

# Les enjeux pour le groupe Delachaux de son approvisionnement en chrome

Par Philippe LIEBAERT

Responsable Recherche et Développement de DCX Chrome

Si la présence de chrome dans la nature est loin d'être marginale (on estime les réserves mondiales de chromite à plus de 7 milliards de tonnes), il n'en va pas de même pour certains produits finis, dont le chrome métal ultra pur (plus de 99,4 % de pureté). Ce métal fait partie des composants incontournables dans la fabrication de superalliages, alliages qui sont utilisés dans tous les contextes critiques (en termes de température, de corrosion). Nombreuses sont leurs applications notamment dans les domaines de l'aéronautique (tant civile que militaire), de l'énergie (turbines à gaz), du nucléaire et de la pétrochimie, pour ne citer que les principaux. La fabrication de ce métal est concentrée entre les mains de quelques acteurs seulement, dont 2 en Europe, les autres étant russes ou chinois. Les normes environnementales évoluant drastiquement en Europe, le risque est grand de voir un déséquilibre se créer entre la demande de ce métal stratégique (concentrée aux États-Unis, en Europe, au Japon) et une offre qui irait en se rétractant en Europe et deviendrait plus coûteuse vis-à-vis de concurrents moins contraints par des réglementations.

## Un peu d'histoire...

La découverte en Sibérie, à Ekaterinburg, d'un minerai rouge orangé baptisé crocoïte ( $PbO$ ,  $CrO_3$ ) date de 1765. En 1795, le chimiste français Vauquelin isole le chrome métal contenu dans la crocoïte. Dans les années 1830, des gisements de chromite ( $FeCr_2O_4$ ) furent découverts aux États-Unis. Au cours des années qui suivirent, les scientifiques réussirent à extraire le chrome présent dans ce minerai sous la forme d'oxyde, par réduction de cet oxyde au moyen de charbon porté à haute température. Les premières applications industrielles (au XIX<sup>e</sup> siècle) concernent la fabrication de colorants pour le papier peint, le jaune de chrome et le vert de chrome. Le bichromate de potassium, quant à lui, sert de base au rouge turc utilisé pour la teinture de la laine et du coton.

À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, des composés de sels de chrome montrèrent leur aptitude au tannage des peaux, une utilisation qui est toujours d'actualité. Le mélange de la chromite avec de l'argile donna de bonnes propriétés réfractaires utiles à la fabrication de fours électriques servant à la production d'acier selon le procédé Thomas.

La fabrication du chrome pur devint une réalité en 1898 quand l'Allemand Goldsmidt mit au point la réduction aluminothermique des oxydes de chrome. Cette avancée permit, au début du XX<sup>e</sup> siècle, le développement

de l'industrie des ferrochromes, puis des nichromes (alliages nickel-chrome) et, enfin, des stellites (alliages cobalt-chrome), en 1914.

## La chaîne de valeur du chrome

L'utilisation de la chromite est fonction de sa teneur en oxyde  $Cr_2O_3$  et d'autres composants (notamment le fer, le magnésium et l'alumine).

97 % de la chromite sert à la fabrication directe du ferrochrome et des produits réfractaires de fonderie. Les 3 % restants servent à la filière de la chimie du chrome (voir la Figure 1 de la page suivante).

La chaîne de valeur de la chimie du chrome comporte différents étages, elle fluctue en fonction des besoins du marché. Dans cette chaîne complexe, l'oxyde de chrome métallurgique arrive en bout de chaîne (voir la Figure 2 de la page 83). C'est cet oxyde de chrome qui constitue la matière première de la fabrication du chrome-métal pur.

La production de l'oxyde représente 1 % des débouchés de la chromite extraite.

Citons quelques-unes des principales applications de ces différents composés issus de la chimie du chrome :

- dichromate de sodium : protection du bois et pigment,

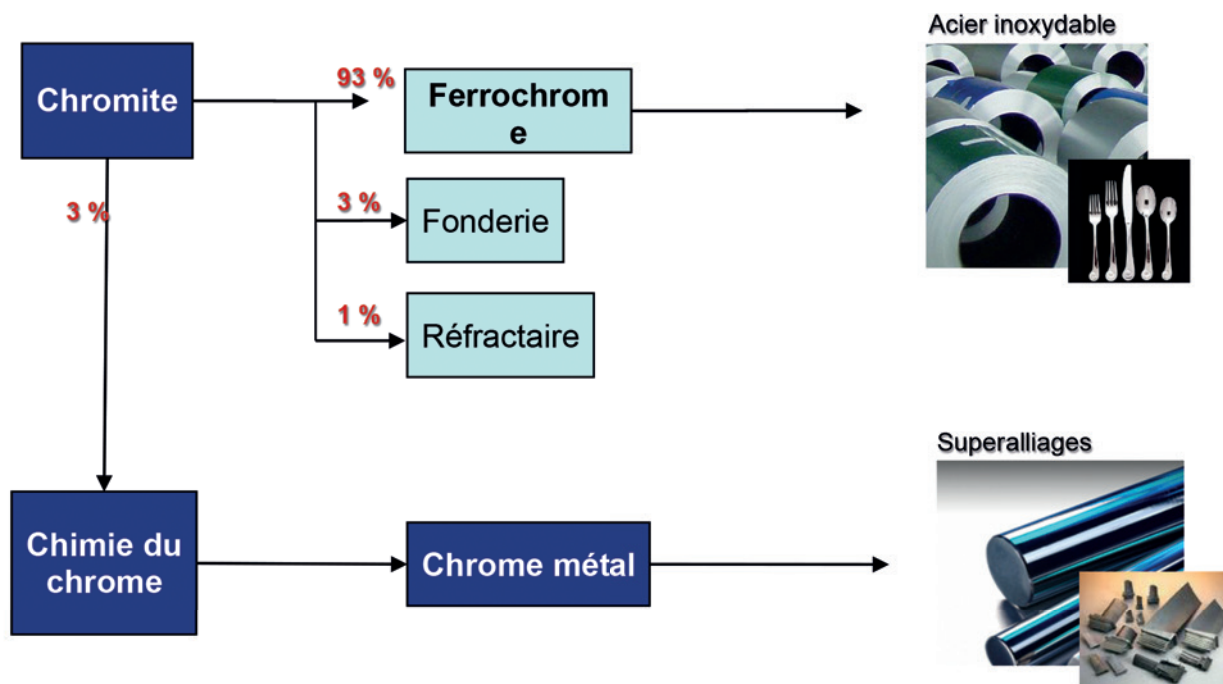


Figure1 : Utilisations de la chromite.

- dichromate de potassium : pyrotechnie, lithographie, pigment,
- acide chromique : chromage dur, pigments,
- sulfate de chrome : tannage du cuir.

### La fabrication du chrome métal

Il existe trois grands procédés de fabrication du chrome métal :

- l'électrolyse de solutions contenant l'ion chrome  $Cr_3+$  (du ferrochrome ou de la chromite) ;
- électrolyse de l'ion  $Cr_6+$  (présent dans l'acide chromique  $CrO_3$ ) ;
- la réduction aluminothermique de l'oxyde de chrome  $Cr_2O_3$ .

Les problèmes environnementaux liés à la production de chrome électrolytique sont tels que la proportion de cette fabrication s'est réduite à 5 % de la production mondiale. La pureté obtenue la rend néanmoins indispensable pour certaines applications, notamment électroniques.

95 % de la production est donc réalisée par aluminothermie.

La réaction mise en jeu est :  $Cr_2O_3 + 2Al \Rightarrow 2Cr + Al_2O_3$ .

L'intérêt de cette réaction réside dans le fait qu'elle ne nécessite pas d'apport d'énergie. La réaction une fois démarrée grâce à un point chaud local est très exothermique et s'entretient tant qu'il reste des matières n'ayant pas réagi. Néanmoins, pour des questions d'homogénéité, l'apport d'un oxydant plus puissant (le  $CrO_3$  provenant par exemple du bichromate de potassium) est nécessaire. À la fin de cette réaction, qui est réalisée dans un creuset réfractaire, on obtient du chrome métal recouvert par de l' $Al_2O_3$  (le corindon). Chaque opération permet d'obtenir

quelques tonnes de chrome (à noter que le corindon ainsi obtenu est valorisé dans les domaines des revêtements réfractaires et des abrasifs).

### Le chrome métal dans le groupe Delachaux

Historiquement, le groupe Delachaux a été le principal concurrent du groupe Goldsmidt dès le début du XX<sup>e</sup> siècle dans le secteur de la soudure aluminothermique des rails de tramway, puis de chemin de fer. C'est donc naturellement que le groupe Delachaux se lança lui aussi dans la production aluminothermique de chrome métal. Si l'on retrouve les premières traces de cette production au début des années 1930, c'est en 1955 que les choses démarrent vraiment, avec la contribution de Delachaux à la constitution du stock stratégique américain. En 1987, démarre la production de chrome dégazé sous vide, avec une pureté pouvant atteindre 99,9 %. Au fil du temps, la production a augmenté pour atteindre aujourd'hui les 10 000 tonnes par an, soit environ 25 % du marché mondial.

### Les utilisations du chrome métal

Les caractéristiques principales du chrome métal sont sa température de fusion élevée, sa résistance à la corrosion et sa dureté. Toutes ces propriétés font que ce métal améliore les caractéristiques mécaniques et la résistance à la corrosion à chaud des alliages auxquels il est ajouté, notamment et principalement les superalliages base nickel ou cobalt. Les champs d'applications principaux de ces alliages sont les suivants.

#### Aéronautique civile et militaire

Les superalliages sont utilisés dans les parties chaudes de la chambre de combustion et de la turbine des tur-

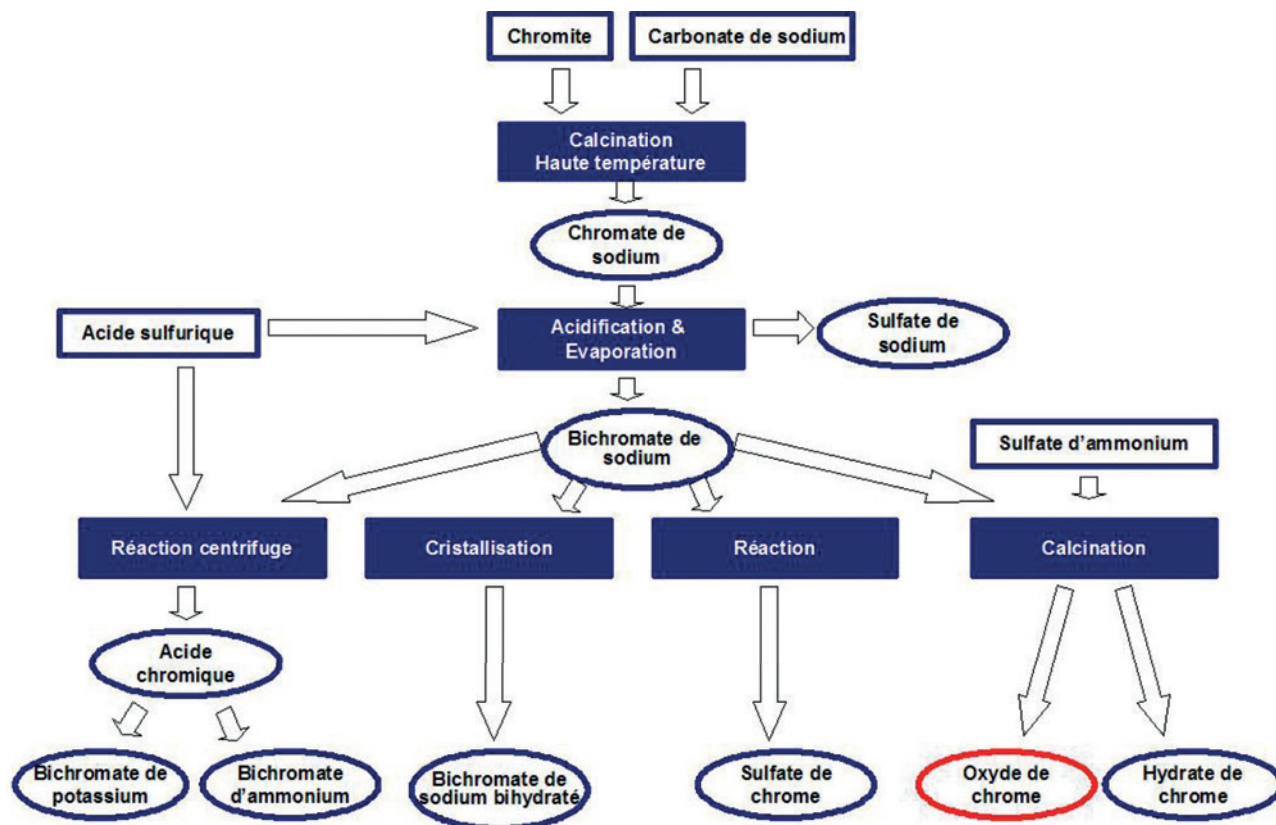


Figure 2 : La chaîne de valeur de la chimie du chrome.

boréacteurs (voir la Figure 3 ci-contre). Ces parties sont en effet soumises à de très hautes températures et à une forte corrosion due au carburant. Leur température en fonctionnement est même en hausse constante, puisque toutes les recherches vont dans le sens de la diminution de la consommation de carburant et de la réduction des émissions de  $\text{CO}_2$  et de  $\text{NO}_x$ . À cela, une seule solution : l'augmentation du rendement des réacteurs, et donc de leur température de fonctionnement. Par ailleurs, les nouvelles générations de superalliages (*single crystal*) exigent une pureté beaucoup plus grande, et donc un raffinage plus poussé du chrome métal. La quantité de chrome métal dans un turboréacteur représente à peu près 10 % de son poids. En ce qui concerne l'aéronautique militaire, outre le fait que les réacteurs sont soumis à des sollicitations encore plus fortes, il faut aussi y ajouter toute la partie propulsion des missiles et les têtes d'ogives.

### Turbines terrestres pour la production d'énergie

Leur fonctionnement en régime maximal soulève la même problématique que celle des turboréacteurs aéronautiques. On peut y ajouter une sollicitation plus importante en termes de corrosion, du fait de la diversité des gaz utilisés (gaz naturel, LPG, gaz issu de la gazéification du charbon, etc.). De plus, ce type de centrale vient de plus en plus en complément d'installations éoliennes ou solaires pour pallier au manque de vent ou de soleil. Cela exige une très grande flexibilité, avec des arrêts/démarrages fréquents, et ce sont lors de ces phases que la corrosion est la plus forte du fait d'un mauvais rendement de la turbine.

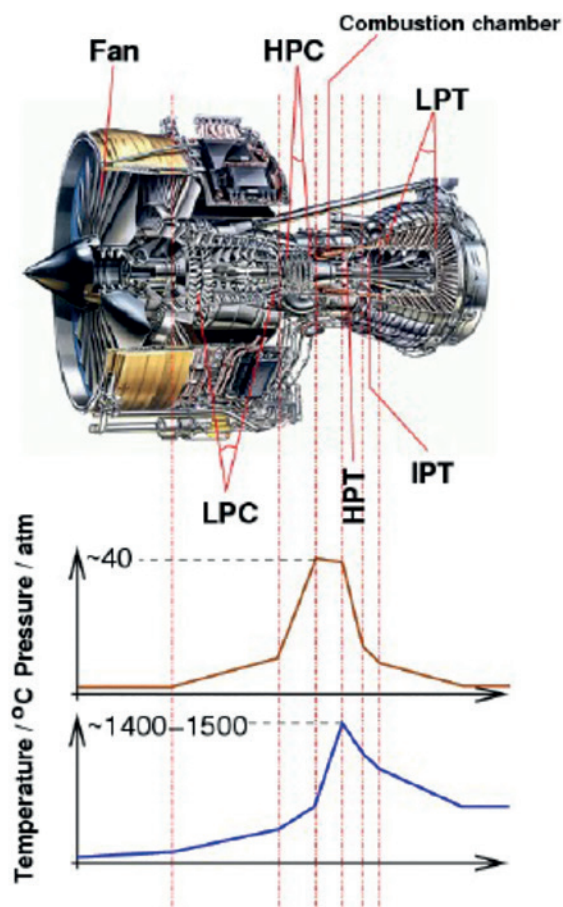


Figure 3 : Répartition des températures dans un turboréacteur.

Qualité	Teneur en chrome / caractéristiques	Applications
Airmelt (morceaux)	99% min. (DCX Chrome 99,4%)	Superalliages
Chrome sous-vide ATVG (morceaux)	99.6%	Superalliages qualité supérieure
Poudre de chrome	Standard & faible teneur en gaz	<ul style="list-style-type: none"> <li>Industrie de l'aluminium</li> <li>Soudage</li> <li>Métallurgie des poudres (SOFC, contacteurs Cu-Cr, superalliages, cibles)</li> </ul>
Double dégazé sous vide - DDB (briquettes)	99.8% min Cr, faible teneur en gaz (O, N)	Superalliages critiques
Double dégazé sous vide - DDB (briquettes) bas soufre	99.8% min Cr, faible teneur en gaz (O, N) DDB ULS (S <10ppm) DDB XLS (S <5ppm)	Superalliages critiques aéronautique

Figure 4 : Récapitulatif des différentes qualités de chrome métal.

### Nucléaire

Les tubes des générateurs de vapeur sont l'unique interface entre les circuits primaires et secondaires dans les centrales à eau pressurisée. Ils sont soumis à de fortes pressions sous des températures élevées et l'on attend d'eux, bien sûr, une excellente fiabilité. Ils sont donc réalisés en alliage base nickel contenant un fort pourcentage de chrome. Ces alliages sont aussi utilisés dans les chaudières des bâtiments de surface et des sous-marins à propulsion nucléaire.

### Pétrochimie et industrie chimique

La recherche pétrolière, qui s'effectue de plus en plus en *offshore* à grande profondeur et donc sous de fortes pressions et dans des ambiances chargées en hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S), consomme également une partie de ces superalliages. L'industrie chimique en utilise aussi, pour les réacteurs et les cuves de ses unités de désulfuration, de crackage...

### Automobile

Les turbines de turbocompresseur sont en superalliages de type inconel, c'est également le cas des soupapes.

### Piles à combustible

La poudre de chrome métal est utilisée pour la fabrication de plaques d'interconnexion CFY (Chrome Fer Yttrium) pour assurer la conduction électrique au sein des piles à combustible à oxyde solide (SOFC) fonctionnant à haute température et destinées à la production d'électricité.

### Les acteurs du chrome métal

Exception faite du chrome électrolytique (où le nombre des producteurs se réduit à deux, un russe et un chinois), la fabrication du chrome métal se répartit entre sept acteurs. Ce nombre s'est réduit avec l'arrêt de l'activité de plusieurs petits producteurs en Chine, pour des raisons environnementales. Pour la haute pureté, il y a DCX Chrome,

le groupe Delachaux (en France), AMG (au Royaume-Uni), JFEM (au Japon), qui utilise un procédé par silicothermie, et Sing Horn (en Chine). Pour les qualités standard, s'y rajoute Novotroitsk (Russie), Kluchevsky (Russie) et Jinzhou Ferroalloy (Chine).

Dans ce panorama mondial, il faut ajouter qu'en amont de la filière, quatre pays (l'Afrique du Sud, le Zimbabwe, le Kazakhstan et l'Inde) concentrent 87 % de la production mondiale de chromite. En ce qui concerne la chimie du chrome, quatre pays (la Chine, le Kazakhstan, la Russie et les États-Unis) représentent 70 % de la production.

### Aspect environnemental et législatif

Si le chrome métal proprement dit est inoffensif, certains composés du chrome servant à son élaboration, notamment le chrome hexavalent (Cr<sub>6+</sub>), sont classés CMR (cancérogènes, mutagènes et reprotoxiques). L'utilisation de ces matières est donc soumise, d'une part, à l'échelle européenne, à la directive REACH et, d'autre part, en France, à la réglementation des installations classées, qui imposent des limites pour les rejets polluants atmosphériques et aqueux.

Par ailleurs, il existe des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP). En France, ces valeurs viennent d'être réduites drastiquement par voie de décret, passant de 50µg/m<sup>3</sup> d'air à 1µg/m<sup>3</sup>. Il est à noter que cette législation n'est pas homogène à l'intérieur même de l'Europe, puisque chaque pays a ses propres valeurs de référence (par exemple, 50µg/m<sup>3</sup> pour le Royaume-Uni et l'Allemagne). Les autres pays extracommunautaires impliqués dans la fabrication de chrome métal (Chine, Russie) n'ont, quant à eux, pas de réglementation connue en la matière.

Concernant DCX Chrome, tout a été mis en œuvre pour respecter les normes, et ce au prix de lourds investissements. Toutes les fumées sont captées, lavées, et l'eau de lavage est elle-même épurée pour qu'il n'y ait aucun rejet

dans l'environnement. Tout a été mis en œuvre au niveau de la captation de poussières pour assurer la protection des travailleurs. Mais la disparité des normes en vigueur à travers le monde pose un problème de compétitivité. En effet, cette performance environnementale qui fait qu'une industrie est « propre » n'est pas reconnue par les clients et elle n'est donc pas valorisable en tant que telle sur le marché concurrentiel actuel.

Comme on le voit, le chrome métal est présent dans de nombreuses applications, qui ont pour beaucoup un caractère stratégique. La Commission européenne vient d'ailleurs d'insérer le chrome dans sa base des matériaux critiques. Les fabricants de superalliages sont majoritaire-

ment européens, américains et japonais. Il en va de même en ce qui concerne les clients finaux, par exemple Airbus et Boeing, pour ne parler que du secteur de l'aéronautique.

Le chrome métal est, quant à lui, à 40 % européen, le reste étant russe ou chinois. Mais sa disponibilité dépend de l'approvisionnement dans la filière de la chimie du chrome, d'une part, et de règles législatives cohérentes et équitables, d'autre part. Il est important, dans les développements en cours, d'adopter une démarche globale impliquant tous les acteurs de la chaîne de valeur ainsi que les instances législatives afin de permettre à l'Europe de maintenir une position forte en matière d'approvisionnement en chrome.