurs de titane métal ont cherché à se garantir une source d'approvisionnement en intégrant leur propre unité de production d'éponge. C'est encore le cas aujourd'hui pour Timet, VSMPO, Sumitomo et Toho alors que RMI et le groupe Allegheny ont dû fermer leur unité de production respectivement en 1992 (capacité : 10 900 tonnes/an) et 2002 (capacité : 6800 tonnes/an). Pour répondre à la demande, le Japonais Sumitomo a augmenté sa capacité de production de 3000 tonnes en 2002, retrouvant ainsi son niveau des années 1980 à savoir 18 000 tonnes/an. L'arrêt récent de la production du groupe Allegheny a eu pour conséquence une nouvelle répartition de l'origine des éponges avec un recentrage sur la CEI et l'Asie (voir figures ci-dessous).

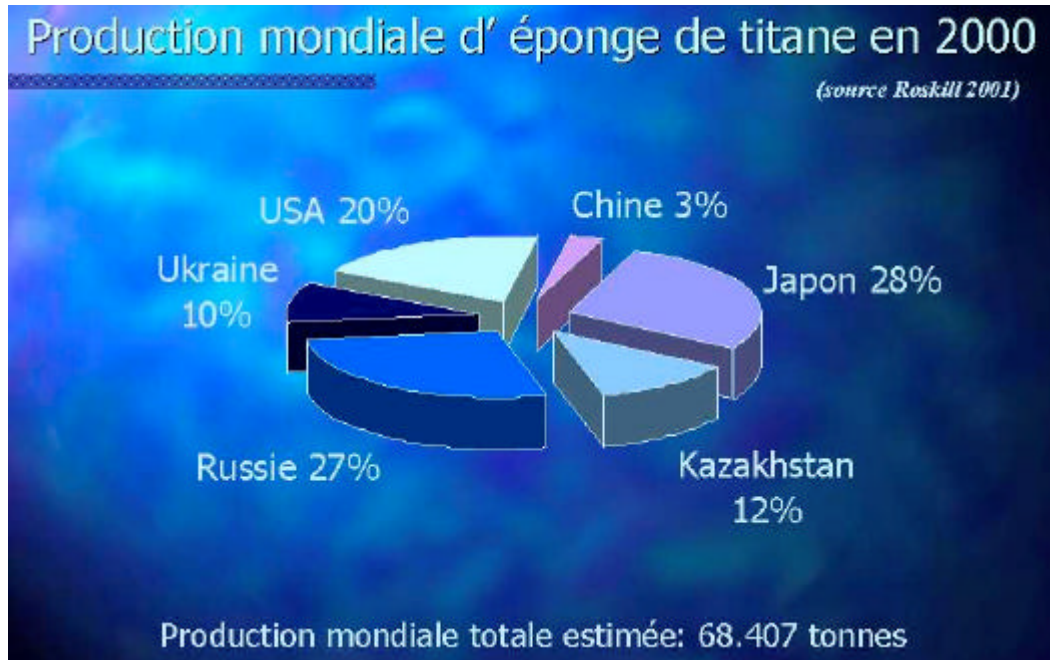


Figure 3: Estimation de la production mondiale d'éponge de titane en 2000 selon l'étude Roskill⁸

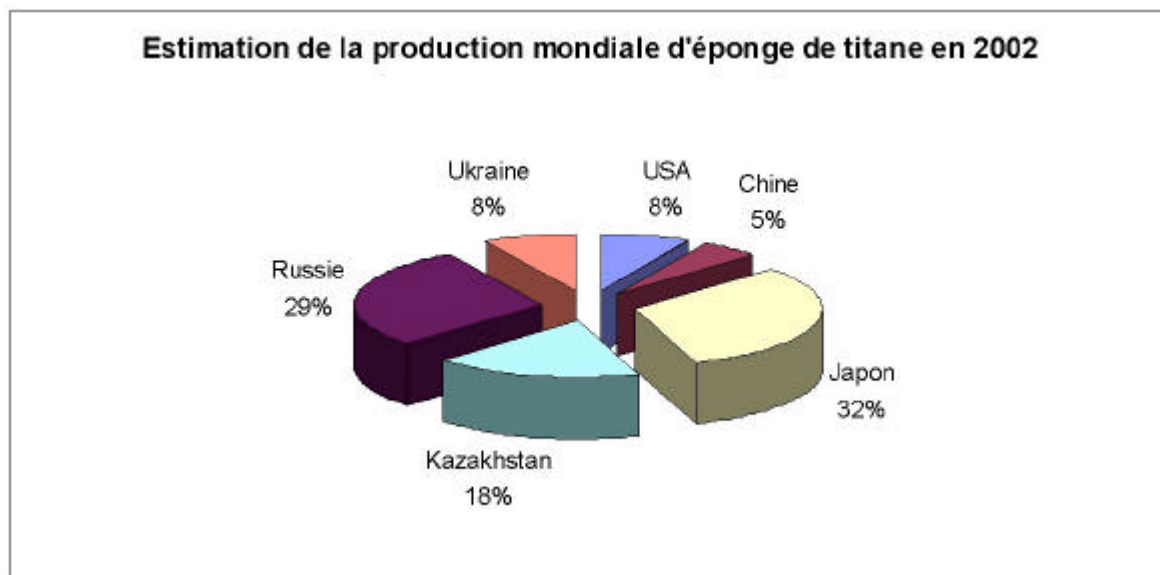


Figure 4: Estimation de la production mondiale d'éponge de titane en 2002 – sources: USGS⁹ hors production américaine (estimation) – Total estimé: 78.200 tonnes

Le graphe suivant donne une estimation des capacités mondiale de production d'éponge. Le lecteur trouvera par ailleurs en annexe un historique de l'évolution de l'offre mondiale. Les plus grandes incertitudes concernent les capacités de la CEI (Russie, Ukraine,

<p align="center">Impact des différents scenarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010</p>	<p align="center">Page</p>
<p align="center">Document de synthèse – Édition : Décembre 2003</p>	<p align="center">20/104</p>

Kazakhstan) où l'évaluation est gênée par l'appréciation sur réalité opérationnelle des moyens de production.

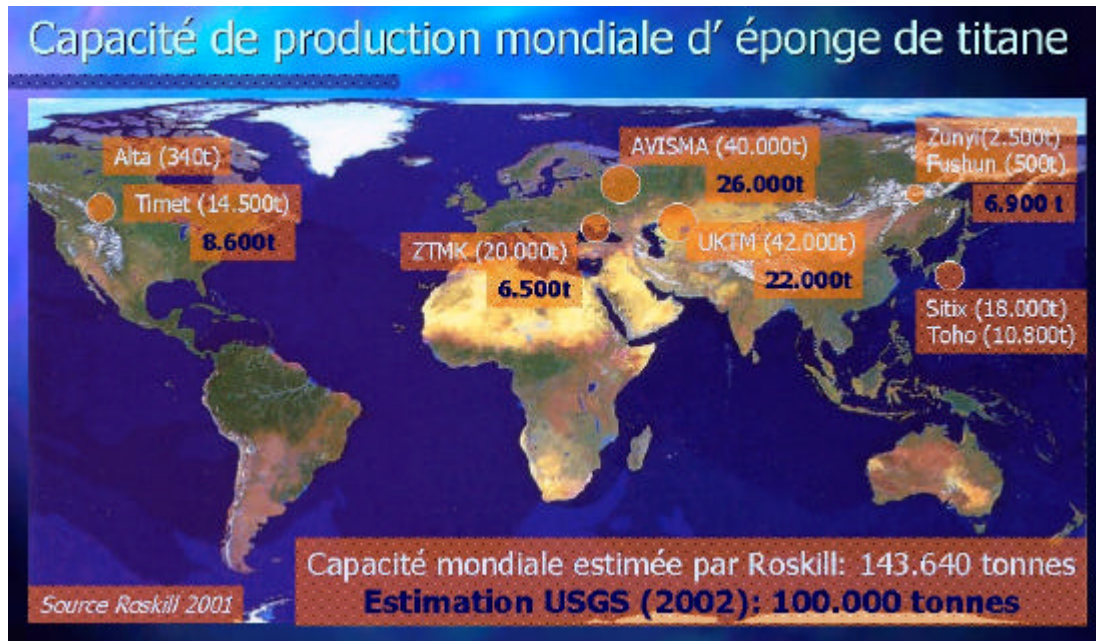


Figure 5: Estimation de la capacité mondiale de production d'éponge de titane

Au niveau de la production de lingots, la capacité mondiale peut être estimée à environ 227.000 tonnes avec la répartition donnée dans la figure ci-dessous.

Capacité mondiale de production de lingot de titane

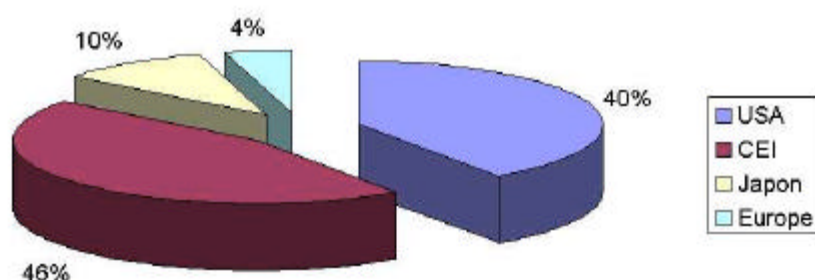


Figure 6: Estimation de la capacité mondiale de production de lingot de titane sources : USGS¹⁰, Roskill¹¹

Dans cette répartition, l'Europe occidentale représente une fraction très faible de la capacité de production mondiale ce qui met en évidence sa dépendance vis à vis des sources étrangères. Cette dépendance était surtout marquée vis à vis des USA lorsque les capacités de production de lingot française et anglaise ont été rachetées par Timet, alors dominant sur le marché. L'arrivée de la concurrence russe a permis d'élargir les possibilités

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	21/104

d'approvisionnement mais le problème de dépendance reste aujourd'hui entier, que ce soit vis à vis de l'un ou de l'autre de ces pays.

Pour les USA, l'analyse capacitaire montre également une certaine dépendance au niveau de l'éponge car la capacité nationale (9% de la production mondiale) ne couvre pas les besoins pour la production de lingot qui représente 40% de la production mondiale.

Le fait de développer des technologies de fusion à foyer froid a permis de réduire la dépendance des fabricants américains vis à vis de l'éponge de titane en rendant possible l'utilisation massive du scrap comme matière première. Ainsi aux USA, 43% de la capacité de production de lingot utilise les technologies à foyer froid et la moitié de la matière première nécessaire à la production de lingot est du scrap. Nous verrons dans le chapitre consacré au scrap que la stratégie d'utilisation massive de scrap trouve ses limites dans l'instabilité des conditions d'approvisionnement de cette matière.

Pour compléter ses besoins en éponge, les USA importent principalement du Kazakhstan, du Japon et de Russie. Le volume importé en 2002 a été de 9850 tonnes¹² avec une répartition par origine donnée dans le tableau suivant.

Pays d'origine	Quantité (Tonnes)	Pourcentage (%)
Kazakhstan	5740	58%
Japon	3520	36%
Russie	525	5%
Autres	72	1%

Tableau 1: Importation d'éponge aux USA en 2002 (source: USGS)

L'éponge qui est exportée des USA (2480 tonnes en 2002) est en général à destination de l'Angleterre pour alimenter les fours de fusion de Timet UK.

A ces mouvements aux frontières, il faut également ajouter les matières issues du stock stratégique national de Défense (Defence National Stockpile Center – DNSC) qui comptait environ 15 300 tonnes d'éponge au 30/09/2002¹³. Une quantité de 6570 tonnes a été revendue par le DNSC en 2002 et 6350 tonnes seront déstockées courant 2003. Ce stock, à vocation stratégique, permet de disposer de matière première pour les besoins des forces. Ainsi, en marge de ce déstockage, cet organisme a mis à disposition environ 1640 tonnes d'éponge de titane sur la période 1997-2003, pour fabriquer les blindages des chars lourds de l'US Army dans le cadre de leur revalorisation.

Pour le producteur russe VSMPO, les problèmes de dépendance n'existent pas car AVISMA répond à tous ses besoins en éponge. La production totale d'éponge estimée en

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	22/104

2001 par l'USGS¹⁴ est de l'ordre de 23 000 tonnes dont environ 26% est exporté soit 5600 tonnes. Cette valeur est recalculée à partir du volume importé par les USA en 2001 soit 2200 tonnes¹⁵ et les données d'exportation publiées par AVISMA sur son site Internet¹⁶ (voir figure ci-dessous). Malgré les accords passés avec les compagnies étrangères, l'exportation d'éponge peut être à tout moment remise en cause par VSMPO, la production étant destinée en priorité aux besoins internes.

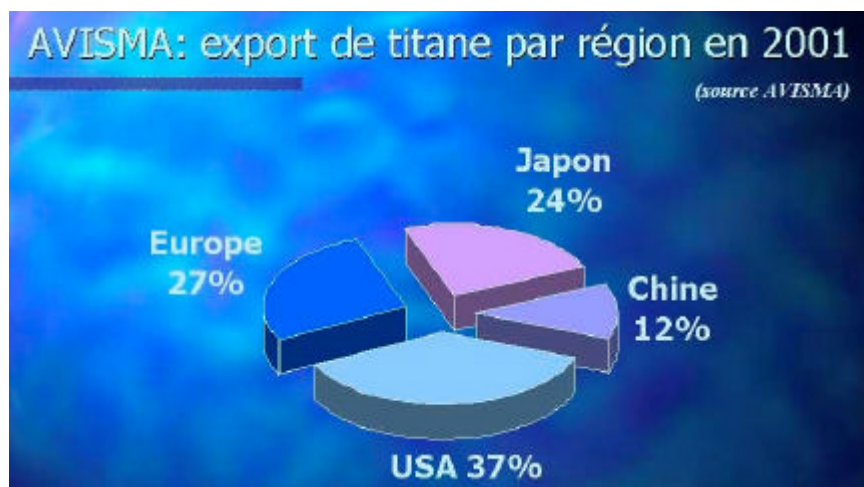


Figure 7: Répartition par destination de l'éponge AVISMA exportée (source AVISMA)

Fait marquant, le prix de cession de l'éponge entre les deux sociétés est très bas par rapport au prix du marché^d. Disposant ainsi de matière à bon prix, VSMPO fabrique exclusivement ses lingots à partir d'éponge alors que dans le reste du monde les producteurs utilisent, grâce aux techniques de fusion alternatives (foyers froids ou induction), une forte proportion de scrap (matière titane recyclée) pour baisser le coût de la matière première.

Pour comprendre les ambitions actuelles de VSMPO, il faut remonter dans l'histoire récente. Depuis le début des années 1990, l'effondrement de l'empire soviétique a marqué une étape dans les rapports de force entre l'industrie du titane d'ex-URSS et celle des USA. Ce matériau est stratégique pour certaines applications critiques de la Défense (aéronautique, sous-marins, blindages) et de l'industrie lourde (échangeurs de chaleurs, circuits en milieux corrosifs), c'est pourquoi la capacité de production a toujours été maintenue par les deux super puissances dans un contexte de guerre froide. La chute du mur de Berlin et le contexte économique qui a suivi ont eu pour conséquence une importante chute de l'activité de production en ex-URSS entre 1990 et 1994.

Le graphe suivant retrace l'évolution de la production d'éponge de titane pendant cette période¹⁷.

^d Des bruits circulent sur des prix de l'ordre de \$2.00/kilo.

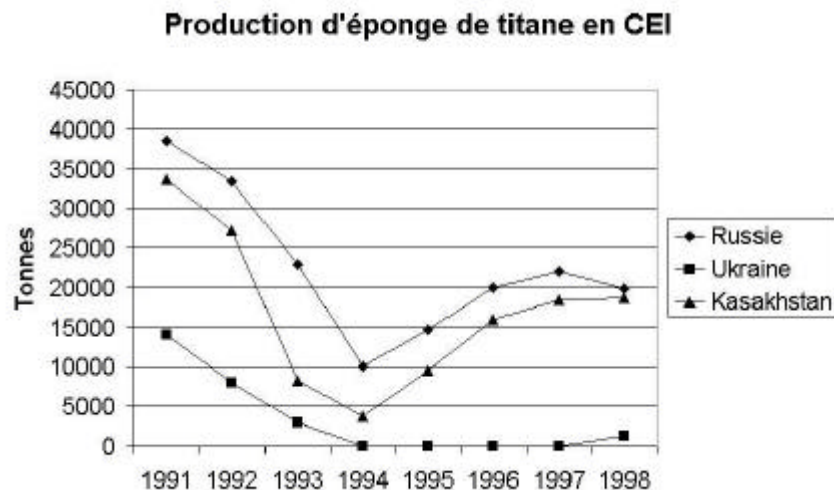


Figure 8: Production d'éponge en CEI entre 1991 et 1998 – source Roskill⁴

Dans ce contexte fortement perturbé, les opérateurs américains se sont retrouvés en situation de leader sur le marché. Les producteurs de CEI, en particulier le producteur de titane russe VSMPO, étant confrontés à l'écroulement des circuits économiques soviétiques, ont bradé leur production à des niveaux très inférieurs au niveau du marché, souvent aidés en cela par des intermédiaires négociants sur le marché occidental. Dans ce contexte économique très favorable, le producteur américain Timet exploita les ressources disponibles ce qui lui permis de racheter coup sur coup deux unités de production d'Europe occidentale : CEZUS en France (devenu Timet Savoie) et IMI au Royaume-Uni (devenu Timet UK), confirmant ainsi sa position de principal opérateur du monde occidental sur le secteur.

Depuis, la situation a notablement évolué avec une reprise spectaculaire de l'industrie du titane d'ex-URSS, en particulier en Russie et au Kazakhstan. A l'heure actuelle et compte tenu de sa santé financière, du potentiel de son outil industriel et de la qualité de son organisation, on peut considérer que le producteur de titane russe VSMPO est en situation de devenir le leader mondial. Il en résulterait donc un recentrage de l'offre mondiale avec une capacité de production importante localisée sur le continent eurasienn.

De façon concomitante, on a vu Boeing perdre progressivement des parts de marché au profit d'Airbus, laissant pour la première fois son challenger européen en tête des prévisions de vente d'avion pour l'année 2003. Le recentrage tend donc à s'effectuer également sur le continent européen du côté de la demande. VSMPO positionné en tant que fournisseur des deux groupes^e ne souffrira pas de l'inversion de tendance.

^e VSMPO a signé en janvier 2003 un contrat de fourniture de titane avec Boeing représentant 25% de ses besoins. Airbus approvisionne 55% de sa matière titane auprès de VSMPO. Environ 70% de la production annuelle de VSMPO est acheté dans le cadre de contrat pluriannuels avec les principaux industriels de l'aéronautique.

<p align="center">Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010</p>	<p align="center">Page</p>
<p align="center">Document de synthèse – Édition : Décembre 2003</p>	<p align="center">24/104</p>

II.3 LES APPROCHES « BAS COÛT »

Nous discutons dans ce chapitre des différents développements qui ont été menés dans l'objectif de faire baisser le prix du titane. Ces approches se sont attachées à réduire les coûts de production pour arriver à des nuances de titane que l'on qualifie par le vocable « titane bas coût » (Low Cost Titanium).

II.3.1 Les technologies à foyer froid

Les Américains, sous l'impulsion de leur industrie de Défense, ont mené depuis une dizaine d'année des travaux visant à réduire le coût de la matière première utilisée pour la fusion des lingots de titane.

Une première voie explorée a été celle de trouver des techniques de fusion qui permettent d'utiliser massivement les déchets de titane (scrap) comme matière première. Ces développements ont abouti aux technologies de fusion à foyer froid. Deux techniques sont utilisées aujourd'hui : la fusion par faisceau d'électron (Electron Beam – EB) et la technique par torche plasma (Plasma Arc Melting –PAM). Une représentation des procédés EB et PAM est donné dans les figures suivantes.

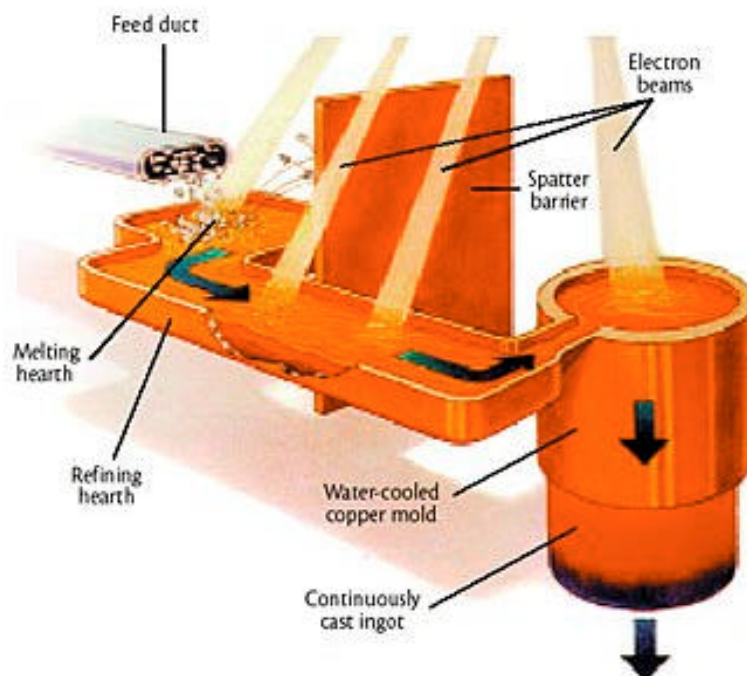


Figure 9: Principe du procédé de fusion par faisceau d'électron EB (source Timet)

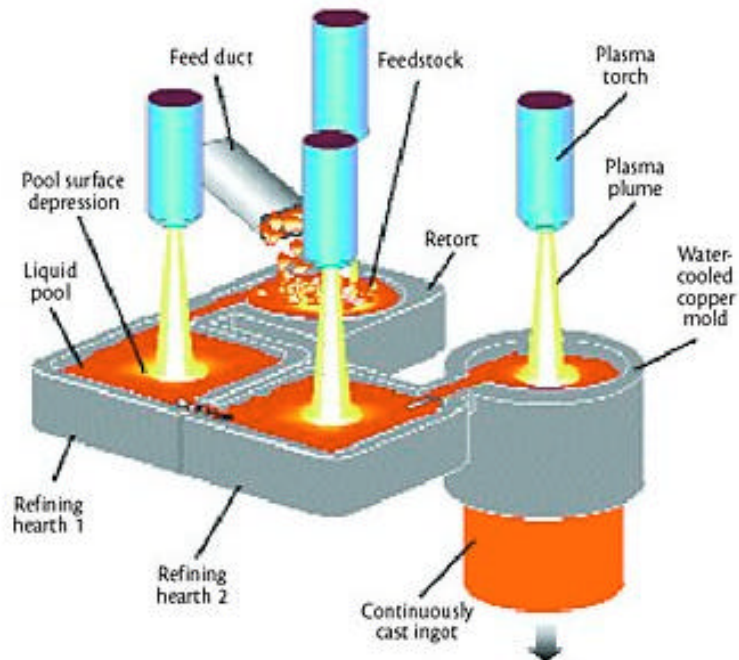


Figure 10: Principe du procédé de fusion par torches plasma PAM (source: Timet)

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, 43% des lingots produits aux USA sont fabriqués grâce aux procédés EB et PAM.

Une seconde voie explorée aux USA a été de soutenir le développement d'alliages de titane où l'élément d'addition le plus cher, à savoir le Vanadium, est remplacé par un autre élément beta-gène : le Fer. Deux alliages ont ainsi vu le jour : le LCB (Low Cost Beta) et le 62S. Aujourd'hui ces alliages sont utilisés dans les premières applications automobiles (ressorts de suspension).

<p align="center">Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010</p>	<p align="center">Page</p>
<p align="center">Document de synthèse – Édition : Décembre 2003</p>	<p align="center">26/104</p>

II.3.2 La fusion par induction (ou Induction Skull Melting - ISM)

La fusion par induction est aussi appelée « Induction Skull Melting » en raison du fait que, après fusion, il reste une gangue de matière refroidie en forme de crâne qui tapisse le fond du creuset. La figure ci-dessous montre un tel creuset avec en périphérie les tores qui induisent un champ magnétique assez puissant pour que le contenu du creuset soit porté à la fusion.

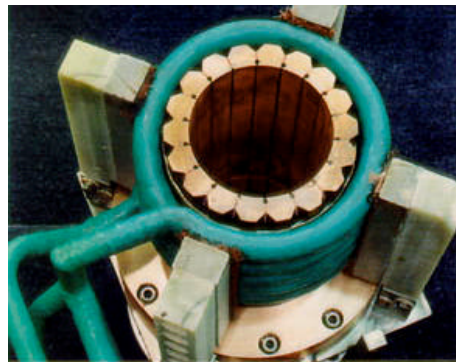


Figure 11: Exemple de four à induction (Induction Skull Melting – ISM)

Ce principe, inventé par les scientifiques russes de l'Institut VILS, est ingénieux car le champ magnétique provoque un tel brassage du bain de fusion que les problèmes de ségrégation sont écartés. Par ailleurs, la gangue formée au contact du creuset interdit toute pollution du métal fondu. Cette technique a été transférée par les Russes à la société italienne Titania qui est aujourd'hui la seule source de titane indépendante d'Europe Occidentale (Titania fait partie du groupe allemand Thyssen). La forme du creuset a été à cette occasion améliorée : elle est identique à la forme de l'électrode consommable qui apporte la matière. Ainsi, après fusion du lingot, la gangue métallique (skull) récupérée et ré-utilisée pour fabriquer une nouvelle électrode (voir figure ci-dessous).

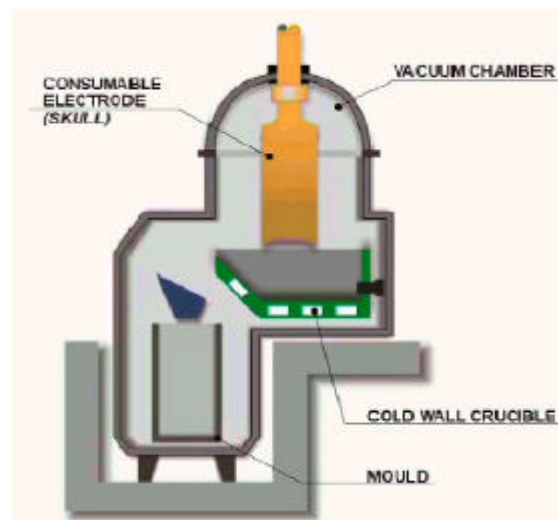


Figure 12: Four à induction avec un creuset optimisé (source Tecnofin)

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	27/104

L'intérêt de cette technique est tel que de nombreuses installations utilisent ce procédé pour recycler massivement le scrap de titane. C'est le cas des nouveaux entrants Indien (Midhani) et Chinois (Baoji), mais également des producteurs de clubs de golf taiwanais et coréens.

Malgré tout, il semble que la fusion par induction ne puisse remplacer la technologie VAR pour la production d'alliage de grande qualité. L'utilisation actuelle du procédé est plutôt orientée vers les produits pour les applications chimie, dessalement, off-shore, loisir etc.

II.3.3 Les nouveaux procédés d'extraction d'éponge

Les études de remplacement du procédé Kroll furent nombreuses car le prix de l'éponge est un facteur limitant dans la recherche de baisse des coûts de production de la filière titane.

Nous présenterons de façon détaillée dans le second scénario le nouveau procédé appelé « FFC Cambridge » inventé par le professeur Derek Fray de l'Université de Cambridge (Royaume Uni). Cette invention présente toutes les caractéristiques d'une rupture technologique susceptible d'apporter à la filière titane les éléments pour une véritable révolution industrielle.

II.4 LE SCRAP DE TITANE

Les résultats de notre analyse nous indiquent que le scrap de titane est une matière première d'égale importance que l'éponge elle-même en raison de l'importance des volumes utilisés et de l'impact des conditions d'approvisionnement sur les flux de production du titane métal.

Très peu d'information circule sur ce marché. Aux USA, un travail de structuration des filières de recyclage a été mené pour définir des standards de traitement des déchets dans la perspective de leur utilisation massive dans les procédés EB et PAM. Les déchets sont ainsi collectés et triés selon différents critères de qualité. Nous avons identifié différentes catégories de scrap:

- le scrap de mise au mille (« offcuts ») qui reste souvent captif chez le fabricant de lingot ou le transformateur (que nous qualifierons de «scrap de cycle court »). En général ce déchet qui se présente sous la forme de blocs de matière (« solids »), est directement revalorisé dans l'unité de production de titane elle-même. Économiquement parlant, la revalorisation de la matière est optimale. Ce type de scrap n'apparaît que rarement sur le marché des matières négociées;
- le scrap traité (« processed », « bulk weldable », « vacuum quality ») destiné à l'industrie du titane pour refusion (que nous qualifierons de «scrap de cycle long »). Il s'agit là souvent de « tournure » (déchets d'usinage ou « turnings ») en général, de haute qualité. Non contaminé, il est trié, nettoyé, analysé et

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	28/104

conditionné. La traçabilité avec le matériau d'origine est en général conservée. Ce scrap représente le gros du négoce des matières recyclées destinées à retourner dans la filière du titane;

- le scrap non traité comme les tournures contaminées ou mélangées, les pièces en titane recyclées après usage « old scrap » qui ne sont pas retraitées car trop souillées ou dont l'origine est indéfinie. Toutes ces matières sont qualifiées de « unprocessed », « ferro quality » ou « ferrosrap ». Elles sont moins bien valorisées et sont destinées majoritairement à l'industrie du ferrotitane.
- les chutes, lopins, estampes, masselotte, découpes, barres traités qui sont issues des unités de transformation par forge, laminage ou fonderie ou de traitement thermique. Pour ces matières, le niveau de revalorisation est très inégal selon les industries bien que, en théorie, celui-ci pourrait être maximum.

Nous résumons cette classification dans le tableau suivant :

Nature du déchet	Valorisation	Prix	Commentaire
Scrap de mise au mille (solids offcuts)	++++	sans objet (recyclage interne chez le fabricant)	n'apparaît jamais sur le marché des matières négociées (cycle court)
Scrap traité (processed, bulk weldable, vaccum quality)	++++	++++	représente le gros du négoce de scrap (cycle long)
Scrap non traité (unprocessed, ferrosrap, ferro quality)	+++	++	alimente le marché du ferrotitane via les ferrailleurs
Pièces usagées (solids old scrap)	++	++	alimente le marché du ferrotitane via les ferrailleurs
Chutes, estampes, masselottes, etc. (solids)	très inégale	très inégal	marché souvent peu exploité

Tableau 2: Classification du scrap de titane par nature

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	29/104

Le nombre de croix dans le tableau donne une indication du niveau atteint par le critère :

++++ : optimum. Le produit est très bien valorisé, sa valeur marchande est optimisée

+++ : moyen

++ : faible

On rencontre également une classification du scrap selon qu'il est issu d'une des étapes de fabrication des pièces en titane ou selon qu'il provienne des pièces recyclées après usage. On parle dans le premier cas de « new scrap » et dans le second de « old scrap ». Le marché du « old scrap » est, selon les estimations faites, très limité puisqu'il représente environ 2% du marché total du scrap. Nous n'avons pas pu vérifier cette information. Typiquement, le « old scrap » correspond aux pièces aéronautiques usagées. Un cas très connu dans le milieu est celui du recyclage du « old scrap » issu du découpage des sous-marins russes après le démantèlement des forces soviétiques. Le volume important de « old scrap » ainsi récupéré a été massivement utilisé dans la production de ferrotitane.

Conscient de l'importance économique du scrap, les producteurs de titane valorisent au mieux ce déchet en intégrant des unités de retraitement dans leur site de production. Le producteur américain Timet possède une unité de retraitement d'une capacité de 5000 tonnes/an. Comme le montre la figure suivante, le scrap représentait pour l'année 2000 39% de la matière première utilisée pour la fabrication des lingots.

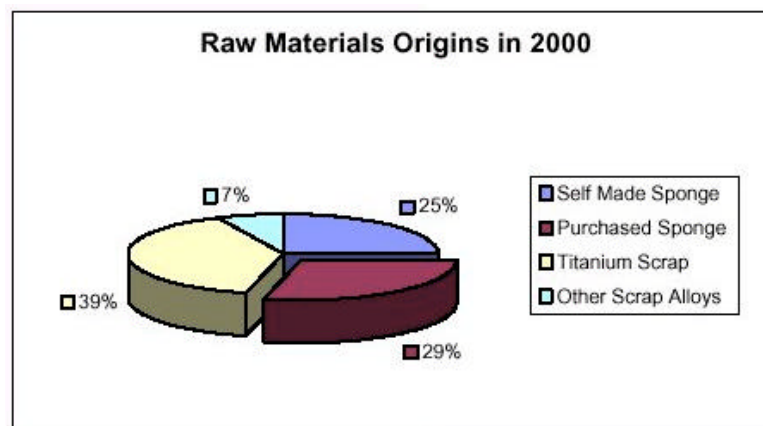


Figure 13: Nature des matières premières utilisées par Timet (source: UOIG¹⁸)

Par ailleurs comme nous l'avons vu précédemment, la plupart des producteurs de titane possède également des fours à induction pour recycler les « solids ». A partir de certaines données disponibles sur la production de Midhani (Inde), nous avons pu recalculer un cycle économique complet typique d'une installation VAR assistée de moyens de fusion par induction pour optimiser le recyclage du scrap. La figure suivante résume ce cycle.

<p align="center">Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010</p>	<p align="center">Page</p>
<p align="center">Document de synthèse – Édition : Décembre 2003</p>	<p align="center">30/104</p>

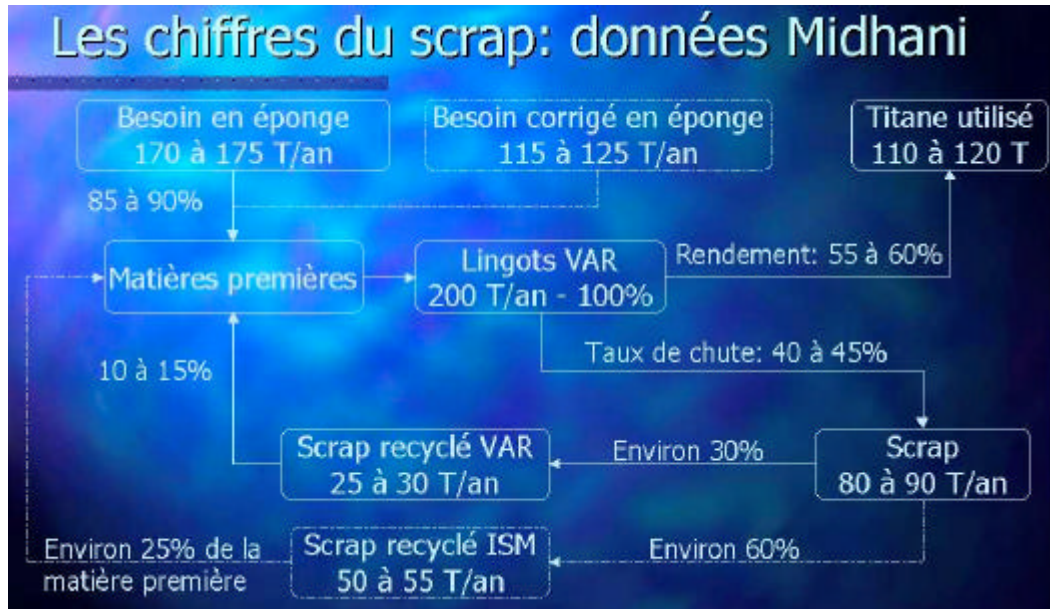


Figure 14: Cycle économique des matières premières et recyclées (valeurs calculées à partir de données Midhani)

On constate qu'une gestion optimisée des déchets générés en interne (scrap de cycle court) permet d'économiser entre 25 et 30% d'éponge avec une fusion VAR. Ce gain est porté à 50% avec les technologies à foyer froid.

Ce graphe nous donne également une indication sur la proportion de scrap généré lors de l'élaboration d'un lingot. Elle est de l'ordre de 40 à 45%. Cette proportion varie en fonction de la taille des lingots. Sur ce taux de chute, environ le tiers est récupéré en tant que scrap recyclable directement dans la fusion VAR et le reste nécessite d'être refondu avec le procédé ISM probablement en raison de la taille des morceaux.

Si l'on considère maintenant le cas du producteur russe VSMPO, en conservant les hypothèses de rendement et en tenant compte du fait que le scrap n'est pas recyclé dans la production, on peut estimer que chaque tonne de lingot produite génère environ une tonne de scrap.

En poursuivant l'analyse au niveau des industriels transformateurs (forgerons, lamineurs, fondeurs), les informations que nous avons recueillies nous indiquent que pour les pièces forgées 75 à 85% de la matière approvisionnée part en déchet (estampes et tournures). Pour le laminage, le taux de chute est moins important. Sans disposer de données précises, nous l'évaluons à environ 20 à 30% (offcuts et tournures). Le procédé de fonderie génère lui aussi des quantités importantes de déchet, principalement dans les masselottes et canaux l'alimentation en matière mais ce déchet est en général recyclé sur place. Pour finir, dans les industries de parachèvement comme celles de production de tubes pour les applications énergie, chimie et dessalement par exemple, le taux de rebut est d'environ 5%.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	31/104

Alors que l'industrie du recyclage peut être considérée comme bien structurée aux USA, en revanche en Europe occidentale il existe un réel besoin d'organisation. Ce besoin est croissant avec l'augmentation de l'activité dans le secteur aéronautique qui génère de grands volumes de déchet. Malheureusement peu de données précises ne sont disponibles au niveau européen, hormis les mouvements de matière aux frontières.

Nous présentons dans la figure suivante une illustration des échanges de scrap pour l'année 2000.



Figure 15: Flux d'import/export de scrap de titane en 2000

On constate donc que les flux de scrap proviennent principalement d'Europe occidentale et du Japon à destination des USA et du Royaume Uni. Il existe également un flux très important des USA vers le Royaume Uni. Les informations que nous avons pu recueillir nous indiquent que les importations anglaises alimentent les usines de production de ferrotitane regroupées dans le bassin de Sheffield tandis que les importations des USA concernent plutôt le scrap destiné à la production de lingot de titane.

Nous supposons par ailleurs que le scrap produit par VSMPO est utilisé majoritairement pour fabriquer du ferrotitane c'est pourquoi les flux au départ de Russie ne sont pas très importants. Il est probable qu'une partie du scrap russe passe la frontière ukrainienne pour alimenter des fours de production de ferrotitane.

La situation que nous présentons est sujette à évolution dans les prochaines années en particulier :

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	32/104

- entre le Japon et les USA car les industriels japonais ont engagé une démarche de valorisation du scrap en interne. Ainsi Nippon Steel a décidé en 2002 de recycler son scrap au Japon chez Toho au lieu de l'exporter aux USA ;
- entre le Royaume Uni et les USA car l'industrie anglaise du ferrotitane est confronté à une concurrence très forte de producteurs de CEI et voit ses parts de marché diminuer ;
- entre la CEI et les USA car des dispositions ont été prises par les Américains pour taxer le scrap russe (20% de droit de douane) et interdire le scrap ukrainien.

Les seules données quantitatives détaillées pour le secteur du scrap sont celles publiées pour le marché américain par l'USGS¹⁹. Nous les résumons dans le tableau suivant (année 2001).

Nature	Quantité 2001	Quantité 2002
Scrap recyclé dans l'industrie du titane	18.000 tonnes	13.300 tonnes
Scrap utilisé pour le ferrotitane	6000 tonnes	6900 tonnes
Scrap utilisé pour les super alliages et autres métaux	1600 tonnes	1130 tonnes
Scrap issu de pièces usagées « Old scrap »	500 tonnes	500 tonnes
Importation de scrap	11.600 tonnes	5720 tonnes ^f
Exportation de scrap	7500 tonnes	5530 tonnes

Tableau 3: Recyclage du scrap de titane aux USA en 2001 et 2002

Le problème d'interaction entre qualités de scrap (aéro et non aéro) pourra à moyen terme se poser si les nouveaux marchés utilisant d'autres nuances que le TA6V aéronautique se développent (golf, blindage, automobile). En revanche, ces nouvelles applications non-aéronautiques seraient profitables au marché du ferrotitane car elles alimenteraient le marché en scrap titane de basse qualité.

Nous discuterons des liens entre le marché du scrap et celui du ferrotitane dans la section suivante.

^f la variation est due à une chute des importations depuis le Royaume Uni, l'Allemagne, le Japon et la France.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	33/104

II.5 INTERACTION AVEC LA FILIERE ACIER

II.5.1 Éponge de titane

Peu de données précises existent sur les volumes d'éponge utilisés par l'industrie des aciers bas carbone. Les régions consommatrices sont : l'Europe Occidentale, la Corée du Sud, le Japon, les USA et la CEI.

D'après les éléments recueillis, la consommation mondiale pourrait avoisiner 6000 voire 8000 tonnes/an. Compte tenu de l'importance de ces volumes, cette estimation mériterait d'être confirmée par une étude plus approfondie.

L'origine de l'éponge semble être principalement localisée en Ukraine (ZTMK) et en Russie (VSMPO) et le négoce semble transiter par des traders et des représentants anglais, allemands et hollandais.

II.5.2 Ferrotitane

Comme nous l'avons dit dans le chapitre précédent, le scrap de titane est utilisé massivement dans la production de ferrotitane destiné à l'industrie sidérurgique.

Initialement produit par aluminothermie sous une forme pauvre en minerai de titane (FeTi30%), le ferrotitane a été introduit dans sa forme FeTi70% en 1960 par des producteurs anglais de Sheffield pour mieux valoriser le scrap de titane issu de la fabrication des pièces de moteur d'avion. Deux formes de produit existent : le fil fourré (21% de la consommation) et la roche (79%).

Depuis cette époque, la situation a bien évolué et le conflit actuel entre les filières titane et ferrotitane résulte principalement du fait que le scrap est maintenant bien recyclé dans sa filière d'origine grâce au développement des procédés de fusion EB, PAM et ISM.

En conséquence, l'organisation du marché du scrap a vu ses fondements se modifier ce qui conduit aujourd'hui à une situation très confuse où les conditions d'approvisionnement ne sont plus aussi favorables que par le passé. Les producteurs anglais de FeTi70%, dominants en 2000 avec 46% des 38000 tonnes du marché mondial, semblent être aujourd'hui dépassés par l'offre des producteurs de CEI qui bénéficient eux des sources d'approvisionnement en scrap de Russie et d'Ukraine et de faibles coûts de production.

En 2000 la situation était la suivante :

- 7 producteurs de FeTi70% au Royaume Uni dont London & Scandinavian Metallurgical Co Ltd qui possède la plus grande capacité de production avec 25 000 tonnes[§]. D'autres sources indiquaient une capacité réelle de production de l'ordre de 6000 tonnes/an.

[§] D'après le Roskill 2001

<p align="center">Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010</p>	<p align="center">Page</p>
<p align="center">Document de synthèse – Édition : Décembre 2003</p>	<p align="center">34/104</p>

- 3 principaux producteurs aux USA (Galt, Global et Shield Alloy) dont les niveaux de production ne sont pas publiés. Les chiffres d'import – export indiquent que les USA sont globalement importateurs de ferrotitane pour un niveau de l'ordre de 6000 tonnes en 2000.
- De nombreux producteurs de FeTi70% en CEI dont le plus important est probablement VSMPO avec une capacité de l'ordre de 12 à 15.000 tonnes/an.

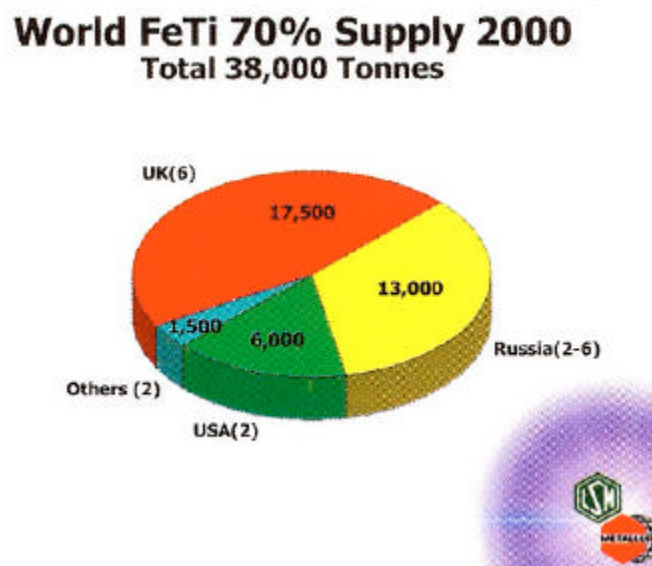


Figure 16: Production mondiale de FeTi70% en 2000 par région^h (source LSM)

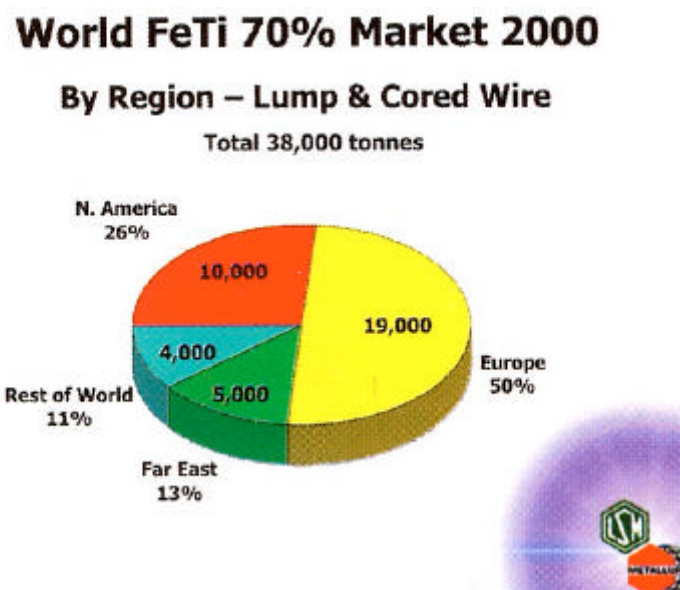


Figure 17: Consommation mondiale de FeTi70% par région en 2000 (source LSM)

^h les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre de producteurs

<p align="center">Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010</p>	<p align="center">Page</p>
<p align="center">Document de synthèse – Édition : Décembre 2003</p>	<p align="center">35/104</p>

Le marché du ferrotitane est un marché instable, où les achats de matière se font de gré à gré, souvent par l'intermédiaires de traders et de représentants qui achètent comptant aux producteurs et revendent par lot sur le marché international.

Les prix sont influencés par de nombreux facteurs qui dépendent de l'état du marché. D'après notre analyse, le premier facteur déterminant est la disponibilité en scrap non traité (ferroscrap). Ce scrap est acheté par les producteurs de FeTi via des réseaux de ferrailleurs et de négociants qui se fournissent auprès des producteurs de titane et de la multitude d'industriels transformateurs (usineurs, forgerons etc.). Il s'agit donc plutôt de scrap issu du circuit long et dont la traçabilité de la qualité est en générale perdue.

La disponibilité en scrap pour le marché du ferrotitane est donc elle-même dépendante du niveau d'activité de la filière titane. Lorsque la période est à la croissance, les usines produisent et alimentent les réseaux de recyclage. En période de réduction d'activité dans la filière titane, les flux de scrap se tarissent ce qui induit une augmentation des prix et moins de disponibilité matière. L'effet de pénurie peut être accentué par des stratégies de stockage et de spéculation des intervenants du réseau de recyclage.

La dépendance entre les prix du scrap et ceux du ferrotitane est mise en évidence dans les graphes suivants.

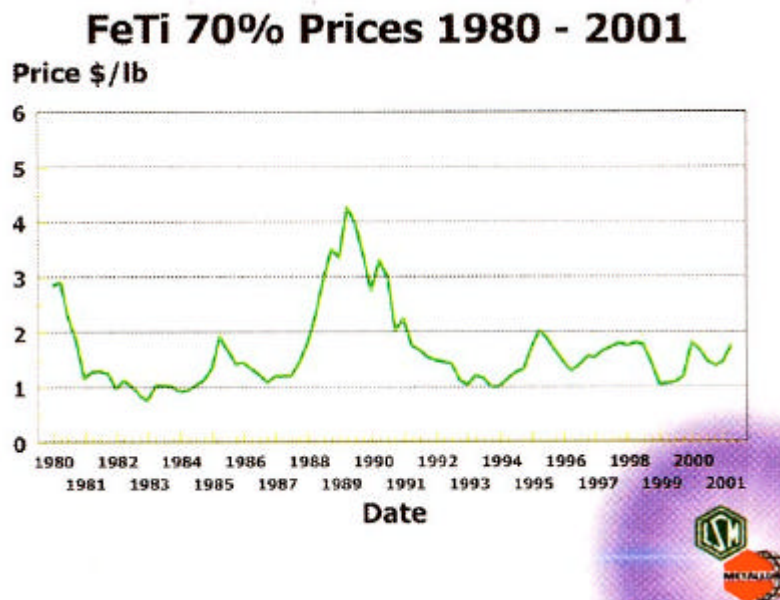


Figure 18: Evolution du prix du FeTi70% de 1980 à 2001 en \$/lb (source LSM)

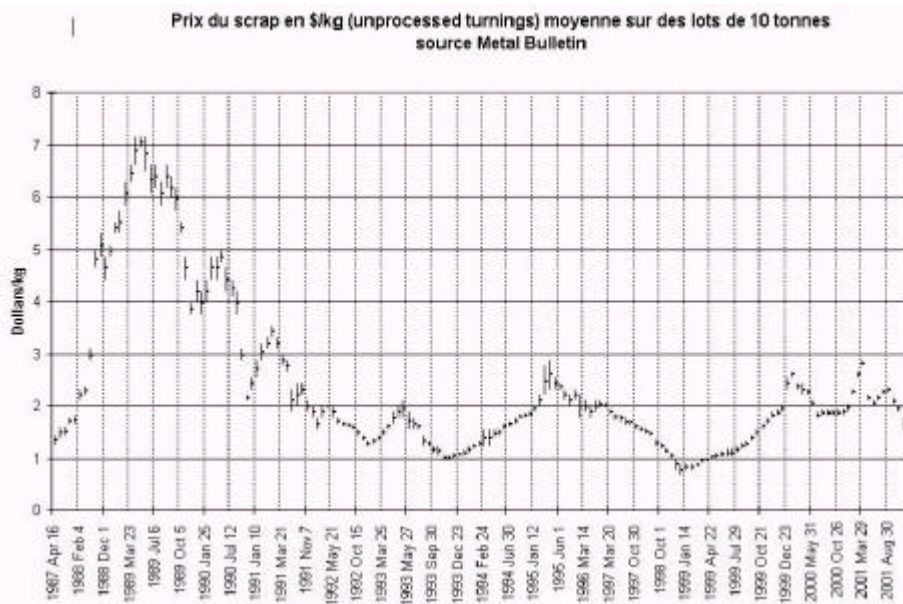


Figure 19: Evolution du prix du scrap non traité de 1987 à 2001 en \$/kg (source Metal Bulletin)

L'évolution des prix reflète bien les fluctuations importantes dues aux conditions de disponibilité de la matière sur le marché et les conflits d'approvisionnement entre les filières titane et acier. Ainsi en 1989, l'augmentation des prix s'explique par la pénurie de scrap induite par la forte demande de l'industrie sidérurgique. La fin de l'année 1995 marque une nouvelle période d'augmentation des prix due à la pénurie de scrap russe alors que la période 1995-1998 a profité de la profusion de scrap de cette origine sur le marché et de la crise du rouble. Enfin, de 1999 à 2001 les fluctuations du prix du scrap s'expliquent par le manque de disponibilité de la matière sur le marché et les contraintes aux frontières imposées par les Américains au scrap d'origine russe et ukrainienne.

Ces variations sur la disponibilité en scrap sont, selon toute vraisemblance, sans relation directe avec le niveau de besoin en ferrotitane de l'industrie sidérurgique. Ainsi, l'effet de la demande venant de la filière acier peut se combiner avec une situation de pénurie de scrap et provoquer une flambée des prix. En règle générale, les grands consommateurs de la sidérurgie essaient de ne pas être présents en même temps sur le marché de la demande pour éviter cette situation. Si tel n'est pas le cas, les prix augmentent alors brutalement.

Dans certains casⁱ, lorsque les prix deviennent trop élevés, il peut arriver que les aciéristes achètent de l'éponge ou du scrap de titane plutôt que du ferrotitane.

Nous proposons dans la figure suivante un schéma qui synthétise notre perception de l'interaction entre la filière titane et celle du ferrotitane. A gauche, la filière « scrap » qui symbolise l'organisation du réseau dans le monde occidental où les développements des

ⁱ le ferrotitane ne peut pas toujours être remplacé par de l'éponge ou du scrap en raison des contraintes de production

technologies à foyer froid ont structuré le recyclage du scrap au profit de la filière titane métal. A droite, la filière « éponge » qui symbolise la situation en CEI où le scrap est encore disponible en quantité pour la filière ferrotitane car la filière titane utilise l'éponge comme matière première.

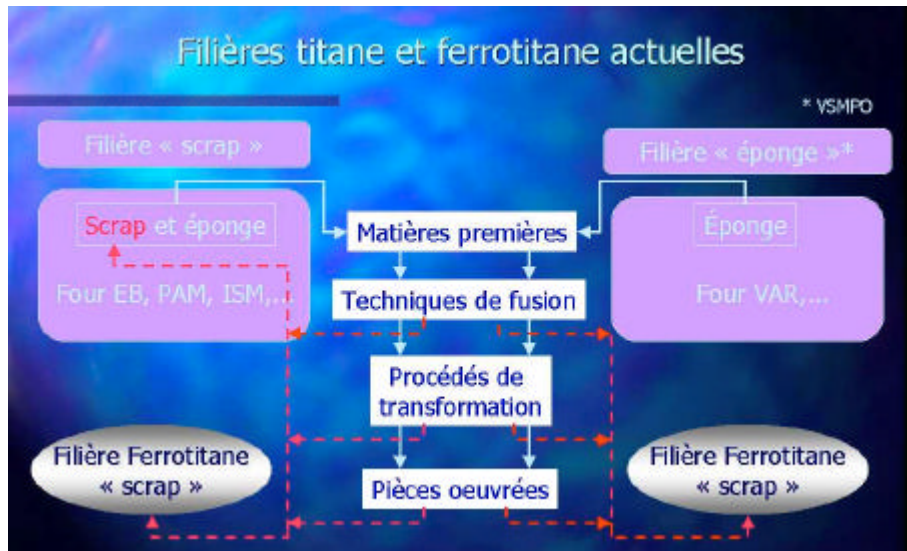


Figure 20: Interaction entre filières titane et ferrotitane

II.6 ESTIMATION DE LA CONSOMMATION MONDIALE DE TITANE

Les estimations de la production mondiale de titane sont rares et peu précises. Une publication récente²⁰ du périodique Metal Bulletin Monthly donne un volume total produit de l'ordre de 50.000 à 60.000 tonnes pour l'année 2002. A partir de ce volume global, on peut calculer une consommation par grands secteurs d'application en recoupant avec les estimations publiées par le producteur RTI International Metals²¹.

Secteur	Consommation mondiale (T)	Pourcentage
Aéronautique commercial	20.000 – 24.000	40%
Applications Industrielles	17.000 – 20.400	34%
Militaire	8.000 – 9.600	16%
Biens de consommation	5.000 – 6.000	10%
Total	50.000 - 60.000	100%

Tableau 4: Estimation de la répartition de la consommation mondiale de titane d'après MBM et RTI

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	38/104

Le Japon est le seul pays à publier, par l'intermédiaire de l'association JTS, la ventilation par secteur du titane consommé. Nous donnons en annexe les valeurs pour l'année 2002.

L'ensemble de ces données est compatible avec les volumes de production des principaux opérateurs que nous présentons dans le tableau suivant (sources : VSMPO et JTS).

Producteur	Production en 2002 (T)
VSMPO*	10.000 – 15.500
Timet*	11.260
RTI*	4.540
Allegheny Technologies*	8.650
Japon (tous)**	14.481
Autres	6.000 – 8.000
Total monde	54.930 – 62.430

Tableau 5: Estimation de la production de titane en 2002 (*source VSMPO, **source Japan Titanium Society)

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	39/104

II.7 SYNTHÈSE DES DÉTERMINANTS DU MARCHÉ ACTUEL

Le marché du titane est instable, soumis à de fortes variations sur les prix et les délais d'approvisionnement. Une des causes principales est que les deux plus grands marchés applicatifs, l'aéronautique et l'énergie, sont des marchés cycliques.

Après deux décennies (1980-2000) de domination de l'industrie productrice américaine sur le marché international, la naissance d'une économie libérale en CEI a permis à son industrie de se reconstituer et d'être maintenant en situation de prendre le leadership sur le marché du titane métal et de l'éponge.

En tant que matière première, l'éponge a une place de choix dans les rouages économiques de l'industrie du titane. Les producteurs de lingot de titane cherchent à s'intégrer verticalement pour se garantir leur propre source d'approvisionnement en éponge, véritable verrou stratégique de la filière. Le seul producteur exclusif d'éponge est actuellement le kazakh UKTM. Dans ce contexte on comprend que l'émergence d'une nouvelle technologie de production puisse avoir des conséquences importantes pour toute la filière.

Dans la perspective de nouveaux marchés en particulier pour le secteur de la Défense, les USA ont financé à leurs principaux producteurs de titane des travaux de développement de nouvelles technologies de fusion pour produire de la matière à bas coût. Ces techniques appelées « procédés de fusion à foyer froid » sont en réalité plus chères que la traditionnelle technologie VAR mais elles présentent l'avantage économique de permettre l'utilisation massive de scrap de titane (déchet recyclé) à la place de l'éponge. Le gain se fait donc sur le coût de la matière première. Typiquement, les producteurs américains consomment autant de scrap que d'éponge pour produire leur lingot de titane. Une autre technique « bas coût » d'origine russe a également trouvé son essor, il s'agit de la technologie de fusion par induction ou « Skull Melting » qui permet elle aussi l'utilisation massive de scrap.

Les techniques ISM et à foyer froid ont ainsi profondément modifié la donne économique pour le scrap car il est devenu une matière aussi recherchée que l'éponge pour alimenter les fours de fusion. A ce stade, la filière titane entre en conflit avec une autre filière qui utilise également massivement le scrap de titane : celle du ferrotitane, un élément rentrant dans la composition des aciers « bas carbone ». Les tensions générées par le jeu de l'offre et de la demande sur ces filières disjointes sont totalement incontrôlables et provoquent des situations de pénurie et de flambée des prix. La disponibilité en scrap semble plus importante en Europe de l'Est car de nombreux petits producteurs de ferrotitane alimentent épisodiquement le marché international. Cette disponibilité en scrap peut avoir pour origine le producteur russe VSMPO qui utilise exclusivement de l'éponge pour produire ses lingots de titane, et le producteur ukrainien ZTMK dont on connaît assez mal la destination de la production.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	40/104

II.8 CHOIX DES SCENARII

L'analyse des éléments réunis au cours de cette étude nous a conduit à privilégier deux scénarii pour l'évolution du marché du titane.

Comme nous l'avons vu dans ce chapitre, des développements ont déjà été menés dans l'objectif de baisser les coûts de production de la filière. Les enjeux de cette démarche initiée par les USA se situent à différents niveaux :

- une meilleure compétitivité de l'industrie américaine pour faire face à la concurrence des pays d'Europe de l'Est de l'Asie ;
- le développement de nouveaux marchés stables pour compenser la cyclicité des marchés de l'aéronautique et de l'énergie ;
- la possibilité de fabriquer à faible coût des alliages pour les nouvelles applications militaires terrestres (blindage, structures).

Ces approches « bas coût » ont permis d'amorcer une baisse du prix du titane profitable à certains secteurs mais elles n'ont pas, somme toute, remis en cause les fondements économiques de la filière qui reste fortement dépendants des contraintes de production de l'éponge.

C'est pour cette raison que nous avons privilégié l'étude de scénarii adoptant l'hypothèse d'émergence ou non d'un nouveau procédé d'extraction de l'éponge de titane. Dans l'état actuel des connaissances, le procédé FFC inventé par l'Université de Cambridge au Royaume-Uni semble le plus prometteur. En effet, il présente toutes les caractéristiques d'un saut technologique par rapport au procédé actuel (procédé Kroll), tant au niveau des processus de production, qu'au niveau des possibilités de fabrication de nouveaux produits. Nous avons donc consacré un scénario à l'étude de l'impact de ce procédé sur le marché du titane tant au niveau de l'offre que de la demande.

Le second scénario est basé sur l'hypothèse de continuité de la filière Kroll, c'est à dire sans saut technologique. Dans cette hypothèse, nous nous sommes intéressés en particulier à l'impact de l'évolution des rapports de forces entre fournisseurs sur l'offre mondiale et les conséquences sur le développement des marchés. Nous proposons également une analyse détaillée de ces marchés, secteurs par secteurs, et de leur logique de croissance.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	41/104

*Deuxième Partie : Étude des scénarii
d'évolution du marché du titane*

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	42/104

DEUXIEME PARTIE: ETUDE DES SCENARII D'EVOLUTION DU MARCHE DU TITANE

CHAPITRE III

III SCENARIO DE CONTINUTE DE LA FILIERE KROLL

Résumé : La production d'éponge de titane par le procédé Kroll est la première étape de la fabrication de titane métal. Ce procédé coûteux, polluant et lourd en investissement est le facteur limitant principal du développement de toute la filière en particulier dans les pays industrialisés. Bénéficiant de coûts de production plus faibles et de législation plus souples, les pays émergents d'ex-URSS, puis à échéance plus lointaine (2010), ceux du secteur asiatique prendront une place de plus en plus importante au niveau de l'offre internationale. Ce nouveau contexte concurrentiel peut générer une dynamique de baisse des prix en changeant le référentiel des coûts de production. A court terme, malgré les performances et les propriétés de ce matériau, le prix reste le principal frein à l'utilisation du titane. On distingue ainsi les marchés traditionnels, captifs où le titane est irremplaçable, des autres marchés soumis à des effets de seuil sur les prix qui représentent un potentiel considérable de développement. Les développements « titane bas coût » initiés par les américains et la baisse des prix stimulée par la concurrence grandissante de la Russie permet d'atteindre certains seuils de prix pour des marchés de diversification. La plus forte prévision de croissance à court terme concerne le secteur des applications Défense. Dans un contexte de croissance de la demande sur des applications où les besoins sont bien définis en terme de volume (grands chantiers du secteur industriel : chimie, off-shore, dessalement etc.), les activités de production continue comme l'aéronautique ont des difficultés à sécuriser leurs sources d'approvisionnement. La stratégie de contrat cadre fixant des volumes annuels d'achat avec option de révision sur les prix coûte cher en période de récession mais reste la seule garantie de disposer de la matière en temps voulu. Encore balbutiante, les utilisations du titane dans l'industrie des transports terrestres représente le plus fort potentiel à long terme.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	43/104

L'hypothèse de travail que nous adoptons dans ce scénario est celle d'un maintien de la technologie Kroll pour la fabrication de l'éponge et d'une évolution continue incrémentale, sans rupture technologique, des procédés de transformation et de mise en œuvre du titane métal

III.1 RAPPORTS DE FORCE ENTRE FOURNISSEURS

Ce scénario est a priori conservateur dans les rapports de force entre grands producteurs de titane sur le plan technologique. En effet, le procédé Kroll est maîtrisé par tous les producteurs d'éponge et les techniques de fusion à foyer froid développées par les USA ne confèrent plus d'avantage concurrentiel significatif aux américains. Sans avantages liés à une supériorité technologique, les rapports de forces entre fournisseurs se trouvent basés sur les critères suivants :

- Capacité à sécuriser l'approvisionnement en éponge (aspect stratégique) ;
- Capacité à baisser les coûts de production pour proposer les prix les plus bas (aspect économique). Les coûts de l'énergie et de la main d'œuvre sont déterminants ;
- Capacité à répondre à la demande en terme de volume de production, de respect des délais et de qualité des prestations ;
- Capacité à fournir au client une offre incluant les prestations de transformation et de mise en forme pour répondre à une demande de produit fini.

III.1.1 Le potentiel de VSMPO

Dans ce contexte, la situation de domination du marché par les opérateurs nord-américains évolue rapidement vers un nouveau rapport de force où le challenger russe **VSMPO** dispose de tous les atouts industriels et financiers pour dominer l'offre et faire du dumping sur le marché. En effet, outre la maîtrise technologique de la production de titane acquise pendant la période soviétique, le producteur russe a également hérité de l'extraordinaire outil de production développé pendant la guerre froide et qui représente le plus fort potentiel au monde en terme de capacité selon les critères énoncés ci-dessus. L'indépendance vis à vis de l'approvisionnement de l'éponge est acquise depuis le rachat du producteur russe AVISMA qui fournit la totalité des besoins de VSMPO.

Très récemment²², VSMPO a conclu un accord de joint-venture avec le groupe Allegheny Technologies (N°3 américain) pour approvisionner à partir de juin 2003 les marchés de la chimie, de l'énergie, du dessalement, de l'architecture, de l'automobile, et des biens de consommation. L'ambition est de traiter un volume de 10.000 tonnes de titane à

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	44/104

échéance de 4 ans. Il est vraisemblable que cet accord aura de nombreuses retombées stratégiques pour le producteur russe dans sa dynamique de croissance à l'export. Même si dans un premier temps les applications aéronautiques et militaires ne sont pas concernées, on peut imaginer que cette première démarche puisse à plus long terme faciliter l'accès du producteur russe aux appels d'offre pour les prochains grands marchés dans le domaine militaire aux USA. En 2002, le consortium des producteurs US associé au syndicat de travailleurs « United Steelworkers of America » a en effet opposé à Boeing le droit d'utiliser du titane russe pour ses programmes militaires en application d'une loi fédérale de préférence nationale. La même situation pourrait se présenter pour les applications militaires de l'armement terrestre (blindage et structure de véhicules) qui représentent un des nouveaux marchés dont le potentiel est évalué entre 5000 et 10.000 tonnes/ans.

III.1.2 Le cas particulier de UKTM

Depuis la fermeture en mars 2001 de l'usine d'éponge d'Oremet – Wah Chang (groupe Allegheny Technologies), les USA ont vu leur capacité de production chuter à 8.940 tonnes/an. Dans ce contexte de diminution des sources possibles d'approvisionnement, le producteur d'éponge kazakh **UKTM** présente un grand intérêt car sa production est intégralement destinée à la vente. En période de croissance de la demande sur le marché du titane, l'offre d'éponge est en générale en baisse car les producteurs de titane possédant leurs propres usines d'éponge répondent en priorité à leurs besoins internes. Ainsi en 2002, on a vu le producteur russe AVISMA remettre en cause ses accords de fourniture d'éponge avec l'américain RTI alors que ce dernier perdait la même année la source d'approvisionnement d'Oremet. Parmi les accords passés avec UKTM, on peut citer :

- L'accord jusqu'en 2007 avec Timet sur des volumes annuels d'éponge et à des niveaux de prix déterminés (Timet achète aussi au Japon) ;
- Le contrat avec RTI pour fournir 3 600 tonnes d'éponge par an jusqu'en 2007 sur une durée de 5 ans (RTI se fournit également au Japon et chez AVISMA).

III.1.3 L'augmentation de la capacité de production d'éponge

Après l'annonce d'arrêt de l'usine d'Oremet, le producteur japonais Sumitomo a augmenté en 2002 sa capacité de production de 20% passant de 15 000 à 18 000 tonnes/an. Cette augmentation correspond en réalité à la remise en service de ligne de production qui étaient en fonctionnement dans les années 1980. Le producteur retrouve ainsi sa capacité de production maximum. Il est probable que dans les années à venir on voit peu de nouvelles unités de production d'éponge basées sur le procédé Kroll se construire dans les pays développés en raison des contraintes environnementales qui y sont fortes, du niveau d'investissement requis et des coûts élevés d'exploitation (énergie, main d'œuvre etc.). Pour des raisons stratégiques d'approvisionnement, les USA pourraient éventuellement financer la remise à niveau des unités de production désaffectées de Timet (5450 tonnes/an), RMI (10 900 tonnes/an) et Wah-Chang (6800 tonnes/an).

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	45/104

En revanche, dans le cadre de ce scénario, on peut envisager le développement d'unité de production en ex-CEI (en particulier VSMPO et UKTM) où le contexte est plus favorable pour ce type d'industrie. Ainsi, très récemment (juillet 2003), AVISMA a annoncé qu'il augmenterait dans le courant de l'année sa capacité de production d'éponge de 26.000 à 30.000 tonnes.

D'autres opportunités d'augmentation des capacités de production mondiales s'offrent également dans les pays en voie de développement de la zone asiatique, en particulier en Chine.

III.1.4 Les nouveaux entrants asiatiques

Il faut distinguer dans la zone asiatique les « opérateurs » chinois, taiwanais et coréens qui se sont placés sur les marchés des articles de sport comme la production des clubs de golf, des réels producteurs de titane situés en Chine et en Inde.

Ces « opérateurs », comme d'autres au Mexique par exemple, ont su capter le marché des clubs de golf en optimisant les techniques de production tout en bénéficiant des coûts de production locaux. Au lieu d'utiliser les filières classiques de production en partant des lingots de fusion EB, PAM ou VAR, ils ont dimensionné des chaînes de production orientées produit et optimisées en terme de productivité. La technique de fusion adoptée est celle du four à induction qui permet d'utiliser 100% de scrap titane en matière première (le scrap vient en général de Russie ou de Chine) et qui s'adapte bien à un processus de production continu de mise en forme fonctionnant 24h/24h^j. Dans les hypothèses de ce scénario, ces organisations industrielles sont une excellente illustration de ce que pourraient être de futures unités de production basées sur des technologies titane et destinées à fournir un produit mis en forme à une industrie de masse comme l'automobile.

Au chapitre des producteurs de titane capables de fournir des lingots destinés à la transformation, on compte deux nouveaux entrants : le chinois Baoji et l'indien Midhani. Le point commun à ces deux producteurs est qu'ils sont issus d'une volonté forte des États concernés de promouvoir une industrie nationale de production de ce matériau considéré comme stratégique, en particulier, pour l'industrie de Défense. Il est important de noter que ces pays coopèrent étroitement avec la Russie (le Pakistan également) pour développer leurs équipements industriels et leurs infrastructures. Bien que, aujourd'hui, ces deux producteurs ne jouent pas un rôle majeur au niveau international (ils sont tout de même déjà fournisseurs de l'industrie aéronautique occidentale), ils prendront progressivement une place de plus en plus significative. La Chine en particulier présente toutes les dispositions pour remplir les critères capacitaires que nous avons définis en début de chapitre. En effet il existe deux unités de production nationales d'éponge, Zunyi et Fushun dont les capacités actuelles de production^k sont programmées à la hausse pour dans les années à venir. De nouvelles unités

^j Une étude comparative des coûts de production d'un four à induction par rapport à un four VAR est donné au chapitre III.4.2.

^k Les estimations des capacités diffèrent selon les sources: capacité de production de 2500 tonnes/an pour Zunyi et 500 tonnes/an pour Fushun selon l'étude Roskill; les sources

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	46/104

sont également en projet comme celle de Panzhihua dont la capacité de production de 5000 tonnes prévue en 2007 serait doublée en 2012. Au niveau de la production de titane métal, Baoji prévoit de d'augmenter sa capacité de 2.500 à 6.500 tonnes/an à l'horizon 2010 et d'autres producteurs pourraient se développer comme Bao Steel, Shenyang Titanium Nickel et Fushan Steel Work. Outre les faibles coûts de production locaux et de l'absence de contraintes environnementales, les producteurs chinois bénéficient d'atouts industriels importants (ressources minières, filière de production intégrée, compétences de transformation et de mise en œuvre) ainsi que d'une très forte demande intérieure qui, à elle seule, suffit à remplir les carnets de commande.

Compte tenu de l'augmentation globale de la demande au niveau international, il est probable que, dans le cadre de ce scénario, la Chine prendra une place significative dans le rang des fournisseurs d'éponge et de titane métal après 2010. On peut estimer qu'à cette échéance les capacités de production en éponge et titane métal seront respectivement de l'ordre de 12.000 et 14.000 tonnes/an. Toutefois, à court et moyen terme, c'est en priorité le marché intérieur qui devrait bénéficier de l'augmentation de la production nationale. Tant que cette demande intérieure restera forte, le risque de dumping de la part de ce pays nous paraît peu probable. Il faut signaler, que la Russie contribue activement à l'équipement de la Chine et du Pakistan. D'après nos informations, ces marchés gagnés par des industries russes, se traduisent par une augmentation de la demande intérieure de 40%. Les industries concernés par la consommation de titane en Chine sont, selon nos sources :

- le secteur de la chimie qui a absorbé à lui seul 59% des 7.000 tonnes de titane utilisé en Chine en 2002 ;
- le secteur de l'énergie (18%) ;
- le secteur de l'aéronautique (13%).

III.2 CARACTERISTIQUE DE L'OFFRE DANS LA FILIERE KROLL

Les études précédentes²³ ont souligné le caractère peu mature du marché du titane et la difficulté de circulation de l'information ce qui induit des réactions brutales de la part des fournisseurs et des consommateurs. D'autre part, malgré tous les atouts que possède le matériau de par ses qualités physiques et ses propriétés mécaniques, la consommation mondiale reste à un niveau modeste en comparaison d'autres métaux et les prix restent élevés. Nous nous intéresserons dans ce chapitre aux causes qui, selon nous, sont principalement liées aux caractéristiques de l'offre.

chinoises donnent une capacité de 3.000 tonnes/an pour Zunyi et 1.000 tonnes/an pour Fushun ; selon l'USGS, la capacité de production chinoise est estimée au total à 6900 tonnes/an.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	47/104

III.2.1 Une industrie liée à des secteurs stratégiques

Du bilan que nous avons dressé des producteurs de titane, nous pouvons conclure que, tout d'abord, leur nombre est très limité et qu'ils sont concentrés dans les régions à forte demande intérieure. Ceci s'explique par le fait que, le titane étant un matériau stratégique pour l'aéronautique et l'énergie, les gouvernements des pays industrialisés¹ ont fait en sorte de posséder leurs propres sources d'approvisionnement. L'émergence récente d'unités de production en Chine et en Inde dans le cadre des plans pluriannuels de développement de l'industrie de Défense^m, confirme cette analyse. Le fait que cette industrie soit destinée en premier lieu à satisfaire des besoins intérieurs stratégiques explique en partie que l'information y circule difficilement en particulier celle liées aux capacités réelles de production.

III.2.2 Les prix du marché basés sur les coûts de production des pays développés

Le développement de l'industrie dans le monde libéral a permis aux producteurs occidentaux d'accroître leur offre à l'international et, jusqu'à l'arrivée des producteurs d'ex-URSS, on peut considérer que le niveau des prix du marché était principalement basé sur les coûts de production des pays développés (USA, Europe Occidentale, Japon) et sur le positionnement par «spécialisation produit» de ces fournisseurs aboutissant à un certain lobbying. L'exemple de l'émergence des unités de production asiatique de clubs de golf montre que, sorti de cette logique, le titane peut répondre à un marché de masse à des prix attractifs.

Dans les années 1990, les évènements en URSS ont donné l'opportunité aux américains d'accentuer leur domination sur le marché en rachetant les unités de production française et anglaise alors que, dix ans plus tard, la CEI commence réellement à prendre place sur le marché de l'offre internationale.

L'arrivée sur le marché des producteurs de CEI, et à plus long terme l'entrée de la Chine, marquent de nouvelles étapes dans l'évolution du marché du titane. Les conséquences sont à court terme:

- Une pression sur les prix pour gagner des parts sur les marchés actuellement dominés par les USA et le Japon. Cette pression se caractérise par une baisse « contrôlée » des prix que les coûts de production locaux rendent possible ;
- Une diversification de l'offre qui peut contribuer à briser le positionnement par « spécialisation produit » par le jeu de la concurrence.

¹ L'URSS, les USA, le Japon, la France, l'Angleterre, l'Allemagne, l'Italie

^m Chine: Baoji est une entreprise nationale financée dans le cadre du 3^{ème} plan quinquennal de développement de l'industrie de Défense et de Haute technologie, Inde: Midhani est une unité de production industrielle nationale développée dans le cadre du « Home Grown Technology Programme » sous tutelle du Ministère de la Défense.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	48/104

A moyen terme, lorsque la Chine aura augmenté ses capacités de production et que son marché intérieur sera servi, il est probable que sa présence plus marquée sur le marché aura pour conséquence une baisse des prix, en particulier pour les nuances faiblement alliées moins exigeantes en terme de qualité des produits.

III.2.3 Un marché dominé par l'offre

Le marché du titane est un marché dominé par l'offre où la compétitivité est peu marquée. Cette situation est principalement due, selon notre analyse, au fait que d'une part l'offre est limitée et que, d'autre part, les marchés traditionnels (aéronautique, énergie) sont des marchés captifs pour lesquels le titane ne peut être avantageusement remplacé par un autre matériau.

Le besoin en matériau de ces industries étant programmable au moins un an à l'avance et prévisionnels sur 3 à 4 ans, les acheteurs ont tout intérêt à fixer des contrats cadre et tisser des alliances avec leurs fournisseurs pour garantir l'approvisionnement du matériau sur un volume donné et à des prix fixés. La cyclicité des marchés traditionnels, en particulier celui de l'aéronautique civil et militaire, a un effet dramatique sur ces alliances. Boeing a ainsi été obligé de dédommager RTI et Timet pour ne pas avoir honoré ses contrats d'achat de titane. D'autre part, en raison des fortes fluctuations sur les prix, les acheteurs réservent en général une clause sur le prix de la matière, renégociable au moment de l'émission des ordres d'achat. On constate donc une certaine instabilité des alliances possibles client/fournisseur.

L'ensemble de ces facteurs induit des stratégies d'approvisionnement à risque pour les industriels utilisateurs. Le phénomène est moins marqué pour les marchés de l'énergie, de la chimie, de l'off-shore, du dessalement ou de l'architecture car ils correspondent à de grands chantiers dont les besoins sont clairement définis en terme de volume et pour lesquels la programmation de la fourniture peut être contractualisée. En revanche, l'industrie aéronautique est plus touchée car son processus continu de production l'oblige à travailler sur des besoins prévisionnels plus difficiles à cerner compte tenu du caractère cyclique de l'activité.

Dans le cadre de ce scénario, nous n'envisageons pas à court et moyen terme d'évolution notable conduisant un rééquilibrage des forces entre l'offre et la demande, principalement en raison du fait que les causes sont structurelles (offre limitée, marchés captifs). A plus long terme, la perspective d'une concurrence entre fournisseurs de CEI et d'Asie pourrait stimuler l'offre et avoir un effet positif sur les prix en particulier pour les applications ne nécessitant pas un haut niveau de qualité. Pour les applications nécessitant un haut niveau de qualité, par exemple dans l'aéronautique, l'offre limitée en particulier au niveau de l'éponge est le plus grand obstacle à une baisse des prix.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	49/104

III.2.4 La production d'éponge : un facteur limitant de l'offre

Bien que le minerai soit disponible en très grande quantité, l'extraction de l'éponge par le procédé Kroll est le premier et principal facteur limitant pour le développement de la filière toute entière. Le niveau élevé du coût d'investissement pour de nouvelles installations, les contraintes environnementales et les coûts d'exploitation freinent la création de nouvelles unités de production. Pour contourner ces difficultés, une partie de la filière de production a misé sur l'exploitation du matériau recyclé : le scrap.

III.2.5 Deux matières premières dans la filière titane: l'éponge et le scrap

Le développement des techniques de fusion à foyer froid et par induction a abouti à une consommation importante de scrap utilisé comme matière première à la place de l'éponge.

Aux USA, 43% des 90800 tonnes de capacité de production de titane sont produites avec des techniques à foyer froid²⁴ et la moitié de la matière première consommée est de la matière recyclée. Le scrap étant a priori moins cher que l'éponge, ces nouvelles technologies ont permis de baisser la part matière dans les coûts de production mais elles ont également généré d'autres difficultés. En effet, le scrap comme l'éponge est sujette à spéculation et incertitude d'approvisionnement ce qui entraîne une instabilité sur le prix et la disponibilité pour les deux matières première. Une composante importante de cette instabilité est due au fait que le scrap de titane est également utilisé pour la production de ferrotitane destiné à la sidérurgie. Les USA disposant de leurs propres producteurs de ferrotitane (faisant souvent partie des même groupes industriels que les producteurs de titane), les problèmes de pénurie ne se posent pas sur le continent américain.

En CEI la situation est très différente. Le producteur russe de titane VSMPO dispose avec AVISMA de toute l'éponge nécessaire pour satisfaire ses besoins en matière première. Les lingots sont donc fabriqués à partir d'éponge exclusivement et le scrap généré est utilisé pour de nombreux petits producteurs qui apparaissent çà et là en CEI. Bien que ces informations ne puissent être confirmées par d'autres sources, elles sont vraisemblables et expliqueraient la profusion de petits producteurs en provenance de l'Est sur le marché du ferrotitane.

Concernant l'Europe Occidentale, les besoins en éponge sont très limités car la production de lingot et la consommation dans l'industrie sidérurgique y sont très faibles. En revanche, l'industrie européenne transforme et met en forme la matière titane pour réaliser des produits finis : elle génère donc beaucoup de scrap qu'elle pourrait mieux valoriser en organisant ses filières de recyclage.

Le lecteur trouvera en annexe de ce document un historique des prix de l'éponge et du scrap publiés par le périodique spécialisé « Metal Bulletin ». Nous précisons toutefois que ces données doivent être prises à titre indicatif car elles sont jugées peu représentatives et souvent sous évaluées par les négociants eux-mêmes.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	50/104

III.2.6 Mieux valoriser le scrap

Bien que l'Europe y ait grandement intérêt, il est probable qu'à moyen terme rien ne sera tenté pour structurer le marché du recyclage de scrap de titane au niveau des États en raison de la taille trop limitée du marché et des perspectives d'évolution de la filière Kroll. En revanche, les grands donneurs d'ordre vont à court terme adopter des stratégies qui permettront de mieux valoriser leurs déchets de titane. Plusieurs approches sont possibles :

- Intégrer la revente du scrap dans l'acte d'achat de la matière titane auprès du fournisseur lui-même ;
- Organiser le recyclage dans les sites de production pour valoriser au mieux les déchets en fonction de leur valeur marchande (tri sélectif) ;
- Stocker le scrap pour spéculer lorsque le marché est à la hausse (spéculation).

Dans tous les cas de figure, la filière de recyclage devra se structurer et présenter plus de transparence dans son fonctionnement pour prendre une place à part entière dans le cycle économique de la filière, à l'image de ce qui s'est fait aux USA. En attendant, les industriels européens en amont du recyclage ne tirent pas suffisamment profit de cette richesse et se privent d'un atout de négociation commercial avec les producteurs de titane.

III.3 LOGIQUE DE MARCHE ET DEVELOPPEMENT : LA DEMANDE

Nous proposons dans ce chapitre une vision du marché du titane qui, selon notre analyse, est régi par des logiques de développement différentes selon les secteurs d'application concernés.

Certains marchés sont captifs. C'est en général le cas pour les marchés de l'aéronautique, du médical et en partie de l'énergie où le titane est utilisé en raison de ses propriétés physiques et mécaniques qui lui confèrent des atouts majeurs par rapport aux autres solutions matériau envisageables. C'est aussi le cas pour d'autres marchés qui exploitent des argumentaires marketing basés sur la technicité associée à ce matériau dans l'esprit du grand public : La lunetterie, les articles de luxe, les articles de sport.

D'autres marchés mettent en compétition des solutions technologiques où le titane présente des avantages d'utilisation mais où son prix d'achat peu présenter un frein majeur à son utilisation. Le titane n'est alors qu'une solution matériau en compétition avec d'autres. Sur ce type de marché, le facteur de choix qui poussera à adopter la solution titane est différent selon les secteurs d'application. Pour les secteurs du dessalement, de la chimie, de l'off-shore et en partie de l'énergie, l'argumentaire principal en faveur de la solution titane est le gain en durée de vie de la pièce qui se traduit par des économies sur les coûts d'exploitation des équipements. Pour les secteurs de l'automobile, des blindages et du naval, la décision d'utiliser le titane sera avant tout dépendante du prix de la pièce finie et assemblée.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	51/104

III.3.1 Classement des marchés par facteur principal d'influence

Le choix d'un matériau pour une application industrielle donnée est le résultat d'un compromis de nombreux facteurs. Dans le cadre de ce scénario, nous proposons une analyse du marché du titane où, pour chaque secteur, nous avons déterminé le facteur principal d'influence qui guide le choix d'une solution titane plutôt qu'une autre. Par exemple pour le secteur automobile, le facteur principal d'influence sera le prix de la pièce intégrée dans la structure du véhicule. Cette analyse a pour objectif d'illustrer l'état de la demande et de dégager les grandes tendances d'évolution du marché à moyen et long terme.

La figure suivante présente la synthèse de cette analyse. Les différents secteurs d'application du titane sont représentés par un ovale et les facteurs d'influence par des rectangles. Nous avons conclu que les critères de choix du titane, pour l'ensemble des marchés d'application, reposaient sur quatre facteurs principaux d'influence :

- les propriétés de la matière : caractéristiques physiques, mécaniques, chimiques etc.
- le prix des pièces finies et intégrées dans la structure
- la durée de vie des pièces en service
- les propriétés du produit « titane » : aspect visuel du matériau, les atouts marketing associés au haut niveau de technicité du matériau etc.

Nous avons ensuite placé les secteurs d'application du titane par rapport à ces quatre facteurs d'influence afin d'obtenir une représentation schématique de répartition qui illustrera notre propos dans le chapitre suivant. Voici le schéma obtenu :

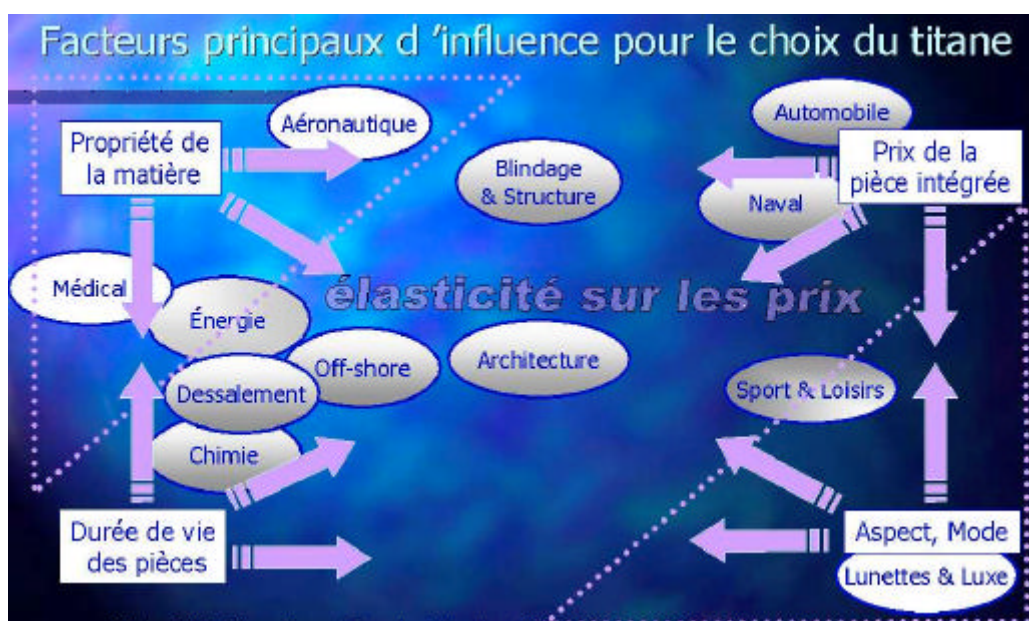


Figure 21: Facteurs principaux régissant le choix du titane pour une application donnée

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	52/104

III.3.2 Analyse du classement par facteur principal d'influence

Le classement met en évidence que les marchés traditionnels, donc les marchés les plus développés, sont ceux qui exploitent les propriétés physiques et mécaniques du titane : **l'aéronautique, le médical, et en partie l'énergie**. Ils apparaissent dans le triangle délimité en haut à gauche du schéma. Ces marchés sont captifs, cycliques et récurrents car le titane ne peut être remplacé par un autre matériau. Le facteur prix, bien que présent, n'est pas le facteur principal d'influence dans le choix.

Le triangle en bas à droite du schéma délimite les applications pour lesquelles les propriétés du « produit » titane sont prédominantes. C'est le cas pour les applications grand public telles que la **lunetterie, les articles de sport et de loisir, le luxe**. C'est l'impact de la notoriété du titane dans l'imaginaire du consommateur qui est le facteur principal de choix, au-delà de ses propriétés et de son prix. Le prix au gramme de titane vendu y est, de loin, le plus élevé. Ces marchés captifs sont des marchés d'opportunité car soumis à des effets de mode.

L'analyse en facteur principal d'influence permet ainsi d'expliquer les raisons pour lesquelles ces marchés ont atteint un bon niveau de développement malgré le prix du titane.

Reste ensuite les autres marchés qui sont situés sur l'axe « Durée de vie des pièces – Prix de la pièce intégrée ». Sur ces secteurs d'activité, le titane présente un gros potentiel d'application mais il est en compétition avec d'autres solutions matériau. En fonction de facteurs économiques qui diffèrent selon les applications, le titane est ou n'est pas utilisé. Le développement de ces marchés est donc très sensible à l'offre et à des effets de seuil sur les prix. Cette élasticité de la demande par rapport au prix est selon notre analyse, une caractéristique importante de ces marchés pour expliquer leur développement limité. Il existe donc deux composantes dans l'évolution du marché du titane:

- l'une tirée par l'augmentation de la demande sur les marchés captifs;
- l'autre dépendant d'effet seuil sur les prix.

Nous reprendrons cette décomposition dans le chapitre suivant pour dégager les perspectives d'évolution du marché du titane dans le cadre des hypothèses de ce scénario.

III.4 PERSPECTIVES D'EVOLUTION DE LA FILERE KROLL

III.4.1 Évolution du prix du titane : paramètres liés à l'offre

Comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, le prix du titane est basé sur les coûts de production des pays développés et, à très court terme, la pression induite par les fournisseurs venant de CEI (principalement la Russie et le Kazakhstan) ne peut aboutir qu'à une baisse contrôlée des prix. Cette baisse peut toutefois avoir un impact significatif sur certains marchés à effet de seuil comme nous le discuterons dans la suite du document. A plus long terme (2010), la perspective de développement de la capacité de production chinoise

<p align="center">Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010</p>	<p align="center">Page</p>
<p align="center">Document de synthèse – Édition : Décembre 2003</p>	<p align="center">53/104</p>

peut marquer une nouvelle étape dans l'évolution du marché. En effet, la Chine est potentiellement la seule puissance économique à coût de production faible qui puisse entrer en compétition avec la CEI.

III.4.2 Baisse des coûts de production : paramètres liés à l'offre

Dans la chaîne de production du titane, différents développements ont déjà été menés dans l'objectif de réduire les coûts de production. Nous les résumons dans la figure ci-dessous :

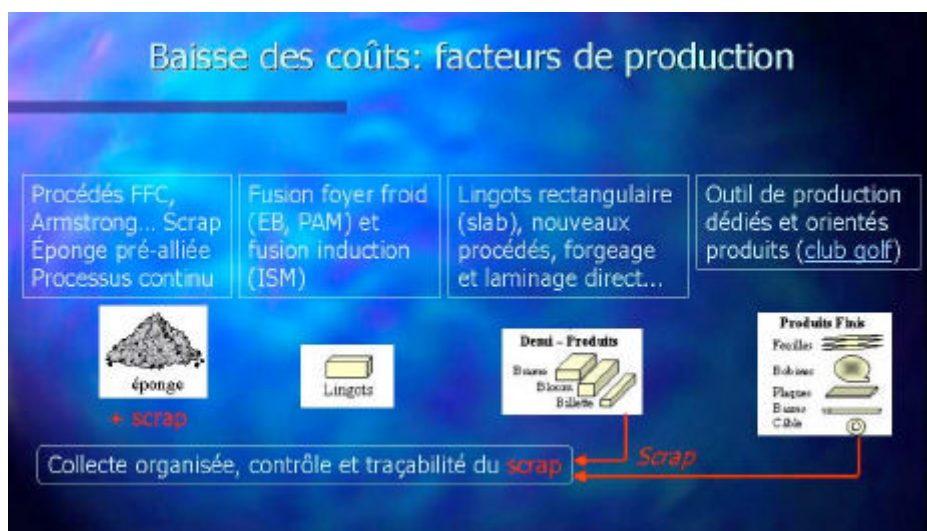


Figure 22: Baisse des coûts dans la chaîne de production du titane

Au niveau de la production d'éponge par le procédé Kroll, aucune amélioration du procédé ne permet à court terme d'envisager des perspectives de diminution significatives des coûts de production. Seule l'apparition de nouvelles technologies de rupture, telle le procédé FFC, peut avoir un réel impact sur les coûts de production.

Pour l'étape de production de lingot, les développements menés par les Américains sur les procédés de fusion à foyer froid EB, PAM ou ceux utilisant la fusion par induction (ISM), ont permis de baisser les coûts de production. Cette baisse n'est pas tant attribuée à l'outil de production lui-même (une fusion EB ou PAM est plus chère qu'une fusion VAR classique) qu'au fait que ces techniques permettent d'utiliser le scrap comme matière première. Ainsi le gain escompté sur la part matière vient compenser avantageusement la composante de surcoût due au procédé de fusion. Cette logique perd ses fondements si le prix du scrap devient trop élevé ou s'il y a pénurie de scrap. La maîtrise des conditions d'approvisionnement du scrap de titane est assurément aujourd'hui une des difficultés des filières Kroll occidentales en raison de son utilisation intensive. Nous approfondirons les problèmes liés au scrap dans un chapitre spécifique dans le cadre de ce scénario.

Au niveau de la transformation, des réductions de coût ont été obtenues grâce à l'introduction de lingot de forme rectangulaire (slab) qui permettent d'éviter l'étape de forge

des lingots qui sont traditionnellement de géométrie cylindrique. Les slabs peuvent s'adapter aux procédés EB, PAM et ISM alors que la technique VAR ne peut produire que des lingots cylindriques.

Certaines applications comme celle des clubs de golf ont montré que le choix judicieux des techniques de fusion et de mise en œuvre permet d'apporter des gains importants sur les coûts de production, en particulier si l'ensemble de la chaîne est très orienté vers le produit fini. Dans la figure suivante nous présentons une décomposition de coût mettant en avant les atouts d'un procédé ISM comparé au procédé VAR. La pièce produite par la technique ISM revient ici 60% moins chère que par le procédé VAR.

<i>FURNACE TYPE</i>	<i>VAR 25SM TWIN</i>	<i>ISM TWIN</i>
Working days/Year	230	230
Working Hours / Day	24	24
Working Hours / Year	5520	5520
Availability	82%	82%
Average Cycle Time	7.75 minutes	6.0 minutes
Melts per Day	152.32	196.8
Melts per Year	35,034	45,264
Pouring Weight	15 KG	7.3 KG
Melting Weight	15.3 KG	7.5 KG
Material Consumption / Year	536,021 KG	339,480 KG
Cost for Melting Stock	\$15.00/KG	\$8.25/KG
Cost for revert	\$5.00/KG	\$3.00/KG
Electrode Weight	129 KG	NA
% Revert Used	30%	40%
% Virgin Used	70%	60%
# Melts / Electrode	12	NA
KG Virgin / Cycle	10.71 KG	4.50 KG
KG Revert / Cycle	4.59 KG	3.00 KG
Weight of Virgin / Year	375,215 KG	203,688 KG
Weight of Revert / Year	160,806 KG	135,792 KG
Virgin Cost / Year	\$5,628,221	\$1,680,426
Revert Cost / Year	\$804,032	\$407,376
Total Material Cost / Year	\$6,432,253	\$2,087,802
Material Cost / Cycle	\$183.60	\$46.13
Investment Costs	\$1,290,000	\$1,100,000
Depreciation Period	2 Years	2 years
% Interest	8%	8%
Capital Cost / Year	\$696,600	\$594,000
Capital Costs / Cycle	\$19.88	\$13.12
Total Cost / Cycle	\$203.48	\$59.25
Pieces / Melt	15	11
Yield	85%	85%
Cost / Piece	\$15.96	\$6.34
Capacity / Year	446,684	423,218

Figure 23: Comparatif des coûts de production en fonction de la technique de fusion adoptée (VAR ou ISM) pour la production de club de golf

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	55/104

III.4.3 Évolution des besoins sur les marchés captifs

III.4.3.1 Évolution du besoin dans l'aéronautique commercial

Selon les analystes du secteur, la reprise après la crise du 11 septembre 2001 est déjà effective courant 2003 pour le producteur européen Airbusⁿ et tandis que Boeing^o devra attendre au mieux 2004 ou 2005.

La prévision pour 2003 de livraison d'avions mettront pour la première fois Airbus en tête de ventes avec 306 avions, devant Boeing pour lequel l'estimation à l'heure actuelle est d'environ 266 avions.

Le producteur nord-américain RMI estime que les livraisons d'avion se feront à un rythme moyenné de 528 avions/an entre 2004 et 2006 (estimation faite en Août 2002). Ce chiffre représente une augmentation de la croissance supérieure de 30% par rapport aux chiffres de la dernière période de crise entre 1994 et 1996. Conformément à cette logique de croissance, le producteur donne une prévision de production américaine de titane de 44 000 T/an en moyenne entre 2002 et 2004 soit une progression de 23% par rapport à la période entre 1992 et 1994.

A plus long terme, le marché de l'aéronautique commerciale est, selon les prévisions de Boeing, porté par une forte croissance du transport aérien d'ici à 2021 avec une demande globale de 24.000 nouveaux avions et 60.000 moteurs^p. Ainsi, malgré les difficultés actuelles sur le secteur, les prévisions à long terme pour la consommation de titane sont très bonnes.

III.4.3.2 Évolution du besoin dans le domaine aéronautique militaire

Nous présentons dans la figure suivante les prévisions de production mondiale d'avions militaires d'après le producteur nord-américain Allvac. Ces données sont à prendre avec précaution en ce qui concerne les avions européens Rafale et Eurofighter, car elles sont surévaluées.

ⁿ Source Airbus

^o Source RMI

^p Dont 12-15% d'augmentation pour les jets régionaux et 100% pour les cargos

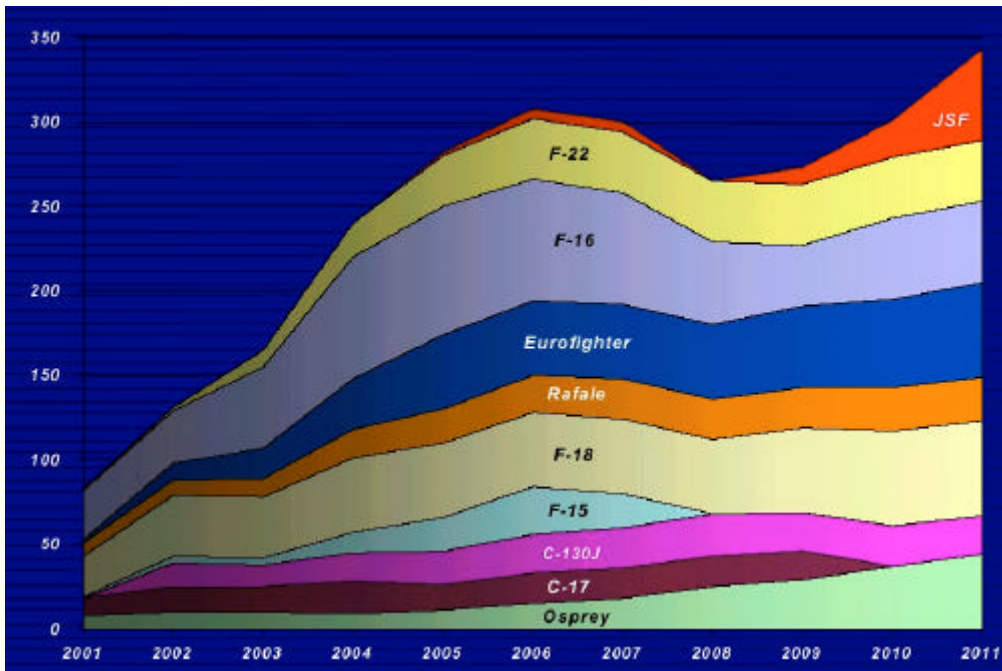


Figure 24: Prévion de production mondiale d'avions militaires - Estimation (sources: Allvac²⁵)

D'autres estimations sont données par le producteur Timet sur la période 2003-2010(voir figure ci-dessous) :

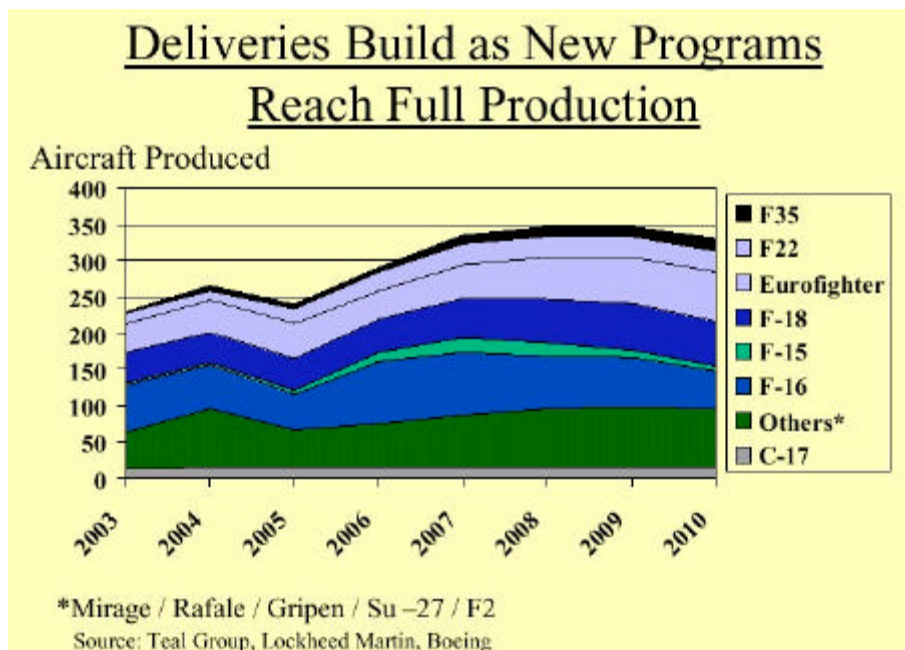


Figure 25: Prévion de production d'avion militaire d'après Timet²⁶

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	57/104

En tout état de cause, la très grande majorité du titane utilisé pour la production d'avions militaires est consommée dans les chaînes de production américaines. Nous présentons dans cette section quelques chiffres de prévision de consommation par type d'avion à moyen et long terme.

La consommation moyenne annuelle de titane pour la production d'avions militaires aux USA est évaluée entre 2000-3000 T/an²⁷ à 5000 T/an²⁸ jusqu'en 2013. Cette consommation est supposée être soutenue par les prévisions d'augmentation des budgets de Défense américains que nous rappelons dans le tableau ci-dessous.

	2002	2003*	2004*	2005*	2006*
Budget Défense USA	\$110	\$128	\$131	\$140	\$146
Augmentation (%)	6.4%	16.7%	2.8%	6.4%	4.3%

Tableau 6: Prévision d'augmentation des budgets de Défense aux USA (source Crédit Suisse/First Boston)

Voici quelques prévisions détaillées par type d'avion²⁹. Ces estimations ne sont pas toujours cohérentes d'une source à l'autre, il est donc conseillé de les utiliser avec précaution.

- avion F-22: production de 339 avions prévue jusqu'en 2013. Pour chaque avion, 46 tonnes de titane sont approvisionnées dont 36 tonnes pour la structure et 10 tonnes pour les moteurs ;
- avion F-18 E/F Navy: production de 528 avions prévue jusqu'en 2013. 11.3 tonnes de titane sont approvisionnées pour la structure de chaque avion ;
- avion C-17: production de 118 avions prévue jusqu'en 2010, 68 tonnes de titane seront approvisionnées par avion;
- avion F15 : production de 83 avions jusqu'en 2015 ;
- avion F16 : production de 538 avions jusqu'en 2010 ;
- avion A400 M: prévision de production de 225 avions de 2005 à 2025 ;
- avion Eurofighter: production 620 avions prévue jusqu'en 2014. 6.8 tonnes de titane sont approvisionnées par avion.

Sur la base de ses prévisions, Timet estime à 2367 le nombre d'avions militaires à construire à échéance 2010 ce qui représente une moyenne de 296 avions par an. Comparé à

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	58/104

la période 1995-2003 (voir figure ci-dessous), ces chiffres correspondent à une augmentation de l'ordre de 43% en volume.

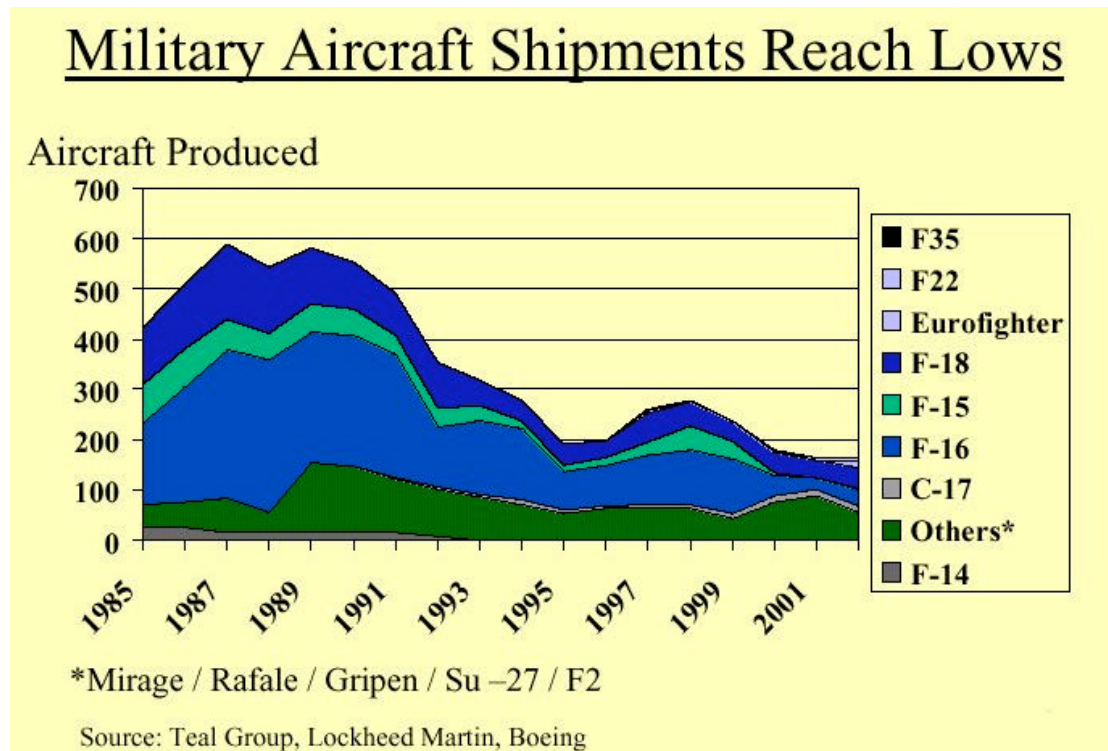


Figure 26: Production d'avions militaires entre 1985 et 2003 d'après Timet³⁰

III.4.3.3 Évolution des besoins sur les marchés « Sport, Loisir, Lunetterie, Luxe »

Comme nous l'avons décrit dans le chapitre précédent, ces marchés sont soumis à des effets de mode. La part de marché globale est estimée, selon notre étude, à un volume de l'ordre de 10% du marché mondial dont les 2/3 environ sont destinées à la production de club de golf qui est aujourd'hui un marché mature. Sur les secteurs de la lunetterie, des loisirs et du luxe, un doublement du marché n'aurait pas de conséquence importante compte tenu du volume de consommation total. Ces secteurs d'application peuvent être considérés comme stables ou ayant un impact limité sur les conditions d'approvisionnement dans les 5 ans à venir.

III.4.3.4 Évolution du besoin sur le marché de l'Énergie (1^{ère} partie : marché captif)

Le titane est utilisé dans la partie « vapeur » des condensateurs et, selon les cas, remplace avantageusement l'inox ou le cupro-nickel en raison de sa résistance à la corrosion. Le titane étant un matériau plus cher que ses deux concurrents, son utilisation se justifie dans une logique de gain sur le coût de maintenance des installations. A titre d'exemple, les

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	59/104

installations utilisant du cupro-nickel doivent être arrêtées au bout de 15 ans pour une remise à niveau des tubes de condenseur.

Dans le chapitre précédent, nous avons classé le marché de « l'Énergie » à la frontière entre les marchés captifs et les marchés à effet de seuil (voir figure « Facteurs principaux régissant le choix du titane pour une application donnée »). La raison de ce classement est que le marché de l'énergie peut être considéré comme stable pour les 5 années à venir sur des hypothèses d'évolution limitée du prix du titane.

En revanche, si le prix du titane évolue notablement, le marché peut trouver un second souffle car le titane pourrait remplacer l'inox actuellement utilisé pour les applications « condenseurs » dans le secteur de l'énergie. Ce point sera discuté dans la section suivante.

III.4.4 Développement des marchés à effet de seuil sur les prix

Nous allons maintenant présenter les perspectives d'évolution des marchés à effet de seuil sur les prix, tels que nous les avons introduits dans le chapitre précédent. Notre étude nous a permis de quantifier ces seuils pour chaque type de marché considéré. Nous les présentons dans la figure ci-dessous selon une courbe décroissante où l'ordonnée correspond à un prix au kilogramme et où l'abscisse donne une estimation cumulée du marché. Ainsi à chaque prix seuil atteint le marché global est augmenté de la part correspondant à la consommation de titane sur le segment de marché considéré.

III.4.4.1 Potentiel d'évolution dans le domaine de l'énergie (2^{ème} partie : marché à effet de seuil)

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, le marché de l'énergie a une composante d'évolution sensible à un effet de seuil sur les prix. En effet, pour une baisse des prix de l'ordre de 50% par rapport aux prix actuels, des applications de type « condenseur » actuellement en inox pourraient être remplacées par du titane. Si la baisse des prix n'atteint que 20 à 30%, ces applications ne sont pas envisageables. Dans le cadre de ce scénario, une baisse de 50% du prix du titane à échéance de 10 ans est peu probable.

En revanche, des informations très récentes³¹ obtenues en fin d'étude (mai 2003) font état de nouveaux développements dans le domaine des procédés de génération d'énergie par exploitation des différences de température entre les eaux profondes et les eaux de surface des océans. Un projet utilisant la technique OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) doit être initié en Arabie Saoudite par la société japonaise Xenesys Inc. Le potentiel de consommation de titane est de l'ordre de 1200 à 1800 tonnes de titane pour une unité de production de 100 MW. Le besoin en titane étant sensiblement linéaire avec le niveau de production énergétique, le développement de cette technique est particulièrement à suivre dans les prochaines années. En effet, un seul projet pour une centrale de 1000 MW générerait un besoin de l'ordre du tiers de la consommation mondiale annuelle de titane.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	60/104

III.4.4.2 Marché du dessalement

Le marché du dessalement pour le titane a été créé par les Japonais en 1992 avec l'usine de Al Taweelah qui consomma 800 tonnes de titane. Depuis, différentes techniques de dessalement ont été développées. Deux techniques, la « Multi Stage Flash Distillation » (MSF) et la « Multi Effect Distillation » (MED) sont potentiellement consommatrices de titane pour des applications tubes, tandis que la troisième, basée sur le principe d'osmose inverse (Reverse Osmosis), n'en utilise pas du tout. Les usines de type MSF et MED sont installées surtout au Moyen-Orient car, bien qu'efficaces, elles présentent le désavantage d'être grandes consommatrices d'énergie.

Actuellement, 15% des usines MSF et MED sont équipées de tubes en titane. Ce marché est sensible à un effet de seuil et, dans l'hypothèse de ce scénario, le contexte concurrentiel à moyen terme peut permettre d'atteindre des niveaux de prix compatibles dans les 5 ans à venir.

III.4.4.3 Potentiel de développement dans le domaine de la Défense (hors aéronautique)

Le titane est un excellent matériau de blindage, c'est pourquoi les recherches et études pour les protections des matériels roulants ont assez rapidement débouché sur des applications concrètes dans le secteur des applications terrestres en général (blindage de chars lourds, de véhicules légers de combat d'infanterie, gilets pare-balles etc.). Le marché est actuellement en pleine phase de croissance. Cette progression s'explique par une montée en puissance de l'utilisation dans les nouvelles générations de véhicule, la revalorisation du parc de matériels existants et l'extension de l'utilisation du titane dans les structures elles-mêmes des véhicules (gain en mobilité et aérotransportabilité).

Les données précises sur le secteur sont stratégiques donc assez difficiles à obtenir, toutefois nous pouvons présenter des estimations des consommations américaines qui représentent environ 50% des besoins mondiaux :

- Le programme de canon léger de 155mm héli-treuilable (XM777 Light Weight Howitzer) en cours et en coopération avec les anglais;
- Le véhicule blindé de 5.5 tonnes du « Future Combat System ». Le titane est encore en compétition avec des solutions aciers inox nouvelle génération (super stainless steels) ;
- Les applications marines qui supposent une baisse du prix du titane: coques, superstructures d'appontage et circuits d'eau de mer pour les navires et éventuellement coques pour les sous-marins.

Compte tenu du contexte de croissance des budgets Défense outre-atlantique (cf. chapitre III.4.3.2) et de l'intérêt du titane comme matériau de blindage, ces applications ne nécessitent pas un effort important sur la baisse des coûts. On peut considérer que les niveaux

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	61/104

des prix atteints aujourd'hui sont suffisants et que les perspectives de croissance de ce marché ont une très forte probabilité de se voir réaliser.

III.4.4.4 Débouchés dans le secteur du transport terrestre

Le transport terrestre représente un tel potentiel de développement pour le marché du titane que la première application en série pourrait rapidement placer ce secteur parmi les plus importants en terme de volume, voire le plus important. Le producteur Timet est le plus avancé sur ce secteur avec à son actif les réalisations des suspensions titane de la Volkswagen Lupo Fsi (2001) et de la ligne d'échappement de la Corvette Z06 de General Motors (2001). Les quantités de titane concernés restent toutefois modestes avec des niveaux de consommation annuels respectifs d'environ 4 tonnes et 150 tonnes³². D'autres constructeurs comme Porsche et Mercedes-Benz ont également quelques réalisations à leur actifs mais ce sont certainement les constructeurs japonais Honda, Toyota, Mitsubishi et Nissan qui sont le plus avancés dans l'utilisation du titane dans l'automobile avec un volume de consommation égale à 1365 tonnes pour l'année 2002.

Des accords récents entre Timet et Nippon Steel visant à développer le marché des suspensions titane au Japon devraient contribuer à maintenir, voire augmenter la demande. Ces accords comprennent un volume de 300 à 400 tonnes/an de titane pour les suspensions de 1.2 millions d'automobiles et 60 tonnes/an pour 100 000 motos. A ces chiffres pourraient s'ajouter ceux de la production de pièces de titane par Allvac dans une nouvelle usine en cours de construction aux USA. Aucune information précise n'est accessible sur ce projet qui est entouré d'une grande confidentialité.

Le marché automobile est très sensible à l'effet de seuil sur les prix et le principal facteur d'influence dans le choix du matériau est le coût de la pièce finie intégrée. Les données recueillies dans le cadre de notre étude et celles publiées par le cabinet EHK Technologies³³ aux USA (2002) montrent bien que c'est ce niveau de seuil bas qui freine le développement du secteur.

D'après notre estimation, le marché de l'automobile pourra effectivement se développer si le prix de la pièce en titane peut concurrencer le prix de la pièce en aluminium ou acier. Ceci suppose que de nouvelles techniques de production des pièces (en particulier en fonderie) sont spécifiquement mise au point dans l'objectif de faire baisser le coût du produit fini (à l'image de ce que les Asiatiques ont réussi pour l'application club de golf).

Sur le marché américain, une nouvelle réglementation sur les émissions de gaz doit entrer en vigueur en 2004 et induire des contraintes fortes sur le rendement des moteurs diesel. Le titane est un des matériaux candidat en raison de sa bonne tenue en température (parties chaudes du moteur), de sa densité (réduction des masses en mouvement).

In fine, le marché des transports terrestres ne pourra se développer significativement que lorsque le prix du titane aura atteint un prix seuil très en deçà des niveaux actuels, ce qui n'est pas envisageable dans le cadre de ce scénario compte tenu du prix des matières

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	62/104

premières. Des applications continueront à voir le jour sur des séries limitées pour des véhicules haut de gamme.

Compte tenu des contraintes sur les prix, il est probable que la croissance sur ce secteur induira des consommations importantes du scrap de titane qui est moins cher que l'éponge.

Dans l'hypothèse peu probable de l'émergence d'un marché de grande diffusion dans le domaine, les volumes concernés atteindraient rapidement plusieurs dizaines de milliers de tonnes par an. Par exemple, l'application suspension à lames pour les camions américains représente une consommation de 60.000 tonnes.

III.4.4.5 Potentiel des secteurs Chimie, Off-shore et secteurs associés

Les données précises sur ces secteurs d'activité sont difficiles à obtenir précisément car ils font souvent l'objet de regroupements sous une terminologie globale du type « Secteur Industriel ». Ce secteur comprend :

- l'industrie chimique
- l'industrie Off-shore
- les Echangeurs Thermiques (Plate-Fin Heat Exchanger – PFHE)
- l'industrie alimentaire, la distribution etc.

Compte tenu de la diversité des applications nous n'avons pas pu estimer un niveau de prix seuil global pour ce secteur. Toutefois, il apparaît clairement que la mise en œuvre des techniques de fusion bas coût, en particulier le procédé par induction ISM, a permis d'atteindre des niveaux de prix suffisamment bas pour le secteur soit en phase de croissance. Chaque projet d'équipement qui démarre représente quelques centaines voire quelques milliers de tonnes de titane ce qui peut rapidement fausser les estimations. A titre d'illustration, nous présentons ci-dessous une liste des projets programmés ou prévisibles pour les prochaines années :

- Projet minier Goro Nickel de Inco Ltd. (Nouvelle Calédonie) : démarrage en 2002 et fourniture de titane grade 28 et grade 17 destiné à l'échangeur thermique de l'unité de rinçage acide sous pression. La quantité de titane est de 455 tonnes
- Projet Rio Tuba (Philippines) de raffinage de Nickel: 150 à 180 tonnes de titane livrable en juillet 2004
- Projet Kristin (Norvège) plate-forme off-shores: 300 à 350 tonnes de titane. Le début de production est prévu en octobre 2005
- Projets Snohvit (Norvège) de plates-formes off-shores: 300 à 350 tonnes de titane pour une mise en service prévue en septembre 2006
- Projets Hammerfest (Norvège) de plates-formes off-shores: 120 à 150 tonnes de titane. La mise en service est prévue pour septembre 2006

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	63/104

- Projet White Rose (Newfoundland, Canada) plate-forme off-shore: 300 tonnes de titane - début de production courant 2005.

Compte tenu du manque d'information précise sur ce secteur en terme d'évolution de la demande, nous nous limiterons à une prévision d'augmentation régulière de la consommation de titane. Cette progression sera portée par la demande dans le contexte favorable des besoins d'équipement venant des pays en voie de développement pour les secteurs Chimie et PFHE, et des pays développés pour le secteur Off-shore.

III.4.4.6 Applications architecturales

Les applications architecturales du titane, bien que très développées au Japon, restent à un niveau de consommation relativement faible que l'on peut estimer à environ 200 tonnes/an. En Europe, le musée Guggenheim de Bilbao a créé l'engouement dans le milieu architectural mais depuis sa réalisation en 1997, aucun grand projet n'a encore vu le jour. Le plus médiatisé, et encore en attente de décision, est le projet de l'aéroport d'Abu-Dhabi qui utiliserait le titane en matériau de couverture et en matériau de structure pour les poutres du grand hall. L'ensemble représenterait un volume de l'ordre de 800 tonnes de titane. Des réalisations d'habitations sont faites pour le compte de particuliers principalement au Japon, aux USA et dans les pays du Nord de l'Europe. Cette composante d'augmentation de la demande apparaît noyée dans les statistiques de progression de la consommation du secteur « stockistes » ou « distribution » qui regroupe toutes les consommations des petits utilisateurs. Cette augmentation a été suffisamment forte en 2002 au Japon pour que l'Association Japonais pour le Titane (JTS) et le groupe Mitsui signale un niveau de consommation record de 1300 tonnes environ qui équivaut au meilleur niveau de 1997.

Il est clair que la demande dans le secteur architectural est élastique par rapport au prix et que le choix du titane est, pour ce secteur, à la croisée des chemins des différents facteurs principaux d'influence. La perspective de baisse des prix à court terme, n'est pas suffisante pour voir exploser ce marché car l'application nécessite un certain savoir-faire dans la finition des surfaces que peu de producteurs maîtrisent aux USA et au Japon.

Dans le cadre de ce scénario, nous prévoyons une stagnation ou une légère progression de la demande. Cette estimation est faite hors grands projets pour lesquels la consommation moyenne peut être estimée entre 50 et 100 tonnes par projet.

III.4.4.7 Développement du secteur naval

L'URSS est certainement le pays qui a eu le plus de développement titane dans le secteur naval avec en particulier l'application coque de sous-marins pour intervention en grande profondeur. Selon nos informations, il n'existe pas à ce jour de grands programmes militaires visant à utiliser massivement du titane pour les bâtiments de surface ou les sous-marins. Ce secteur est toutefois à surveiller car la résistance à la corrosion, les bonnes performances mécaniques et la tenue au feu du titane en font un matériau potentiellement

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	64/104

intéressant en particulier pour les coques, les superstructures, les circuits d'eaux de mer et les blindages.

Dans le secteur civil, on peut citer certaines réalisations de coques en titane pour des bateaux de plaisance (au Japon par exemple) mais celles-ci restent très limitées en nombre. Pour les grands chantiers navals, des études détaillées ont été menées pour évaluer l'intérêt technico-économique d'utiliser le titane pour les coques des petits bâtiments et pour les superstructures des grands navires. Les études³⁴ montrent que le titane ne présente un intérêt par rapport aux autres solutions matériau que s'il est utilisé pour une application où il cumule ses atouts : densité (compétition avec l'aluminium), tenue au feu (compétition avec l'acier), résistance à la corrosion (compétition avec l'inox) et résistance mécanique. Le facteur principal d'influence pour le choix du titane est le prix de la pièce finie intégrée. En effet, les coûts de production des pièces sont multipliés par 4 par rapport à l'acier en raison de la mise en œuvre : préparation des surfaces, meulage, soudage sous atmosphère contrôlée etc.

Dans le contexte de ce scénario il n'y a pas d'application envisageable dans les grands chantiers navals avant 2010. A une telle échéance, le contexte qui permettrait de voir se développer les applications du titane serait :

- un prix du titane (type T40) proche de celui de l'inox
- un procédé de soudage sous atmosphère contrôlé, rustique dans son application et moins cher que les procédés actuels.

Enfin une dernière condition indispensable serait l'existence d'une réglementation fixant les conditions d'utilisation du titane comme matériau de construction dans les structures navales. Tant qu'une telle réglementation n'existe pas, aucune application n'est envisageable sur des bâtiments destinés à une exploitation commerciale.

III.5 SYNTHÈSE DU SCÉNARIO « CONTINUITÉ DE LA FILIÈRE KROLL »

Nous présentons dans cette section une synthèse des déterminants du marché du titane dans le cadre de l'hypothèse de continuité de la filière Kroll, c'est à dire sans saut technologique.

Du côté de l'offre :

La filière titane est marquée par une forte dépendance vis à vis du caractère cyclique du marché aéronautique qui représente à lui seul 40% de la consommation de titane dans le monde. Historiquement liés à ce secteur d'activité, les producteurs américains sont les plus touchés par la baisse d'activité. En réaction, ils tentent d'ouvrir des voies de diversification vers les autres marchés applicatifs sur lesquels les japonais et les européens occidentaux sont déjà présents : énergie, chimie, dessalement, automobile, médical, architecture etc.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	65/104

Dans ce panorama, les producteurs d'ex-URSS commencent à trouver leur place sur l'offre internationale. Fort de son outil industriel et bénéficiant de faibles coûts de production locaux, le producteur russe VSMPO est en situation de passer de challenger à leader sur le marché. L'annonce très récente de la formation d'une joint venture entre VSMPO et le groupe américain Allegheny pour développer sur le sol des USA les marchés de diversification cités ci-dessus marque une nouvelle étape dans la guerre commerciale livrée à TIMET, actuel n°1 mondial.

Ainsi, à court terme, nous assistons à une montée en puissance des opérateurs de CEI en particulier VSMPO pour l'offre de titane métal et UKTM pour l'offre d'éponge.

La transition de la domination d'une offre nord-américaine de lobbying, à celle d'une offre russe marque une première étape qui stimule le marché et initie un cercle vertueux de baisse des prix par le jeu de la concurrence. Cette baisse ne peut être que limitée car la marge de compétitivité des opérateurs occidentaux est réduite en raison de leurs coûts de production élevés. La baisse des prix est donc limitée par la capacité à baisser les coûts de production dans les pays développés.

A plus long terme, une seconde étape devrait marquer l'évolution du scénario : celle de la montée en puissance des acteurs du continent asiatique et en particulier de la Chine qui verra sa capacité de production augmenter progressivement dans les années à venir. Ce pays dispose d'atouts importants : ressources minières, filière de production intégrée, compétences de transformation et de mise en œuvre. Destinée à servir la demande intérieure, la capacité de production ne devrait pas alimenter massivement le marché international avant 2010 environ. Toutefois, avant cette échéance, la Chine devrait poursuivre sa politique de développement programmée dans ses plans pluriannuels et continuer à augmenter progressivement sa part d'exportation de titane encore modeste aujourd'hui. Tant que la demande intérieure restera forte, le risque de dumping de la part de ce pays nous paraît peu probable.

Du côté de la demande :

D'après notre analyse, on peut distinguer deux composantes dans l'évolution du marché du titane, l'une tirée par l'augmentation de la demande sur les marchés captifs, l'autre dépendant d'effets de seuil sur les prix.

Parmi les marchés captifs, on retrouve les marchés traditionnels technologiques (aéronautique, médical, et en partie l'énergie) et les marchés de marketing (sport, luxe, lunetterie, loisirs).

Les marchés à effet de seuil regroupent les autres applications du titane pour lesquelles le choix du matériau rentre dans une logique de coût global de la pièce intégrée ou de coût d'usage en service. Ces marchés sont, principalement: l'automobile, le naval, l'architecture, l'off-shore, la chimie, le dessalement, le blindage.

Le secteur en plus forte prévision de croissance pour les prochaines années sera celui des applications militaires aéronautiques et terrestres surtout aux USA.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	66/104

Les autres secteurs pourront tirer profit de la baisse contrôlée du prix du titane dû à l'effet combiné de la baisse des coûts de production (développements « titane bas coût » via les techniques de fusion à foyer froid et à induction) et de compétition commerciale induite par le producteur russe.

Dans le contexte géostratégique actuel, l'Europe Occidentale reste dépendante des trois grands pays producteurs : Russie, USA et Japon en particulier pour son industrie aéronautique commerciale qui se retrouve, elle aussi, en situation de devenir leader sur son marché. Les perspectives de croissance sur ce secteur d'activité sont portées par le développement des pays de la zone asiatique, en particulier la Chine, et le renouvellement des flottes des pays développés. Les perspectives à moyen (5 ans) et long terme (10 ans) conduisent à prévoir un maintien à environ 40% de la part de ce secteur dans la consommation mondiale de titane, elle-même en croissance.

Les grands marchés de production en flux tendu, comme l'aéronautique, ont des difficultés à sécuriser leurs sources d'approvisionnement. La stratégie de contractualisation long terme fixant des volumes annuels d'achat avec option de révision sur les prix, coûte cher au client en période de récession, mais reste la seule garantie de disposer de la matière en temps voulu. En effet, le cycle de production de cette filière est particulièrement long et ajoute à l'inélasticité de l'offre par rapport à la demande. Le développement des marchés industriels du type chimie, dessalement, off-shore, architecture ne jouent pas en la faveur du secteur aéronautique car, pour ces marchés les besoins en matière sont prévisibles exactement. Ils opèrent donc par contrat de fourniture à prix et volume fixé, au coup par coup, ce qui rend la relation client-fournisseur plus équilibrée. En conséquence, le secteur aéronautique devra poursuivre une politique de diversification des sources d'approvisionnement pour limiter la dépendance vis à vis de tel ou tel fournisseur.

A l'image de ce qui a déjà été fait aux USA, l'Europe devra organiser sa filière de recyclage du déchet de titane (scrap) afin de mieux exploiter cette ressource qui est massivement utilisée comme matière première dans les techniques de production actuelles.

Autre grand consommateur de scrap de titane, le marché du ferrotitane se trouve complètement dépendant des effets de pénurie dans les périodes de faible demande dans la filière titane. Les perspectives de structuration de la filière scrap ne présage pas de meilleures conditions d'approvisionnement pour l'avenir. Tant que les filières opportunistes de CEI, alimentées par les déchets des producteurs russes et ukrainiens, seront opérationnelles le marché international sera alimenté. Mais à moyen terme, aucune garantie n'est donnée de la survie de ces sources de production.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	67/104

DEUXIEME PARTIE: ETUDE DES SCENARII D'EVOLUTION DU MARCHE DU TITANE

CHAPITRE IV

IV SCENARIO D'EMERGENCE DE LA FILIERE FFC

Résumé : Si la faisabilité est démontrée à l'échelle industrielle, le procédé FFC pourrait remplacer avantageusement le procédé Kroll. Véritable saut technologique, le procédé offre des perspectives nombreuses tant au niveau des matériaux (éponges pré-alliées, poudres, nouveaux alliages etc.), qu'au niveau des outils de production (procédé propre, baisse des coûts de production, qualité des produits, nouveaux procédés de mise en œuvre etc.). Outre ce potentiel d'innovation, la baisse des prix des produits titane devrait bénéficier à tous les secteurs d'application traditionnels et aider au développement des marchés à effet de seuil en particulier : le dessalement, la chimie, l'off-shore, et l'architecture. Bien que l'invention soit européenne, ce sont les USA qui ont pris l'initiative d'engager en 2003 un programme d'évaluation du procédé FFC ayant pour objectif de doter le producteur américain Timet d'une unité pilote sur le sol américain. Dans une perspective de succès, l'Europe aurait pourtant une opportunité de se doter de sa propre capacité de production et améliorer les conditions d'approvisionnement de son industrie.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	68/104

Nous présentons dans ce chapitre un scénario où le procédé Kroll, utilisé aujourd'hui pour produire l'éponge de titane, est remplacé par un nouveau procédé récemment inventé en Angleterre : le procédé FFC. Nous allons expliquer en quoi ce procédé, véritable saut technologique, peut changer la filière titane et quelles sont les conséquences au niveau technique, économique et stratégique.

IV.1 UN PROCEDE REVOLUTIONNAIRE ?

Comme nous l'avons vu dans le chapitre d'introduction le principal⁹ procédé utilisé pour fabriquer l'éponge de titane est le procédé Kroll découvert en 1940. Son inventeur lui-même prédisait qu'un procédé électrolytique remplacerait son invention avant 15 ans avec un principe comparable à celui du procédé Hall-Heroult utilisé pour l'aluminium. En effet, de tels procédés pouvaient permettre d'envisager des processus continus, plus productifs que la production par container (batch), caractéristique du procédé Kroll. Il était également supposé qu'un nouveau procédé devrait nécessairement s'affranchir de l'étape intermédiaire de production du composé $TiCl_4$ afin d'espérer un baisse significative des coûts.

Le procédé FFC présente toutes les caractéristiques d'une rupture technologique car outre qu'il remplit les deux critères cités ci-dessus, il est en plus d'une remarquable simplicité de mise en œuvre, non polluant, et offre de nouvelles possibilités de production en particulier au niveau des alliages : éponge pré-alliées, obtention directe de poudre pure ou pré-alliée, nouveaux alliages, nouveaux procédés de mise en œuvre etc.

En cas de succès, les conséquences de l'émergence de cette nouvelle technique sont donc nombreuses, techniquement et économiquement, c'est pourquoi les inventeurs de Cambridge ont cherché très tôt le soutien de partenaires financiers pour promouvoir leur découverte.

IV.2 PRINCIPE DU PROCEDE FFC-CAMBRIDGE

D. Fray, G. Z. Chen et T. Farthing de l'Université de Cambridge en Angleterre ont inventé en 1997 un nouveau procédé d'extraction du titane métal par réduction électrolytique³⁵. Dans ce procédé, le matériau de départ est une poudre de TiO_2 . Celle-ci 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. Le schéma de principe est donné dans les figures suivantes :

⁹ autre procédé utilisé: le procédé Hunter. Par ailleurs, les producteurs d'éponge russes, kazakh et ukrainien utilisent une technique proche du procédé Kroll : la chloration en bains de sels.

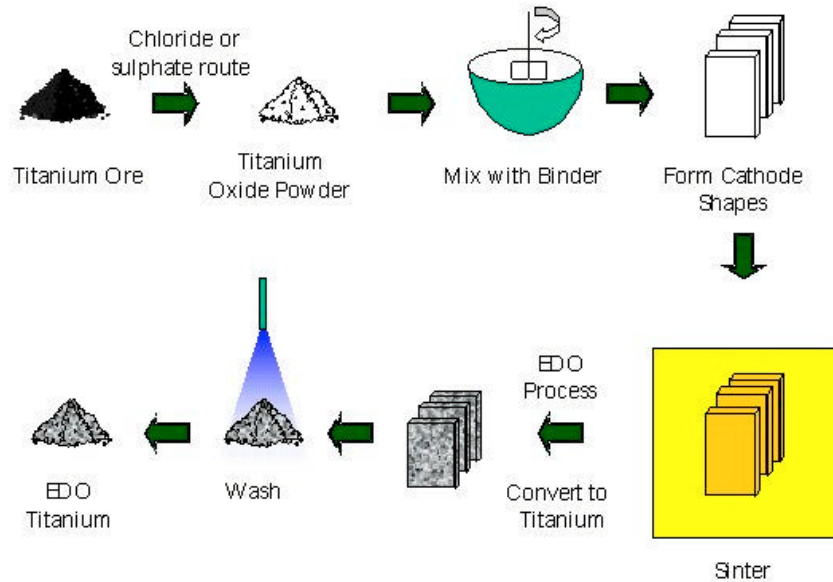


Figure 27: Étapes du procédé FFC Cambridge (d'après QinetiQ)

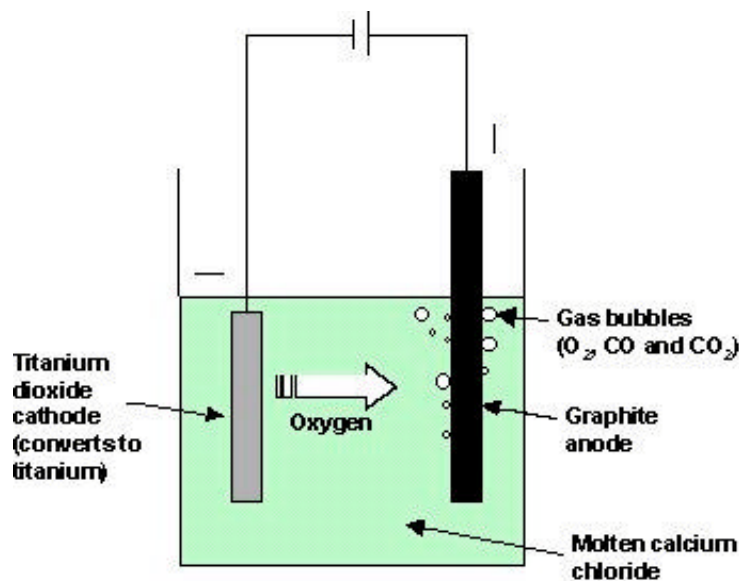


Figure 28: Principe de réduction électrochimique (d'après QinetiQ)

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.

Des analyses menées sur de l'éponge fabriquée avec l'unité de production située dans les laboratoires de QinetiQ (branche privatisée de l'ex-DERA au Royaume-Uni) ont montré que cette unité pilote était capable de produire du métal avec un taux d'oxygène inférieur à 600 ppm (0.06%) pour une production de 1 kilogramme (la norme ASTM B299-

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	70/104

94³⁶ requière un taux d'oxygène maximum de 800 ppm pour de l'éponge obtenue par la voie électrolytique). Certains articles font même état de teneurs en oxygène inférieures à 60 ppm (0.006%).

IV.3 LES SPECIFICITES DU PROCEDE FFC

Pourquoi le titane métal peut-il être produit à partir de l'oxyde ?

Pourquoi le métal est-il stable contrairement à celui obtenu par dissolution de sel?

La réponse est donnée par la chimie de l'état solide³⁷. Tout d'abord, l'oxyde de titane est un isolant, ce qui laisse supposer que la réaction ne pourra pas démarrer puisque les électrons ne seront pas conduits à l'interface oxyde/electrolyte. En réalité, il est connu que l'oxyde peut facilement devenir non-stœchiométrie (léger changement de la proportion : 1 atome de titane pour 2 atomes d'oxygène) ce qui se traduit par le changement de couleur du blanc au noir. Le départ d'une fraction d'oxygène permet la formation de phase Magnelli hautement conductrice. Ainsi lorsque l'on place une galette de TiO₂ dans un récipient contenant du CaCl₂ et que l'on applique une différence de potentiel entre la galette et une anode de graphite, on constate que le courant augmente rapidement jusqu'à une valeur donnée puis décroît lentement jusqu'à une valeur stable.

Des calculs menés par le professeur Fray montrent que le courant mesuré correspond à la quantité de charge électrique nécessaire à l'extraction de l'oxygène du TiO₂. Le processus est ainsi entretenu jusqu'à la réduction complète de l'oxyde.

Le mécanisme par lequel le processus de réduction s'opère est ainsi décrit par le professeur Fray : Le TiO₂ qui est constitué de fines particules de 0,25 µm est rapidement saturé en sel lorsqu'il est plongé dans l'électrolyte. Quand le potentiel électrique est appliqué, le processus de réduction chimique est initié immédiatement et toutes les particules de TiO₂ deviennent électriquement conductrices. Ainsi c'est l'ensemble de la galette d'oxyde qui devient l'électrode et chaque particule est individuellement réduite chimiquement³⁸.

Un résultat surprenant constaté expérimentalement est l'augmentation de taille des particules de titane pendant le processus (de moins de 1µm, elles grossissent jusqu'à plus de 10 µm au bout de quelques heures). Par ailleurs, contrairement aux autres techniques électrolytiques, le procédé FFC-Cambridge donne du titane métal sous forme nodulaire (sphérique irrégulière). De plus, lorsque la galette de titane est sortie du bain électrolytique, les sels cristallisent immédiatement à la surface évitant ainsi une oxydation du titane. Ce sel est ensuite retiré par rinçage.

La figure ci-dessous donne un aperçu de la microstructure de l'éponge FFC :

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	71/104

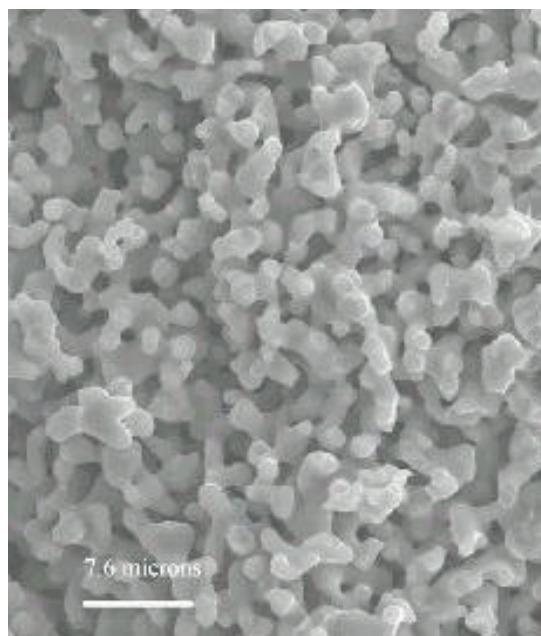


Figure 29: Image de la microstructure de l'éponge FFC au microscope électronique à balayage

IV.4 AUTRES NOUVEAUX PROCÉDES D'EXTRACTION

La raison pour laquelle les nombreuses tentatives de remplacement du procédé Kroll ont toutes échoué est que la plupart des méthodes adoptées par les scientifiques ont consisté à chercher à obtenir le titane métal en dissolvant un sel de titane (chlorure de titane par exemple) dans le bain électrolytique (du CaCl_2 par exemple). Se faisant, le titane se trouve à l'état ionique et mobile dans le bain. Le courant électrique appliqué entre les deux électrodes favorise la réduction des ions titane qui forment le titane métal sur la cathode, tandis que le chlore dégage au niveau de l'anode.

Malheureusement, la réduction du métal se produit sous la forme d'une fine poudre à structure dendritique (petits cristaux en arborescence ramifiée) hautement oxydable. Ainsi le métal n'est pas stable dans sa forme réduite. Notons toutefois que, pour autant, le procédé permet pour le moins d'obtenir une forme pure de TiO_2 ce qui peut être intéressant pour le procédé FFC-Cambridge.

De plus, le titane sous sa forme ionique peut présenter deux états de valence : Ti^{2+} et Ti^{4+} . Le sel de titane décomposé dans l'état Ti^{4+} au niveau de l'anode n'est réduit que partiellement à l'état Ti^{2+} au niveau de la cathode. Les partisans de ce procédé comme Ginatta et Orsello^{39, 40} n'ont pas réussi jusqu'à présent à mettre au point une membrane qui permettrait de séparer les deux états ioniques avec un rendement suffisant. Il existe cependant aujourd'hui une unité pilote produisant des lingots cylindriques de 130 mm de diamètre et prochainement des lingots rectangulaires (slab) de 1000x4000x500 mm.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	72/104

D'autres techniques candidates au remplacement du procédé Kroll sont régulièrement présentées dans des congrès spécialisés. Parmi celles-ci, nous citerons :

- le procédé Solid Oxide Membrane (SOM)⁴¹ : ce procédé électrolytique de réduction d'oxyde développée par le Prof. U. Pal de l'Université de Boston a été utilisé pour réduire du Magnésium du Silicium et des alliages Fe-Si, et est proposé pour réduire du titane. La principale originalité du procédé est d'utiliser une membrane dans le bain électrolytique qui a pour fonction de séparer l'oxygène du titane réduit et éviter ainsi le travers du procédé Ginatta. Aucune information n'est disponible à ce jour sur le potentiel réel de cette technique ;
- le procédé de réduction électrolytique du Prof. D. Sadoway du MIT⁴² utilise un bain de BaO pour réduire le TiO₂. Sur le principe, Sadoway exploite le changement de conductivité du bain de semi-conducteur à ionique pour de forte concentration du solvant. Compte tenu de l'avancement actuel des travaux, il est difficile d'estimer le potentiel de cette technique ;
- le procédé OS développé récemment par R. O. Suzuki et K. Ono de l'Université de Kyoto est un principe électrolytique qui se veut concurrent du procédé FFC⁴³. Il est basé sur la réduction calciothermique de TiO₂ dans un bain de CaCl₂ fondu. Peu d'information est disponible sur ce nouveau procédé présenté pour la première fois en octobre 2002. Comme l'illustre le schéma suivant, le principe consiste en un échange d'ion oxygène entre le TiO₂ et le CaO, le titane jouant le rôle de cathode dans le circuit électrochimique ;

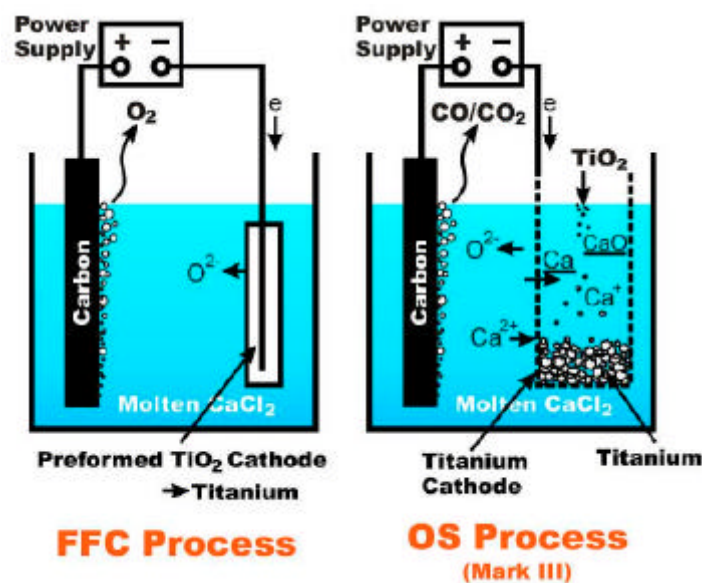


Figure 30: Principe du procédé OS comparé à celui du procédé FFC

- le procédé Armstrong ou « International Titanium Powder Process »⁴⁴ (ITP) qui reprend le principe du procédé Hunter de production de titane par réduction de

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	73/104

TiCl₄ avec du sodium mais en apportant une amélioration sur le mode de production. Par principe ce procédé produit de la poudre et non de l'éponge ; il est donc plus particulièrement intéressant pour les applications de pièces frittées. Les inventeurs de ITP trouvent dans ce mode quasi continu un avantage économique par rapport au mode de production par container (batch) du procédé Hunter. La démonstration de production de poudre de titane a été faite, le projet est maintenant en phase de développement pré-industriel. Reste toutefois des zones d'ombre en particulier sur la capacité de recyclage des agents de réaction et, par ailleurs, sur les réels gains sur les coûts de production. D'après l'étude du cabinet de consultant EHK Technologies⁴⁵, une étude de l'agence américaine Camano Associate⁴⁶ commanditée par la « Northwest Alliance for Transportation Technologies » conclue que le scénario le plus probable mènerait à un prix de la poudre de titane proche du prix actuel de l'éponge à savoir de l'ordre de \$3.54/lb ou à des niveaux de prix de l'ordre de \$2.15/lb pour un scénario plus optimiste incluant des recyclages des composés chimiques. Toutefois dans la perspective d'application purement métallurgie des poudres, le procédé ITP permettrait, comme le procédé FFC, un gain important sur le prix des poudres de titane puisque celui-ci se situe dans une fourchette de prix pouvant atteindre les \$40 à \$80/kg.

IV.5 CONTEXTE INDUSTRIEL DU PROCEDE FFC

L'invention de Fray, Farthing et Chen a été breveté par l'Université de Cambridge dont les droits sont gérés par un service spécialisé de valorisation des travaux de recherche le « Cambridge University Technical Services » (CUTS).

Les inventeurs ont cherché le soutien de la DERA, organisme sous tutelle du Ministère de la Défense anglais chargé des recherches pour les applications militaires. C'est ainsi que les premiers travaux de développement ont été menés et qu'une licence a été accordée à la DERA sur les droits du brevet.

Un consortium de financiers s'est constitué en société, la British Titanium (BTi), et a obtenu une sous-licence exclusive mondiale de la DERA pour exploiter commercialement l'invention. La situation a évolué en conflit d'intérêts entre les différents partenaires lorsque la DERA a été partiellement privatisée et que sa branche « industrielle » nommée QinetiQ s'est retrouvée propriétaire de la licence mais empêchée de développer son activité à cause des accords signés avec BTi.

Début 2003, QinetiQ a obtenu de BTi une licence de production à but commercial lui donnant droit de produire et de vendre des poudres de titane par le procédé FFC. La figure ci-dessous résume la situation entre les partenaires.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	74/104

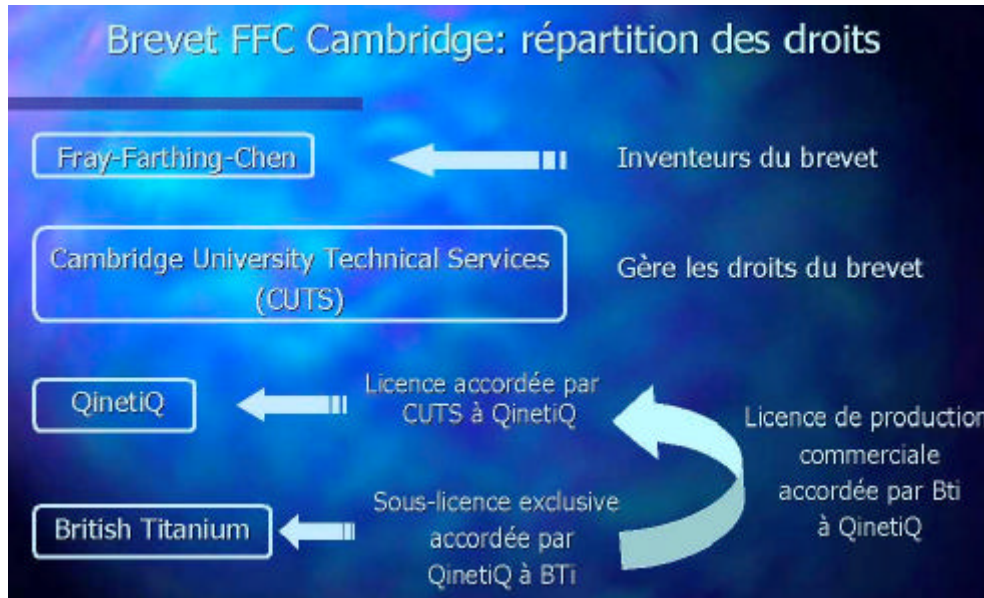


Figure 31: Répartition des droits d'exploitation du brevet FFC

IV.6 LES ATOUTS DU PROCEDE FFC

Comme nous l'avons vu au chapitre I, le procédé Kroll est un procédé coûteux en énergie, long, polluant, dangereux et d'un rendement faible. Le nouveau procédé FFC présente des avantages que nous présentons ci-dessous.

IV.6.1 Les produits de réaction

Tout d'abord, le bain de sel CaCl_2 utilisé dans le processus électrochimique est bon marché et recyclé après réaction. Le procédé est donc peu polluant, les produits indésirables induits se limitent aux dégagements gazeux au niveau de l'anode de graphite (O_2 , CO , CO_2).

La matière première utilisée au niveau de la cathode est du TiO_2 . Il s'agit donc d'un produit largement utilisé dans l'industrie du pigment pour les papiers et les peintures. A l'heure actuelle, le volume de TiO_2 consommé pour la production de titane est d'environ 120 000 tonnes ce qui représente entre 2 et 3% de la production mondiale annuelle de TiO_2 ^r. Il n'existe donc pas de problème particulier d'approvisionnement et les prix sont stables. Toutefois, il reste quelques zones d'ombre sur le niveau de qualité requis pour cette matière première en fonction des applications envisagées. En effet, les autres éléments présents dans la cathode se retrouveront également réduits en fin de réaction et il en résultera des impuretés dans le titane métal obtenu. Plus le matériau est raffiné, plus son coût augmente.

^r Consommation pour l'année 2000 d'après l'étude Roskill: environ 116 000 tonnes soit 2,5% de la production annuelle de TiO_2

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	75/104

IV.6.2 Processus de production

Le cycle de production du procédé FFC est très court. Il est typiquement de l'ordre de 24 à 48 heures alors que celui du procédé Kroll est d'environ 7 jours. Ce gain sur les durées de réaction permet d'augmenter la productivité des installations en augmentant les rotations et donc, in fine, de baisser les coûts de production.

Au niveau du processus lui-même, le procédé FFC s'adapte bien à une configuration en petites unités intégrées à des chaînes de production fonctionnant sur un mode quasi continu. Sur le principe, ce mode présente un grand intérêt par rapport au processus de production par « batch » du procédé Kroll car les flux de production peuvent être plus réguliers et mieux s'adapter à la demande.

IV.6.3 Éponges pré-alliées

Un des grands atouts du procédé FFC réside dans la possibilité de fabriquer l'alliage directement au niveau de l'éponge. En effet le principe de réduction de l'oxyde s'applique aussi bien au titane qu'aux autres métaux de telle sorte que l'on peut envisager de réduire un mélange de différents oxydes de métal et obtenir un alliage pour autant que les cinétiques de réduction soient compatibles. Ainsi, à partir d'un mélange judicieux d'oxydes de titane, de vanadium et d'aluminium, les inventeurs ont pu fabriquer pour la première fois au monde une éponge pré alliée ayant la composition de l'alliage TA6V. Seul le procédé FFC présente cette possibilité de fabrication d'alliage dès l'étape de l'éponge.

Nous présentons ci-dessous le schéma de principe de la production d'éponge pré-alliée, exploitée soit sous la forme de lingot (voie 1) soit sous la forme de produit plat directement laminé ou forgé.

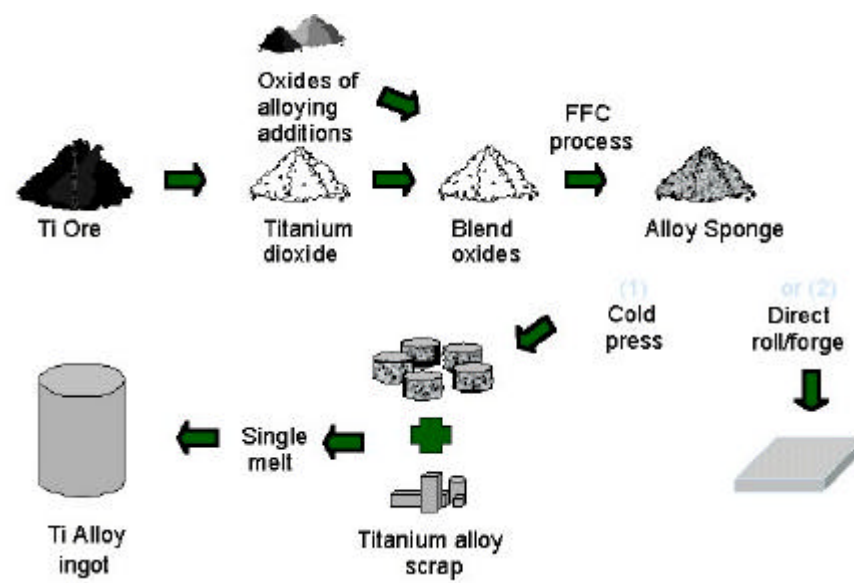


Figure 32: Production d'éponge pré-alliée par le procédé FFC (Source: QinetiQ)

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	76/104

Une image d'éponge pré-alliée est donnée dans la figure ci-dessous.

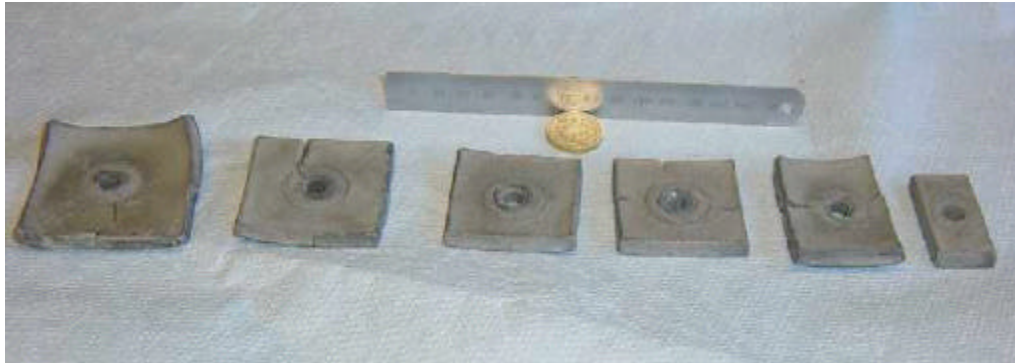


Figure 33: Éponge FFC pré-alliée après réduction (source QinetiQ)

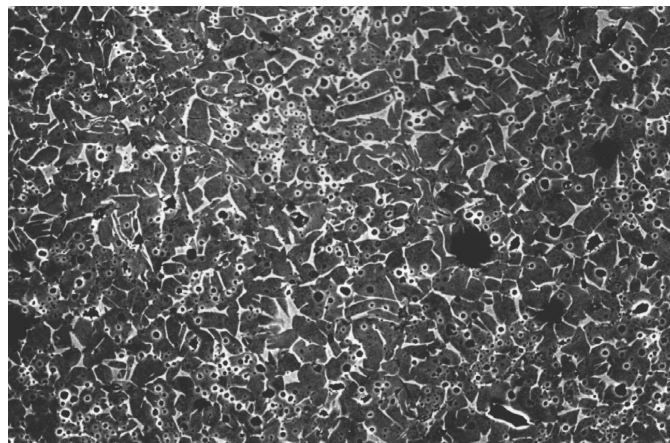


Figure 34: Exemple de microstructure d'éponge FFC (source QinetiQ)

Cette nouvelle capacité de fabrication ouvre des perspectives très importantes pour toute la filière titane sans que l'on puisse, dans l'état actuel des développements, évaluer l'impact sur les applications.

IV.6.4 Production directe de poudre de titane

Contrairement aux autres travaux menés antérieurement sur les techniques de réduction par voie électrolytique, le procédé FFC donne au métal transformé une forme de grains nodulaires légèrement frittés entre eux. Ce frittage procure une certaine tenue mécanique à l'électrode transformée, ce qui facilite sa manipulation, mais il est également suffisamment ténu pour permettre d'obtenir directement de la poudre de titane par broyage mécanique. Comme pour l'éponge, il y a la possibilité de produire de la poudre de titane pur par réduction de TiO_2 ou des poudres alliées si l'électrode est constituée d'un mélange d'oxydes.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	77/104

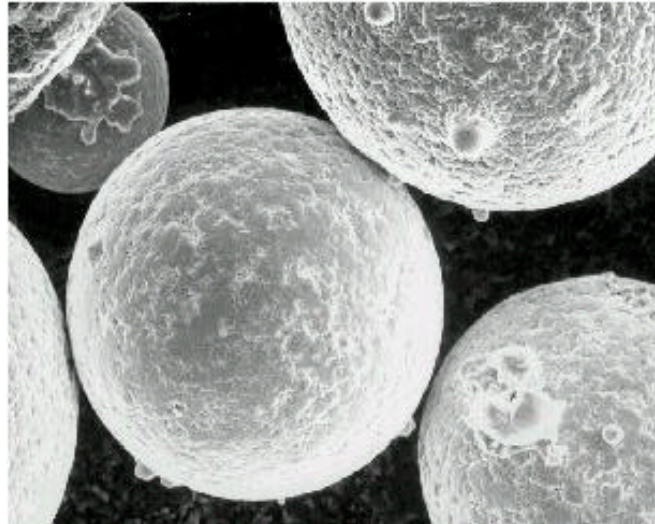


Figure 35: Grains de poudre de titane obtenus par le procédé FFC (source: QinetiQ)

Le gain obtenu en terme de coût et de temps de production par rapport aux procédés actuels est si important que QinetiQ a décidé de développer ce secteur en priorité. D'après les premières estimations faites par les inventeurs le prix des poudres pourrait être divisé par un coefficient 6 à 10 (voir chapitre suivant).

IV.6.5 Qualité des produits

Comme nous l'avons vu dans le chapitre décrivant les approches « bas coût », les principaux enjeux en terme de qualité des produits sont liés à la présence d'inclusions d'une part, et à des problèmes d'hétérogénéité de composition dans les lingots d'autre part.

Le procédé FFC présente l'avantage d'éviter l'apparition de ces deux phénomènes :

- suppression du risque de ségrégation grâce au fait que la composition chimique de l'alliage obtenue directement au niveau de l'éponge. La fusion de celle-ci conduit à un bain liquide très homogène tout au long du processus, y compris par la technique de fusion par zone de type VAR
- suppression du risque de formation de la phase alpha (HAI) grâce à des teneurs très limitées en azote qui est la cause de la formation de ces phases indésirables (5 à 20 ppm pour FFC contre 200 ppm pour Kroll).

En revanche, comme tout nouveau produit issu d'une technologie innovante, les éponges et les poudres FFC devront faire l'objet de travaux de normalisation pour définir un nouveau standard de qualité à l'image de ce qui a été fait pour l'éponge Kroll.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	78/104

IV.6.6 Nouveaux matériaux

Le procédé FFC ouvre un nouveau champ de possibilité pour la fabrication de matériaux. Nous citons ci-dessous quelques exemples d'axes de développement :

- Développements de nouvelles formulations d'alliages métalliques et de composés intermétalliques
- Développement d'alliages à mémoire de forme et de supraconducteurs
- Fabrication de composés de type ferrotitane directement à partir de minerais
- Combinaison du procédé FFC avec des techniques de mise en œuvre innovantes comme le prototypage rapide

IV.7 IMPACT DU PROCEDE FFC SUR LA FILIERE TITANE

Nous présentons dans cette section les conséquences de l'émergence du procédé FFC sur la filière titane.

IV.7.1 Conséquence sur le prix de l'éponge

Le prix de l'éponge issue du procédé FFC reste à l'heure actuelle une grande inconnue. Les chiffres annoncés par QinetiQ et British Titanium laissent envisager une réduction du prix de l'éponge de l'ordre de 50% ce qui correspond à environ 4 à 4,5 €/kg. Mais, comme nous l'avons déjà expliqué précédemment, la pureté de l'éponge obtenue dépend directement de la pureté de l'oxyde TiO₂ utilisé. Le rapport du cabinet américain EHK Technologies⁴⁷, sur la base des résultats préliminaire de l'étude Camano Associate citée précédemment, estime que les premiers éléments de l'analyse mèneraient à la conclusion que le prix de l'éponge FFC serait du même ordre de grandeur que celui de l'éponge Kroll, en partie à cause du prix du minerai. Steven Gerdemann dans son article³⁵ indique que l'utilisation du rutile comme matière première (\$0.48/lb, soit environ 1€/kilo) laisse penser que l'on pourra théoriquement produire un titane avec un coût significativement inférieur au procédé actuel, sans pour autant quantifier ce gain. Les derniers éléments fournis par QinetiQ au mois d'avril 2003 vont dans le sens de ces affirmations en particulier sur le coût de la matière TiO₂.

Notre point de vue est que, de toute évidence, le nouveau procédé est plus simple à mettre en œuvre et nécessite moins de ressources pour une productivité plus grande. L'hypothèse de gain sur les coûts de production paraît donc justifiée. La véritable inconnue est en réalité sur le prix de commercialisation de l'éponge qui sera déterminé par la politique commerciale de la société British Titanium, détentrice de la sous-licence exclusive mondiale du brevet, et par le jeu de la concurrence avec l'éponge de la filière Kroll.

IV.7.2 Conséquence pour les applications « poudre »

Les applications « poudre » seront les premiers développements menés en Europe par QinetiQ car c'est sur ce segment d'application du procédé que le gain en coût de production est le plus important en comparaison des procédés actuels. Nous présentons dans la figure ci-dessous les informations sur le marché actuel avec les volumes de consommation et les prix des poudres par application ainsi que les perspectives de marché envisagées par QinetiQ avec les niveaux de prix à atteindre pour ces marchés.

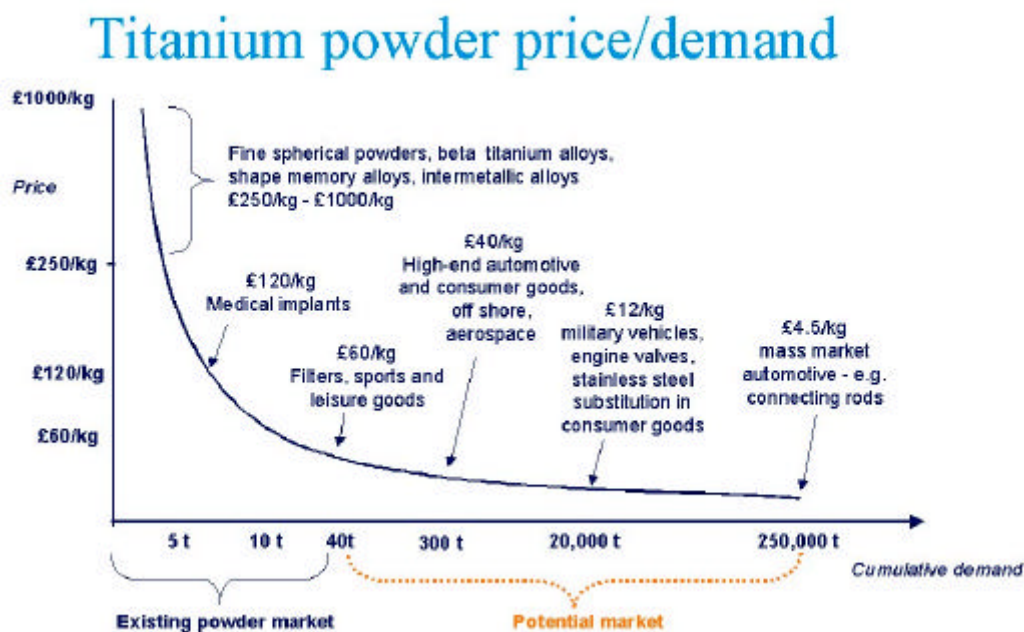


Figure 36: Impact du procédé FFC sur le marché des poudres de titane (source QinetiQ)

Comparé à d'autres matériaux, le volume d'application des poudres de titane est relativement modeste alors que, en théorie, on pourrait s'attendre au contraire à un développement important. En effet, les techniques de métallurgie des poudres (MP) permettent de réaliser des économies conséquentes (plus de 50%) en matière grâce à la réalisation de pièces proches des cotes finies (« net-near-shapes »). Un des problèmes majeurs qui se pose pour le titane est sa grande réactivité à l'oxygène qui rendent difficile la production de poudre par les techniques classiques. Les techniques alternatives^s sont complexes à mettre en œuvre et à rendement faible ce qui se traduit par des coûts de production élevés. En comparaison, le procédé FFC permet de produire directement la poudre à partir de l'éponge grâce à la forme particulière des grains (voir illustration ci-dessous).

^s à partir de l'éponge: rotating electron process (REP), plasma rotating electrode process (PREP), atomisation sous gaz, Pulvérisation sous vide (PVD), colt-titanium process (C-T). Signalons également le nouveau procédé de la société Solea qui produit de la poudre à partir de scrap de titane.

<p align="center">Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010</p>	<p align="center">Page</p>
<p align="center">Document de synthèse – Édition : Décembre 2003</p>	<p align="center">80/104</p>

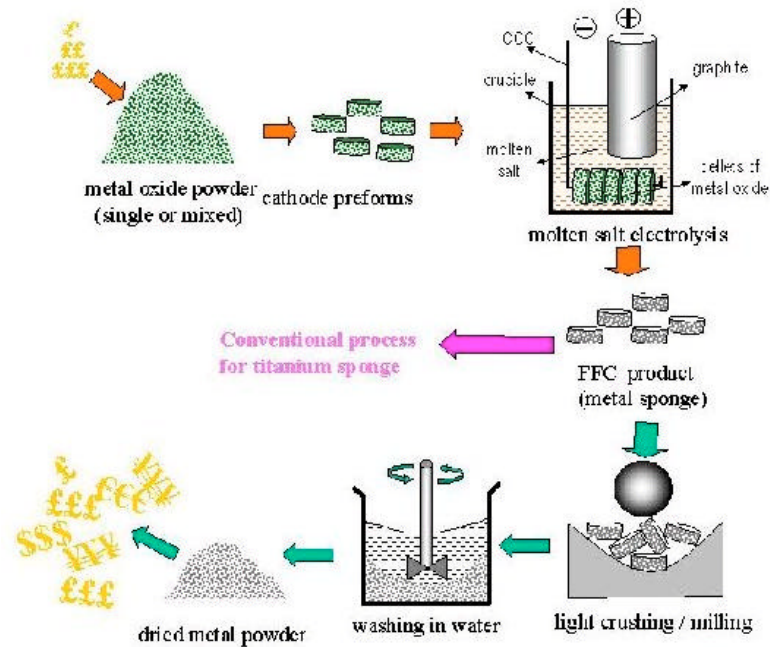


Figure 37: Production de poudre de titane par le procédé FFC (source: QinetiQ)

IV.7.3 Conséquence pour les procédés de fusion

L'émergence du procédé FFC peut avoir, selon notre analyse, un impact sur les outils de production de la filière actuelle. En effet, l'hypothèse d'une éponge obtenue à moindre coût pose la question de l'intérêt d'utiliser le scrap comme matière première dans la mesure où le prix du scrap de qualité pourrait avoisiner celui de l'éponge FFC. Une conséquence directe est que parmi les différents procédés de fusion utilisés, ceux développés spécifiquement pour valoriser le scrap de titane (les procédés à foyer froid EB et PAM) voient leurs fondements remis en cause. En effet, bien qu'étant présentés comme des procédés « bas coût » car utilisant du scrap, leur mise en œuvre est plus onéreuse que le traditionnel procédé VAR.

IV.7.3.1 Procédé VAR

Compte tenu du fait que le procédé VAR est le moins onéreux des procédés de fusion, il serait a priori le plus intéressant pour la fusion d'éponge FFC. Le problème de ségrégation étant écarté, la gamme pourrait se réduire à une simple fusion. Par ailleurs, les coûts de préparation d'électrode de fusion pourraient être minimisés en adoptant des géométries pertinentes d'électrode de production d'éponge.

In fine, des matériaux obtenus par simple fusion VAR à partir d'éponge FFC pourraient, en théorie, remplacer des matériaux issus de fusion triple VAR, à niveau de qualité d'éponge équivalent. Ce type de préparation pourrait s'adapter, par exemple, à la production

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	81/104

de demi-produits longs et demi-produits plats au bénéfice des marchés aéronautiques de qualité PQ.

IV.7.3.2 Procédés à foyer froid EB et PAM

Les procédés à foyer froid EB et PAM perdent de leur avantage dans la compétition avec le VAR car les hypothèses de prix sur les matières premières conduisent à une réduction de l'écart entre les deux matériaux. Si les hypothèses de ce scénario se confirment, les procédés à foyer froid devraient être de moins en moins utilisés pour des raisons de rentabilité économique.

Rappelons qu'à l'heure actuelle 43% de la production américaine de lingot sont issus de ces technologies. A condition que le prix du scrap reste inférieur au prix de l'éponge FFC, seul du titane de qualité standard pourrait être encore fabriqué par ces procédés.

IV.7.3.3 Procédé par induction (ISM)

Le procédé par induction présente toutes les caractéristiques d'une technologie optimisée pour la production de masse, en particulier dans des chaînes de production orientées produit. Acceptant toutes les qualités de matière première, scrap ou éponge, ce procédé est également adapté à la production de lingot ou au recyclage du scrap.

IV.7.4 Conséquences pour les marchés (effet volume)

Pour étudier les conséquences de l'émergence de l'éponge FFC sur les marchés d'application du titane, nous reprendrons l'analyse en facteur principal d'influence faite dans le scénario précédent (voir le figure suivante).



Figure 38: Facteurs principaux régissant le choix du titane pour une application donnée

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	82/104

Comme nous l'avons déjà commenté, notre analyse conduit à considérer que certains marchés sont sensibles à un effet de seuil sur les prix. C'est sur ces marchés que l'émergence de l'éponge FFC a potentiellement un impact sur les volumes de consommation.

L'impact devrait être relativement limité pour les applications ne nécessitant pas de grandes qualités matière du type armement terrestre (blindage, structure de véhicule) car le prix seuil est déjà atteint par les filières EB ou ISM^t utilisant massivement du scrap.

Concernant le secteur naval, l'impact est également limité car le prix seuil est encore trop éloigné. Par ailleurs, comme nous l'avons discuté précédemment, le développement du marché nécessite des avancées sur les plans technologiques et réglementaires pour permettre l'utilisation de ce matériau.

Pour des secteurs utilisant des produits en T40 comme le dessalement, la chimie, l'off-shore ou l'architecture, la baisse des prix conséquente à l'émergence de l'éponge FFC pourrait avoir également pour effet une augmentation de la consommation. L'effet sur le marché de l'énergie devrait être plus limité car les prix seraient encore trop élevés.

IV.7.5 Effets induits sur le scrap et sur la filière ferrotitane

Il est assez difficile de prévoir les conséquences de l'émergence de la filière FFC sur la disponibilité du scrap et sur l'évolution de son prix.

Selon notre perception du marché, l'augmentation globale de l'offre d'éponge de titane (en production et en nombre de producteur) ne peut avoir qu'un effet bénéfique sur la disponibilité en scrap mais cela suppose une meilleure gestion des produits par qualités et origines compatibles.

Une perspective intéressante pour la filière ferrotitane serait la production directe de matière à partir de minerais judicieusement sélectionnés par rapport aux qualités de FeTi souhaitées. Ce point mériterait d'être étudié à l'avenir car il pourrait initier une filière « native » de ferrotitane qui permettrait de se s'affranchir du problème de dépendance par rapport à la filière titane.

En théorie, les filières Kroll et FFC peuvent cohabiter selon le schéma donné ci-dessous.

^t Pour la fusion ISM, la démonstration d'un niveau de qualité suffisant n'a pas encore été faite.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	83/104

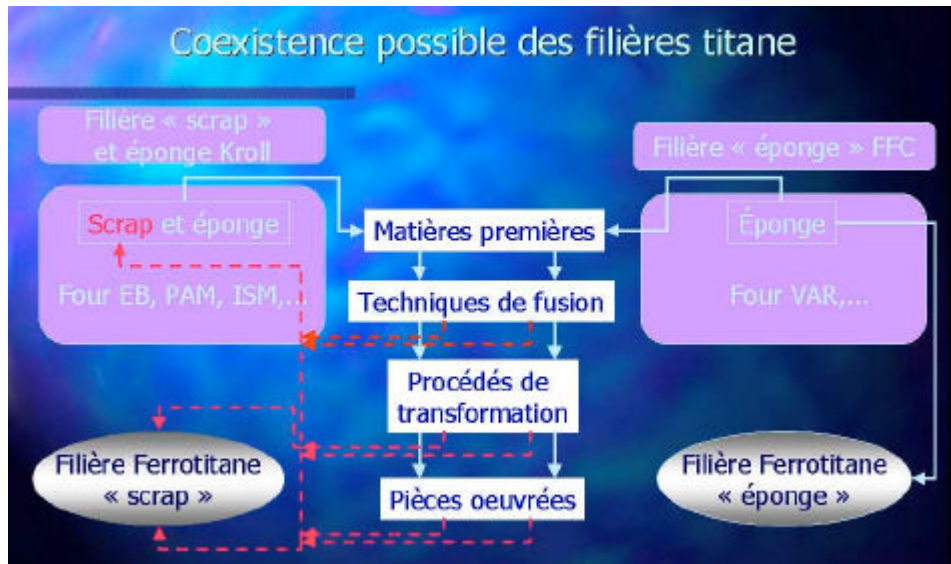


Figure 39: Coexistence des filières Kroll et FFC

IV.8 PROJETS DE DEVELOPPEMENT DU PROCEDE FFC

Comme nous l'avons présenté dans le chapitre « Contexte industriel du procédé FFC », les deux entités anglaises QinetiQ et British Titanium ont des intérêts économiques à développer le procédé FFC.

A l'heure actuelle, QinetiQ est le seul à posséder une capacité en fonds propres pour développer le procédé. Voici un état du planning prévisionnel du programme tel qu'il a été présenté courant 2002 :

- 1999-2002 : 2 unités de 1kg à QinetiQ et 1 unité de 5 kg à l'Université de Cambridge ;
- 2002-2004 : 4 unités de 50 kg « unité pilote » (au R.-U.) ;
- 2004-2006 : Démonstration à l'échelle industrielle ;
- 2006-2010 : Unité de production industrielle de capacité comprise entre 5000 et 10 000 tonnes/an.

Après renégociation avec British Titanium, QinetiQ a obtenu en février 2003 le droit d'exploitation commerciale du brevet pour l'application « poudre » et envisage le début de la production industrielle courant 2004.

La société British Titanium a, de son côté, annoncé l'attribution par l'US Office of Naval Research (ONR) d'une aide de \$1,5 M pour le développement du procédé FFC pour la production de titane pour application navale. Le projet est programmé sur 3 années de 2002 à 2005.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	84/104

Le budget le plus important attribué pour soutenir le procédé FFC vient de la DARPA, organisme de financement américain des études amonts de Défense. Cet organisme a lancé un appel à candidature en juin 2002 intitulé « DARPA Initiative in Titanium ». Sur plus d'une dizaine de projets présentés, c'est le procédé FFC qui a reçu le principal financement (\$12.3M) alors que des subventions annexes semblent avoir été attribuées à quelques autres projets. Le consortium titulaire du financement principal est piloté par le producteur américain Timet et compte parmi ses membres la société British Titanium et l'Université de Cambridge. QinetiQ n'en fait pas partie.

Le projet a pour objectif d'établir sur sol américain une nouvelle capacité de production de titane à faible coût, en grande production et respectueux de l'environnement. Cet objectif doit servir l'ambition d'utiliser massivement le titane dans l'industrie américaine. L'emphase est mise sur le développement de nouveaux alliages impossibles à produire avec les technologies actuelles.

Le programme prévisionnel est le suivant :

- Phase 1 (18 mois) : mise au point du procédé de production d'éponge d'alliage de titane. La cadence de production doit être au moins de 25 kg/jour avec des exigences de teneur en O₂ inférieure à 300 ppm, une microstructure uniforme, pas de ségrégation d'éléments, et la capacité de réalisation d'un lingot primaire sans fusion ;
- Phase 2 (24 mois) : augmentation de la cadence de production à 225 kg/jour par optimisation du procédé. Le prix de l'éponge de titane pur devra être de \$8.8/kg maximum, et le consortium devra avoir démontré la capacité de produire un lingot d'alliage de titane sans fusion ;
- Phase 3 (12 mois) : mise en service d'une unité pilote de production d'éponge pré-alliée et de produits finis sans fusion.

Le projet doit démarrer en 2003 pour une durée de 4½ ans. Il semblerait que les événements en Irak aient retardé le lancement de quelques mois.

Du côté européen, une manifestation d'intérêt intitulé EUROTIT a été soumise à la Commission Européenne en juin 2002 pour un projet de 4 ans visant à développer une filière FFC en Europe. Ce projet n'a pour l'instant pas été reconnu comme prioritaire dans le cadre du 1^{er} appel d'offre du 6^{ième} programme cadre de la Commission. Un tel projet pourrait permettre à l'Europe de se donner les moyens d'une vraie source d'approvisionnement de titane indépendante.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	85/104

IV.9 EXTRAPOLATION SUR LE DEROULEMENT DU SCENARIO

Nous présentons dans ce chapitre le déroulement possible du scénario d'émergence de la nouvelle filière issue du procédé FFC.

Compte tenu de l'état actuel des prévisions de programmes cités précédemment, nous estimons que les premiers sites de production verront le jour en 2008-2010 aux USA et au Royaume Uni. Les initiatives sur fonds propres de QinetiQ déboucheront peut-être sur des premières productions de poudres pré-alliées en 2006 sur des volumes relativement modestes (quelques tonnes/an). Si les résultats obtenus confirment l'intérêt de la technologie, alors des unités de production industrielle pourront probablement être pleinement exploitées 5 ans plus tard soit environ 2015.

Avant le premier jalon de 2008, nous retombons dans les hypothèses du premier scénario à savoir à court terme un recentrage du leadership sur la CEI et une baisse contrôlée du prix du titane dans le cadre d'une compétition commerciale avec les USA. Pour cette période, nous estimons que l'augmentation de la demande dans le secteur aéronautique, les applications militaires terrestres, le secteur industriel, et les besoins en équipement des pays en voie développement, auront pour conséquence une croissance globale du marché du titane.

Dans les hypothèses de ce scénario, nous envisageons vers 2008 une progression plus forte du marché du titane, conséquente à un nouveau contexte de compétition économique avec une présence plus marquée de la Chine en tant que fournisseur de titane et les premières perspectives d'arrivée sur le marché de l'éponge FFC. Ce contexte d'évolution de l'offre devrait aboutir à une pression sur les prix et des débouchés plus importants sur des marchés à effet de seuil.

A partir de 2015 où l'outil industriel du procédé FFC devrait être complètement opérationnel, les nouvelles applications rendues possibles par le procédé FFC (nouveaux matériaux, nouvelles techniques de mise en œuvre etc.) et la baisse globale du prix du titane devraient trouver un écho du côté de la demande, en particulier pour les marchés de masse à effet de seuil (automobile, naval).

Ces développements devront être précédés de travaux dans le domaine des recommandations et normes afin de définir les critères de qualité de la nouvelle éponge et les conditions d'utilisation dans tous les secteurs industriels.

Dans l'hypothèse de ce scénario, les atouts économiques et technologiques du procédé FFC justifieront une disparition progressive des sites de production Kroll aux USA puis au Japon. Compte tenu de l'investissement que représentent ces installations, des actions de lobbying des producteurs auprès de leurs gouvernements nationaux sont prévisibles afin de soutenir les prix de l'éponge Kroll face à l'éponge FFC, au moins pour les besoins intérieurs. La pression réglementaire dans ces pays devrait par ailleurs jouer un rôle non négligeable dans la disparition de ces industries considérées comme polluantes et dangereuses.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	86/104

La situation ne sera pas la même pour les sites de production Kroll en Europe de l'Est, et Chine. En effet, le niveau des coûts de production locaux et la faiblesse des contraintes réglementaires sur les industries polluantes nous laisse penser que les unités de production Kroll y survivront encore de longues années (au-delà de 2015). Ces pays n'auront donc pas d'intérêt direct à développer la technologie FFC pour laquelle ils seraient par ailleurs dans l'obligation de verser des royalties à la société British Titanium.

Après la démonstration de viabilité du procédé au niveau industriel obtenu dans le cadre des programmes de développement américains et, nous l'espérons, européen, on peut imaginer que les sites de production se multiplient avec des niveaux de capacité dimensionnés pour des besoins spécifiques d'industriels qui pourraient être des transformateurs (lamineurs, forgerons, fondeurs). L'apparition de sites de production en Europe occidentale serait en conséquence tout à fait possible en s'appuyant sur l'environnement industriel régional. Pour des raisons économiques et stratégiques, des unités de production utilisant le procédé FFC pourraient aussi voir le jour dans les pays producteurs de minerais de titane comme l'Afrique du Sud et l'Australie.

Enfin, cette multiplication de l'offre au niveau de l'éponge et des demi-produits devrait faciliter la diffusion du titane auprès des petits utilisateurs. Cette évolution serait alors accompagnée d'un développement des réseaux d'intermédiaires stockistes et distributeurs en particulier en Europe et aux USA.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	87/104

IV.10 SYNTHÈSE DU SCÉNARIO D'ÉMERGENCE DE LA FILIÈRE FFC

Le procédé FFC, inventé récemment par l'Université de Cambridge au Royaume Uni, ouvre de nouvelles perspectives pour le marché du titane. Le principe consiste en la réduction chimique d'oxyde de métal (en l'occurrence du titane) dans un bain de sel fondu. À l'issue de la réaction, la cathode est transformée en un agglomérat de nodules métalliques légèrement frittés les uns aux autres et ayant une apparence semblable à celle de l'éponge de titane issue du procédé Kroll. Les avantages du nouveau procédé sont nombreux :

- baisse des coûts de production grâce à l'utilisation de produits de réaction à faible coût et à des cycles de production courts et quasi continus ;
- procédé propre ;
- meilleur contrôle de la qualité avec suppression du risque de ségrégation et de formation de la phase alpha ;
- production de nouveaux matériaux jusqu'alors impossible à fabriquer. En particulier le procédé permet de fabriquer des éponge pré-alliées ce qui induit des innovations nombreuses dans les techniques de production et de mise en œuvre ;
- production directe de poudre de titane pur ou de poudre pré-alliée. Les gains sur les coûts de production et les nouvelles possibilités de mise en œuvre représentent un saut technologique considérable ;

Les conséquences de l'émergence du procédé FFC sont évidemment importantes tant au niveau technologique, qu'au niveau économique et géostratégique. Nous proposons ci-dessous une synthèse des points les plus marquants :

- l'utilisation d'éponge pré-alliée devrait permettre d'élaborer un lingot avec une seule fusion VAR sans risque de ségrégation. Les procédés EB et PAM, développés initialement pour baisser les coûts de production, sont a priori moins intéressants que le VAR car leur coût de mise en œuvre est plus élevé. Les USA sont les seuls concernés par ce renversement de tendance car une bonne partie de leur production (43%) est issue de ces procédés ;
- si le procédé FFC confirme sa viabilité, la baisse des coûts de production et les nouvelles possibilités techniques d'élaboration devraient aboutir à de nombreuses conséquences sur les applications du titane. Sur la base des estimations actuelles, les premiers marchés bénéficiaires seraient celui du secteur industriel (dessalement, chimie, off-shore) et les applications architecturales. Les autres secteurs bénéficieraient indirectement de la baisse du prix de l'éponge et, pour les secteurs les plus technologiques comme

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	88/104

l'aéronautique, des gains économiques obtenus grâce aux nouvelles techniques de mise en œuvre rendues possible par le procédé FFC;

- la pression réglementaire sur les industries polluantes dans les pays développés devrait accélérer la mise en service d'unités de production FFC en remplacement progressif des unités Kroll jugées trop polluantes. Les pays d'Europe de l'Est et de l'Asie hors Japon sont a priori beaucoup moins concernés car leurs réglementations sont moins contraignantes et leur coût de production leur permet de conserver des atouts concurrentiels. Ces pays n'ont donc, selon nous, pas d'intérêt immédiat à investir dans la technologie FFC;
- le nouveau procédé peut être mis en œuvre sur des sites de production adaptés aux besoins, même modestes. On peut ainsi imaginer des unités dont les capacités sont dimensionnées pour un site de production industrielle ayant des besoins récurrents comme l'aéronautique, le naval ou l'automobile. **En conséquence, l'Europe occidentale pourrait se voir doter de sa propre capacité de production et donc améliorer les conditions d'approvisionnement de son industrie ;**

Signalons que cette invention européenne est d'ores et déjà soutenue par les USA dans le cadre d'un programme de développement de \$12.3M ayant pour objectif d'implanter une première unité de production sur le sol américain en 2008. Le consortium industriel qui porte ce projet est piloté par l'actuel n°1 des producteurs américains TIMET.

En Europe, QinetiQ poursuit ses travaux de développement du procédé et compte commercialiser dès 2004 les premières poudres de titane FFC. **Le projet EUROTI qui avait pour ambition de mener un programme de développement du procédé avec un réseau industriel européen n'a pas été retenu lors du premier appel d'offre de la Commission Européenne en juin 2002. L'état actuel des connaissances sur ce nouveau procédé justifie que l'Europe se donne les moyens d'évaluer son potentiel et de sécuriser l'approvisionnement de cette matière stratégique.**

Concernant le circuit de recyclage du titane, l'augmentation globale de l'offre d'éponge ne peut avoir qu'un effet bénéfique sur la disponibilité en scrap mais cela suppose une meilleure gestion des déchets selon leur origine car celles-ci ne seront peut-être pas compatibles.

Un débouché intéressant du procédé FFC pourrait être la production directe de matière ferrotitane à partir de minerais réduit selon le même principe chimique que le titane métal. L'émergence de cette filière ferrotitane « native » permettrait de dissocier les filières titane et ferrotitane et régler de ce fait les tensions d'approvisionnement en scrap de titane.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	89/104

CONCLUSION

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	90/104

V CONCLUSION

La filière titane est en train de subir des transformations structurelles en raison d'une évolution importante tant du côté de l'offre que de celui de la demande.

Du côté de l'offre, l'évolution à court et moyen terme des rapports de force entre producteurs de titane devraient bénéficier aux opérateurs de CEI et en particulier au producteur russe VSMPO qui dispose de tous les atouts industriels et financiers pour devenir leader sur le marché international. Dans cette phase de changement du leadership, la compétition avec les opérateurs nord-américains dope la baisse des prix sur certains marchés concurrentiels mais cette baisse est limitée par le fait que **le prix du titane est basé sur les coûts de production des pays développés.**

Une seconde étape devrait marquer l'évolution de l'offre dans le contexte du scénario actuel, **c'est la montée en puissance du producteur de titane chinois Baoji.** En effet, ce producteur pourrait engager avec VSMPO une concurrence plus dure car basée cette fois sur des coûts de production faibles. Compte tenu des priorités sur le marché intérieur et de la capacité actuelle trop limitée de l'outil de production, les effets au niveau de l'offre internationale ne devraient être significatifs qu'à partir de 2010.

Du côté de la demande, le secteur de l'aéronautique voit le challenger européen Airbus en passe de devenir le leader mondial devant Boeing dans un contexte de perspective de croissance à moyen (5 ans) et long terme (10 ans) dopé par le renouvellement des flottes en service et l'augmentation des besoins dans les pays en voie de développement. Le secteur devrait conserver au moins 40% du marché mondial dans un contexte de croissance globale.

Le secteur en plus forte prévision de croissance pour les prochaines années sera celui des applications militaires aéronautiques et terrestres (blindages et structures de véhicules), surtout aux USA.

Les autres secteurs pourront tirer profit de la baisse contrôlée du prix du titane dû à l'effet combiné de la baisse des coûts de production (développements « titane bas coût » via les techniques de fusion à foyer froid et à induction) et de compétition commerciale induite par le producteur russe.

Nous avons également étudié les conséquences de l'émergence d'une nouvelle technique d'extraction de l'éponge de titane : le procédé FFC. Ce procédé, inventé récemment par l'Université de Cambridge au Royaume Uni, ouvre de nouvelles perspectives pour le marché du titane :

- baisse des coûts de production,

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	91/104

- augmentation de la productivité,
- nouvelles possibilités de mise en œuvre,
- meilleur contrôle de la qualité (inclusions, teneur en oxygène et hydrogène),
- possibilité de produire des éponge pré alliées,
- capacité à produire directement de la poudre pure ou pré alliée,
- possibilité de produire de nouveaux alliages.

Compte tenu des projets de développement qui démarrent, les réelles perspectives de ce procédé devraient être connues en 2008 avec la production des premières éponges et poudres de titane à une échelle industrielle. Si cette étape est passée avec succès, le procédé pourrait transformer le marché du titane et supplanter in fine le procédé Kroll. Tous les secteurs d'application pourront profiter de ces opportunités de développement, y compris ceux sensibles à un effet de seuil sur les prix.

Les USA se sont donné les moyens d'évaluer le potentiel du procédé FFC en initiant en 2003 un programme de développement d'une unité de production basée sur le sol américain en 2008. Le producteur de titane TIMET, actuel n°1, est à la tête du consortium industriel qui pilote ce projet. **L'Europe, de son côté, n'a pas encore engagé d'action de soutien au développement du procédé malgré les initiatives soumises à la Commission Européenne dès 2002.**

A l'image de ce qui a déjà été fait aux USA, **l'Europe devra organiser sa filière de recyclage du déchet de titane (scrap)** afin de mieux exploiter cette ressource qui est massivement utilisée comme matière première dans les techniques de production actuelles.

Autre grand consommateur de scrap de titane, le marché du ferrotitane se trouve complètement dépendant des effets de pénurie dans les périodes de faible demande dans la filière titane. **Tant que les filières opportunistes de CEI, alimentées par les déchets des producteurs russes et ukrainiens, seront opérationnelles, le marché international sera alimenté. Mais à moyen terme, aucune garantie n'est donnée de la survie de ces sources de production.** Le procédé FFC donne également une chance d'émergence d'une filière ferrotitane dissociée de la filière titane métal. **L'industrie sidérurgique se doit d'évaluer le potentiel d'une telle filière qui pourrait apporter la stabilité des prix et sécuriser l'approvisionnement.**

La coexistence des filières Kroll et FFC est possible jusqu'en 2015 et au-delà. Des unités de production FFC dédiées à des chaînes de production pourraient entrer en service en parallèle des réseaux conventionnels de production de titane.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	92/104

ANNEXES

- ANNEXE I : Données économiques sur l'éponge de titane**
- ANNEXE II : Données économiques sur le scrap de titane**
- ANNEXE III : Commerce extérieur de la France**
- ANNEXE IV: Consommation de titane au Japon par secteur**

ANNEXE I : Données économiques sur l'éponge de titane

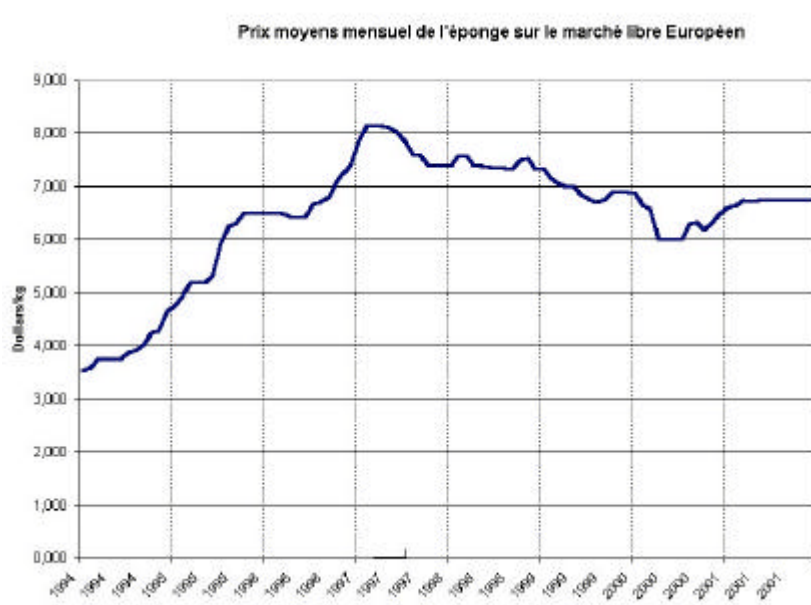


Figure 40: Prix moyen mensuel de l'éponge de titane sur le marché libre européen (source: Metal Bulletin)

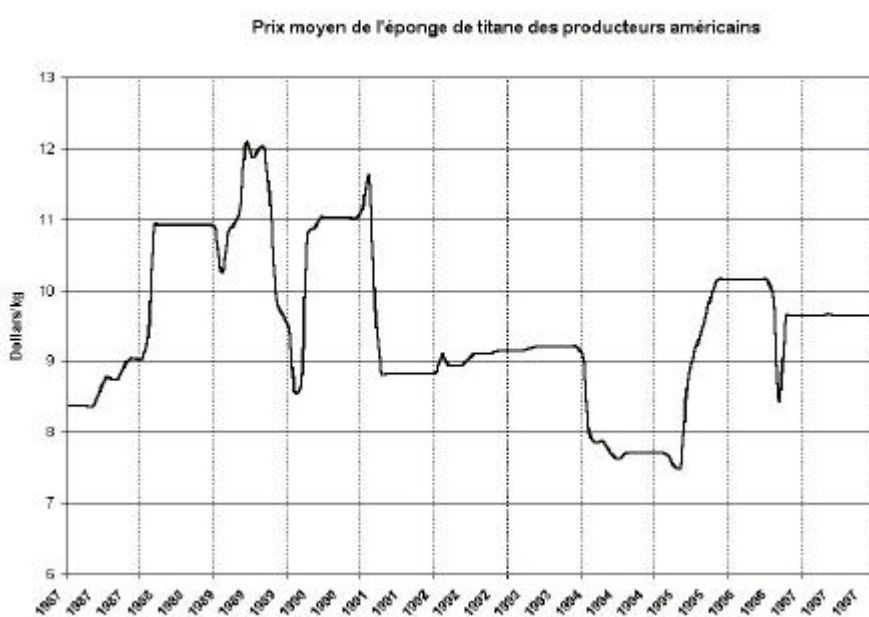


Figure 41: Prix moyen de l'éponge de titane des producteurs américains (source: Metal Bulletin)

Table 66: World Titanium Sponge Production Capacity

United States	1998	1999	2000	2001	2002
Alta Group	340	340	340	340	340 (1)
Allegheny Technologies/Oremet-Wah Chang	6,800	6,800	6,800	1,000	(2)
Titanium Metals Corp. (TIMET)	14,500	14,500	14,500	8,600	8,600 (3)
Total United States	21,640	21,640	21,640	9,940	8,940
Japan					
Sumitomo SFTix	15,000	15,000	15,000	15,000	18,000
Toho Titanium	10,800	10,800	10,800	10,800	12,000
Total Japan	25,800	25,800	25,800	25,800	30,000
Former U.S.S.R.					
Kazakhstan	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000
Russia	26,000	26,000	26,000	26,000	26,000
Ukraine		6,000	6,000	6,000	6,500
Total Former U.S.S.R.	48,000	54,000	54,000	54,000	54,500
P.R. of China					
P.R. of China	7,000	7,000	7,000	7,000	7,200
Total P.R. of China	7,000	7,000	7,000	7,000	7,200
Total World Sponge Capacity	102,440	108,440	108,440	96,740	100,640

(1) Sodium reduction

(2) Idled in the first half of 2001

(3) In 2003, Vacuum Distillation Process (8,600) active, Magnesium Reduced / Acid Leach (5,900) idle.

Figure 42: Historique de la capacité opérationnelle mondiale de production d'éponge (en Tonnes) – source ITA/USGS/JTS⁴⁸

ANNEXE II : Données économiques sur le scrap de titane



Figure 43: Prix moyen du scrap de titane (tournure non traitée) sur des lots de 10 tonnes (source: Metal Bulletin)

ANNEXE III : Commerce extérieur de la France

Nomenclature:

7202 91 00 : FERROTITANE ET FERROSILICOTITANE

8108 10 10 : TITANE SOUS FORME BRUTE; POUDRES

8108 10 90 : DECHETS ET DEBRIS DE TITANE (SAUF CENDRES ET RESIDUS CONTENANT DU TITANE)

8108 90 10 : TUBES ET TUYAUX, MUNIS D'ACCESSOIRES, POUR LA CONDUITE DE GAZ OU DE LIQUIDES, DESTINES A DES AERONEFS CIVILS

8108 90 30 : BARRES, PROFILS ET FILS

8108 90 50 : TOLES, BANDES ET FEUILLES

8108 90 70 : TUBES ET TUYAUX

8108 90 90 : AUTRES

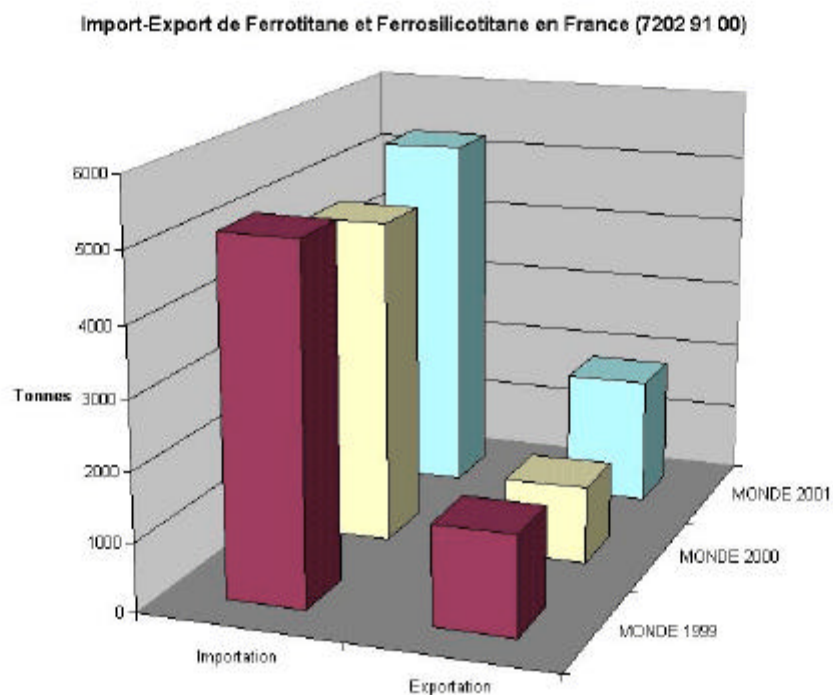


Figure 44: Import-Export de ferrotitane et ferrosilicotitane en France

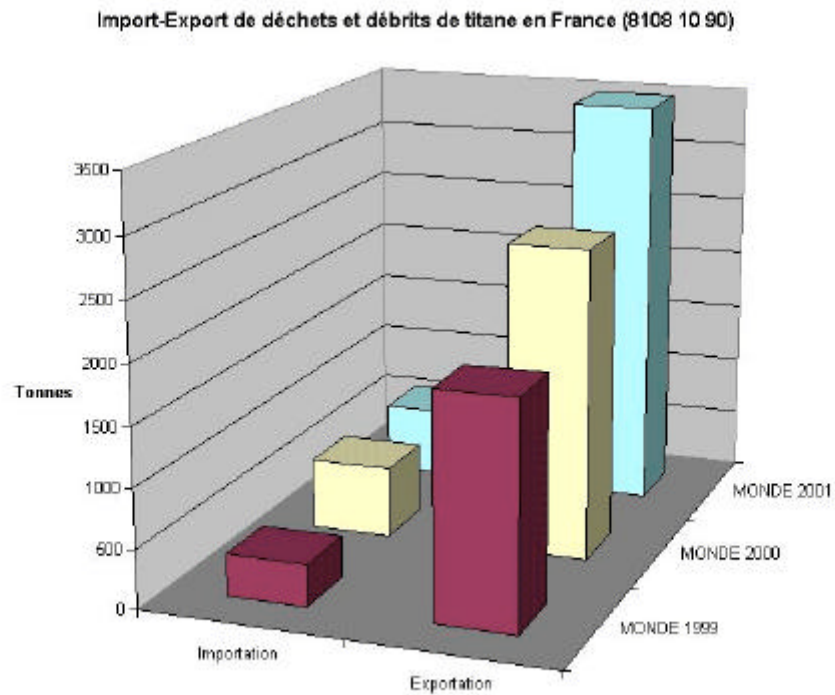


Figure 45: Import-Export de déchets et débris de titane en France

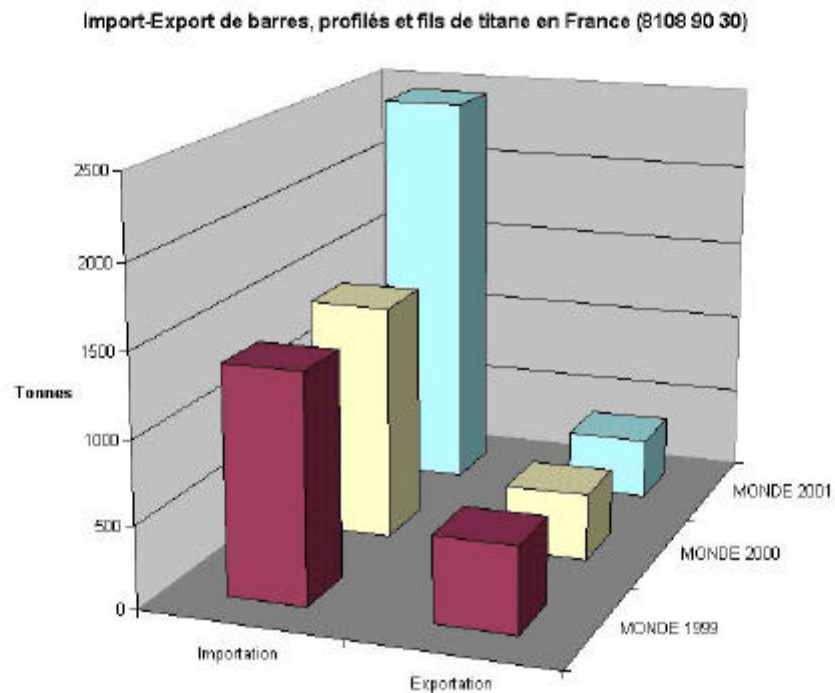


Figure 46: Import-Export de barres, profilés et fils de titane en France

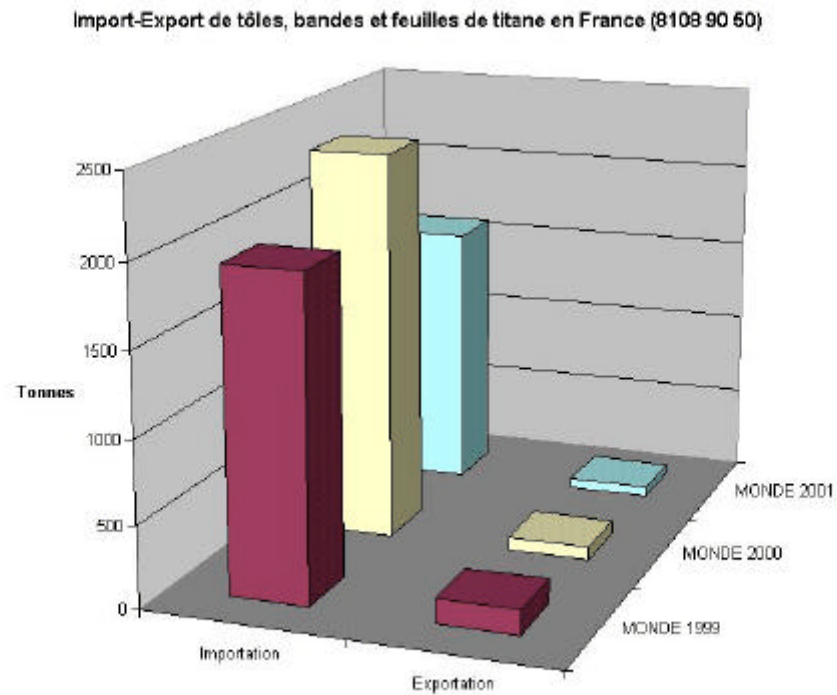


Figure 47: Import-Export de tôles, bandes et feuilles de titane en France

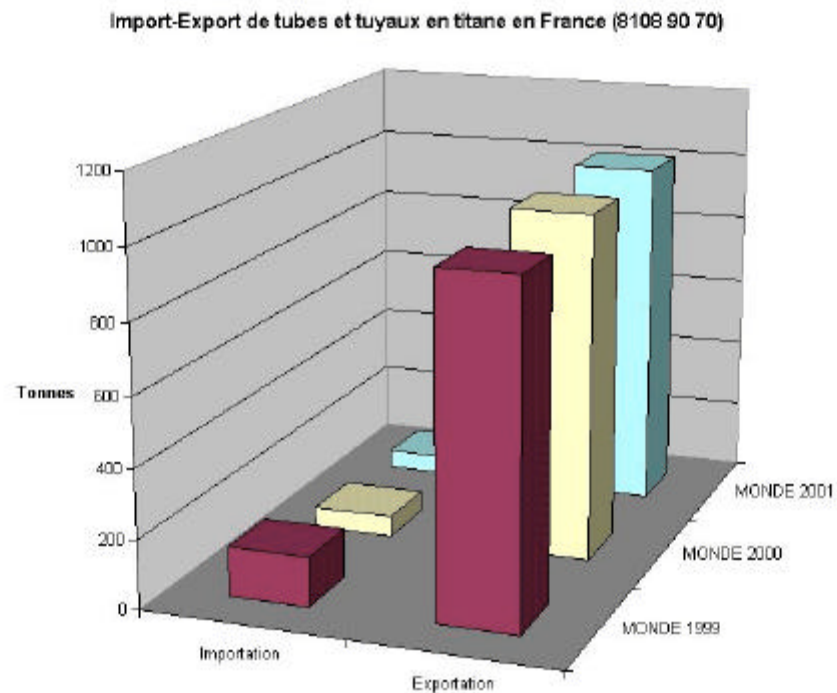


Figure 48: Import-Export de tubes et tuyaux de titane en France

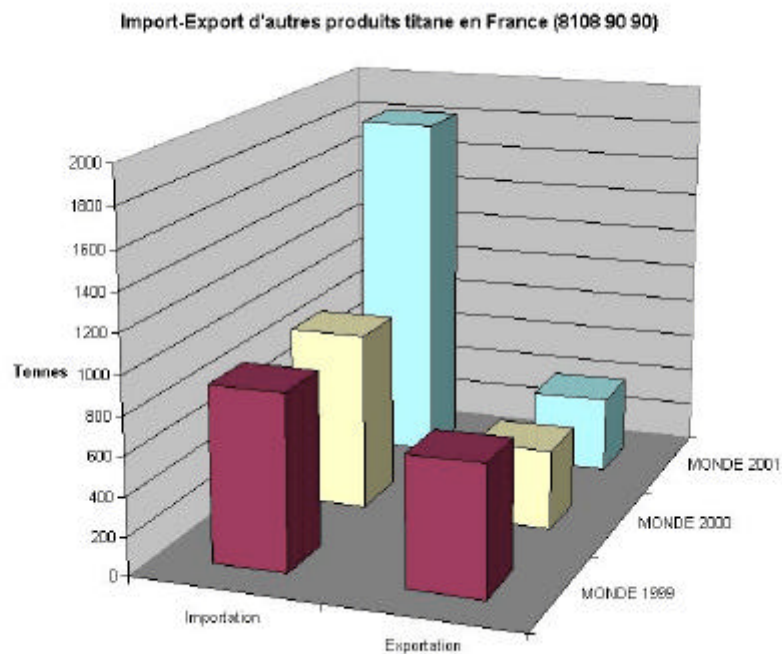


Figure 49: Import-Export d'autres produits de titane en France

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	100/104

ANNEXE IV: Consommation de titane au Japon par secteur

Secteur	Consommation (T)
Chimie et secteurs associés	2.199
Énergie et dessalement	886
Aéronautique et Espace	447
Stockistes et Distributeurs	571
Applications marines	194
Architecture	43
Automobile	1.365
Biens de consommation	1.135
Autres	416
Total	7.256

Tableau 7: Consommation de titane au Japon en 2002 ventilée par secteur (source JTS)

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	101/104

REFERENCES INTERNET

Articles de presse

www.findarticles.com: portail de presse gratuite en ligne
www.amm.com: American Metal Market en ligne (payant)
www.metalbulletin.com: Metal Bulletin en ligne (payant)
www.reuters.com: agence Reuter en ligne (payant)
www.russiajournal.com: articles The Russia Journal en ligne (gratuit)
www.metals-russia.com: articles presse métal russe (gratuit)
www.themoscowtimes.com : The Moscow Times en ligne (gratuit)

News

www.ryansnotes.com: les prix, les pénuries, les news, données du terrain
www.metalmerge.com: news de CEI
www.aeronautics.ru: news sur aéronautique de CEI
www.offshore-technology.com: news offshore
www.skilledgeoscience.com: news industries de l'extraction et mines
www.infolink.com.au: site australien, news architecture
www.metalcenterpress.com: news industrie de la distribution des métaux
www.stainless-steel-world.net: news industrie de l'inox et du titane
www.recyclingtoday.com: news sur le monde du recyclage
www.titanmet.ru : les news titane de Russie
www.avia.ru : news sur l'actualité aéronautique russe
airbase.ru/forum : news sur l'aviation vue depuis la Russie

Négoce, traders

www.scrap.org: news, données en ligne sur le négoce du scrap
www.metalworld.com: site de trader
www.smartmetals.com: négoce en ligne, service center

Sites institutionnels

www.ukrdzi.com: site information sur industrie Ukrainienne
www.tech-db.ru: site ISTC pour le démantèlement en CEI
www.bxa.doc.gov: Office of Strategic Industries and Economic Security
www.abms.com: American Bureau of Metal Statistics
www.arpa.mil: site de la DARPA (Defense Advance Research Project Agency)
www.ita.doc.gov: International Trade administration
www.mineral.usgs.gov: données sur le titane aux USA (US Geological Survey)
www.census.gov: surveillance des marchés aux USA
www.nrcan.gc.ca: Ressources naturelles du Canada
www.gesmine.com: Ingénierie des ressources minérales
www.isij.or.jp: The Iron and Steel Institute of Japan

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	102/104

Recyclage des métaux

www.isri.org: Institute of Scrap Recycling Industries

www.bir.org: Bureau of International Recycling

www.recycle.net: contacts avec les opérateurs du recyclage au niveau mondial

www.euro.recycle.net: négoce en ligne de scrap

www.lme.co.uk: London Metal Exchange

www.britmetfed.org.uk: British Metal Recycling Association

www.cari-acir.org: Canadian Association of Recycling Industries

www.glorem.com: promotion des métiers du recyclage

Associations titane

www.titanium.net: International Titanium Association

www.titan-japan.com: Japan Titanium Society

www.titane.asso.fr: association française

www.titaniuminfogroup.co.uk: Titanium Information Group

titan-association.com : association titane russe

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	103/104

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ¹ Titanium mineral concentrates, US Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Joseph Gambogi, Janvier 2003, p. 179 ; <http://www.mineral.usgs.gov>
- ² The economics of titanium metal, Roskill Information Service, seconde édition, 2001, p. 20
- ³ Les évolutions du marché mondial du titane à l'horizon 2000-2005, CEA/DTA/BEM, octobre 2000
- ⁴ Titanium mineral concentrates, US Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Joseph Gambogi, Janvier 2003, p. 181
- ⁵ Titanium mineral concentrates, US Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Joseph Gambogi, Janvier 2003, p. 181
- ⁶ The economics of titanium metal, Roskill Information Service, seconde édition, 2001, p. 86
- ⁷ The economics of titanium metal, Roskill Information Service, seconde édition, 2001, p. 86
- ⁸ The economics of titanium metal, Roskill Information Service, seconde édition, 2001, p. 36
- ⁹ Titanium mineral concentrates, US Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Joseph Gambogi, Janvier 2003, p. 181
- ¹⁰ Titanium, US Geological Survey Minerals Yearbook , J. Gambogi, 2001, tableau 2 en annexe du document
- ¹¹ The economics of titanium metal, Roskill Information Service, seconde édition, 2001, p. 4
- ¹² Mineral Industry Surveys, US Geological Survey, Joseph Gambogi, Mars 2003, tableau 4 de l'annexe
- ¹³ Titanium and Titanium dioxide, US Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Joseph Gambogi, Janvier 2003, p. 181
- ¹⁴ Titanium mineral concentrates, US Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Joseph Gambogi, Janvier 2003, p. 181
- ¹⁵ Titanium, US Geological Survey Minerals Yearbook , J. Gambogi, 2001, tableau 13 en annexe du document
- ¹⁶ <http://www.avisma.ru/eng/investors/>
- ¹⁷ The economics of titanium metal, Roskill Information Service, seconde édition, 2001, p. 36
- ¹⁸ Titanium Metals Inc. Report, University of Oregon, Investment Group, novembre 2001.
- ¹⁹ Mineral Industry Surveys, US Geological Survey, Joseph Gambogi, Mars 2003, tableaux 3 et 4 de l'annexe
- ²⁰ Metal Bulletin Monthly (MBM), Juillet 2003, p.10-12.
- ²¹ « World Titanium Industry Trends », T. J. Rupert, Proceedings of the 18th annual Conference & Exhibition International Titanium Association, Orlando, Florida USA, October 6-8, 2002.
- ²² The Moscow Times, 26 Mai 2003, page 8
- ²³ Les évolutions du marché mondial du titane à l'horizon 2000-2005, CEA/DTA/BEM, octobre 2000, p.18
- ²⁴ Titanium, US Geological Survey Minerals Yearbook , J. Gambogi, 2001, p.79.2
- ²⁵ « Challenges and Opportunities facing the titanium industry », T. E. Williams Jr., Proceedings of the 18th annual Conference & Exhibition International Titanium Association, Orlando, Florida USA, October 6-8, 2002.
- ²⁶ « Military market for titanium », J. L. Martin, Proceedings of the 18th annual Conference & Exhibition International Titanium Association, Orlando, Florida USA, October 6-8, 2002.
- ²⁷ « World Titanium Industry Trends », T. J. Rupert, Proceedings of the 18th annual Conference & Exhibition International Titanium Association, Orlando, Florida USA, October 6-8, 2002.
- ²⁸ « Military market for titanium », J. L. Martin, Proceedings of the 18th annual Conference & Exhibition International Titanium Association, Orlando, Florida USA, October 6-8, 2002.
- ²⁹ « World Titanium Industry Trends », T. J. Rupert, Proceedings of the 18th annual Conference & Exhibition International Titanium Association, Orlando, Florida USA, October 6-8, 2002.
- ³⁰ « Military market for titanium », J. L. Martin, Proceedings of the 18th annual Conference & Exhibition International Titanium Association, Orlando, Florida USA, October 6-8, 2002.
- ³¹ Metal pages, dépêches du 28 mai 2003, Londres
- ³² Titanium in automotive production, Olivier Schauerter, Volkswagen AG Wolfsburg, Advanced Engineering Materials June 2003,5,N°6, p.411-418.

Impact des différents scénarii d'évolution des filières industrielles du titane sur les conditions d'approvisionnement à l'horizon 2005-2010	Page
Document de synthèse – Édition : Décembre 2003	104/104

³³ Opportunities for low cost titanium in reduced fuel consumption, improved emissions, and enhanced durability heavy-duty vehicle, Juillet 2002, rapport pour le compte de US Department of Energy and Oak Ridge National Laboratory, subcontract 4000013062, EHK Technologies, www.ehktechnologies.com

³⁴ Document interne classifié de ALSTOM Marine Chantiers de l'Atlantique, Direction Innovation – Recherche et Développement, Saint Nazaire.

³⁵ Aspects of technology transfer, DJ. Fray, Metallurgical and Material Transactions B, Vol. 31B, December 2000, pp.1153-1162.

³⁶ Norme ASTM B299-94 « Standard specification for titanium sponge », August 15, 1994.

³⁷ Low cost titanium, Stainless Steel World, D. Peacock, April 2001, p 29

³⁸ Stephen J. Gerdemann, Titanium process technologies, Advanced Materials & Processes, July 2001, pp. 41-43.

³⁹ Marco V. Ginatta, Why produce titanium by EW ?, Journal of the Minerals, Metal&Materials Society, May 2000, pp. 18-20.

⁴⁰ M. V. Ginatta et G. Orsello ; US patent N° 4,670,121 , 1987.

⁴¹ <http://people.bu.edu/upal/plasma>

⁴² Transference number measurements of TiO₂BaO melts by stepped potential chronoamperometry, N.A. Fried, K.G. Rhoads, D.R. Sadoway, Electrochimica Acta 46 (2001), pp 3351-3358.

⁴³ OS process – A new Calciothermic Reduction of TiO₂ in the molten CaCl₂, R.-O. Suzuki and K. Ono, ITA's 18th annual Conference & Exhibition, Orlando, Florida, USA, october 6-8, 2002.

⁴⁴ Titanium Process Technologies, S.J. Gerdermann, Advanced Materials and Processes, July 2001, pp41-43.

⁴⁵ Opportunities for low cost titanium in reduced fuel consumption, improved emissions, and enhanced durability heavy-duty vehicle, Juillet 2002, rapport pour le compte de US Department of Energy and Oak Ridge National Laboratory, subcontract 4000013062, EHK Technologies, www.ehktechnologies.com

⁴⁶ The Role of Titanium in the Automotivle : Understanding the Economic Implications of Two Emerging Technologies, Camano Associate, Cambridge, MA, USA, rapport commandité par Northwest Alliance for Transportation Technology, Juin 2001, rapport non disponible à ce jour.

⁴⁷ Opportunities for low cost titanium in reduced fuel consumption, improved emissions, and enhanced durability heavy-duty vehicle, EHK Technologies, Juillet 2002, p.32.

⁴⁸ Statistical Review 1998-2002, International Titanium Association, p 19