

## **I-2- Élaboration de l'aluminium**

L'aluminium, ou aluminium (Al), est un métal blanc argenté avec un point de fusion de 660°C et une densité de 2,7 grammes par centimètre cube. Élément métallique le plus abondant, il constitue 8,1% de la croûte terrestre. Dans la nature, il se produit chimiquement combiner avec de l'oxygène et d'autres éléments. À l'état pur, il est mou et ductile, mais il peut être allié à de nombreux autres éléments pour augmenter la résistance et fournir un certain nombre de propriétés utiles. Les alliages d'aluminium sont légers, solides et peuvent être formés par presque tous les procédés de travail des métaux connus. Ils peuvent être coulés, assemblés selon de nombreuses techniques et usinés facilement. Ils acceptent une grande variété de finitions.

Outre sa faible densité, de nombreuses applications de l'aluminium et de ses alliages reposent sur sa conductivité électrique et thermique élevée, sa réflectivité élevée et sa résistance à la corrosion. Il doit sa résistance à la corrosion à un film continu d'oxyde d'aluminium qui se développe rapidement sur une surface d'aluminium naissante exposée à l'air.

### **I-2-1- Minerais**

L'aluminium est le troisième élément le plus abondant sur la surface de la Terre. Seuls l'oxygène et le silicium sont plus communs. La croûte terrestre, à une profondeur de 16 km, contient 8% d'aluminium. L'aluminium a une forte tendance à se combiner avec d'autres éléments communs et se présente donc rarement dans la nature sous forme métallique. Ses composés, cependant, sont un constituant important de pratiquement toutes les roches courantes. On le trouve dans l'argile, le schiste argileux, l'ardoise, le schiste, le granit, la syénite et l'anorthosite.

La bauxite se définit au mieux comme un minerai d'aluminium de divers degrés de pureté, dans lequel l'aluminium, sous forme d'hydroxyde d'aluminium ou d'oxyde d'aluminium, est le constituant le plus important. Les impuretés sont principalement constituées d'oxyde de fer, de silice et d'oxyde de titane.

Avant de recevoir un lingot d'aluminium, trois processus doivent être effectués. Le premier processus consiste à extraire l'alumine du minerai brut (bauxite), par le procédé Bayer. Le procédé Bayer, permet d'obtenir une fine poudre blanche(alumine). On introduit par la suite l' $Al_2O_3$  dans la cuve d'électrolyse (bain de cryolithe fondu maintenu à haute température). Le déplacement d'un courant électrique continu dans la cellule électrolytique

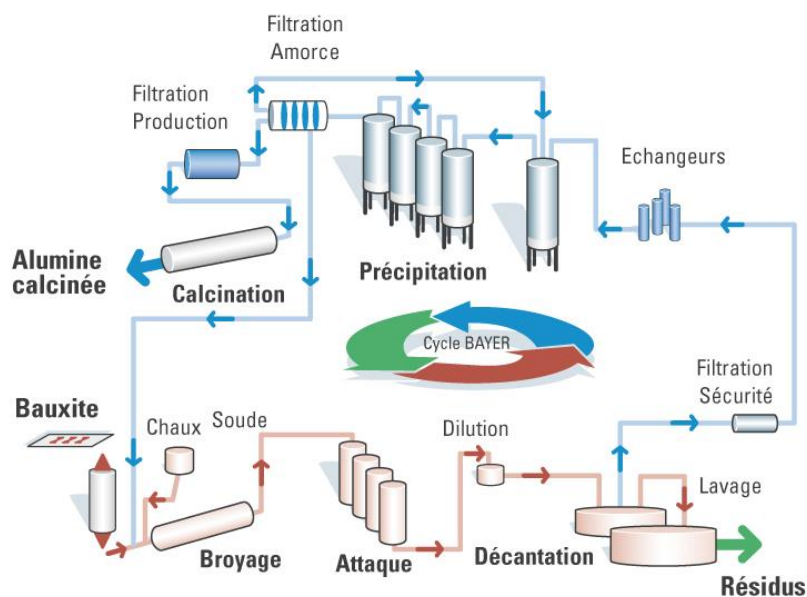
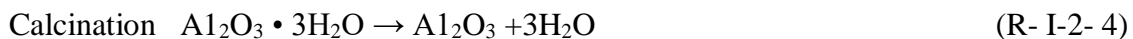
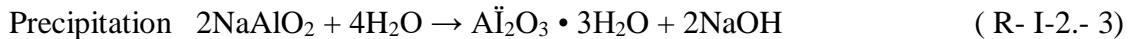
favorise de produire la réaction de dissociation de l'alumine. Le procédé de récupération de l'aluminium liquide dans une cuve d'électrolyse a été appelée procéder Hall-Hérault. Il existe d'autres procédure de récupération, comme par exemple la carbothermie.

### I-2-2- Le procédé Bayer

Le procédé Bayer (figure I-2-1), favorise l'extraction de l'alumine de la bauxite. Le principe de base du procédé Bayer comporte à dissoudre l' $Al_2O_3$  dans le caustique ( $NaOH$ ), selon les équations ci-dessous.



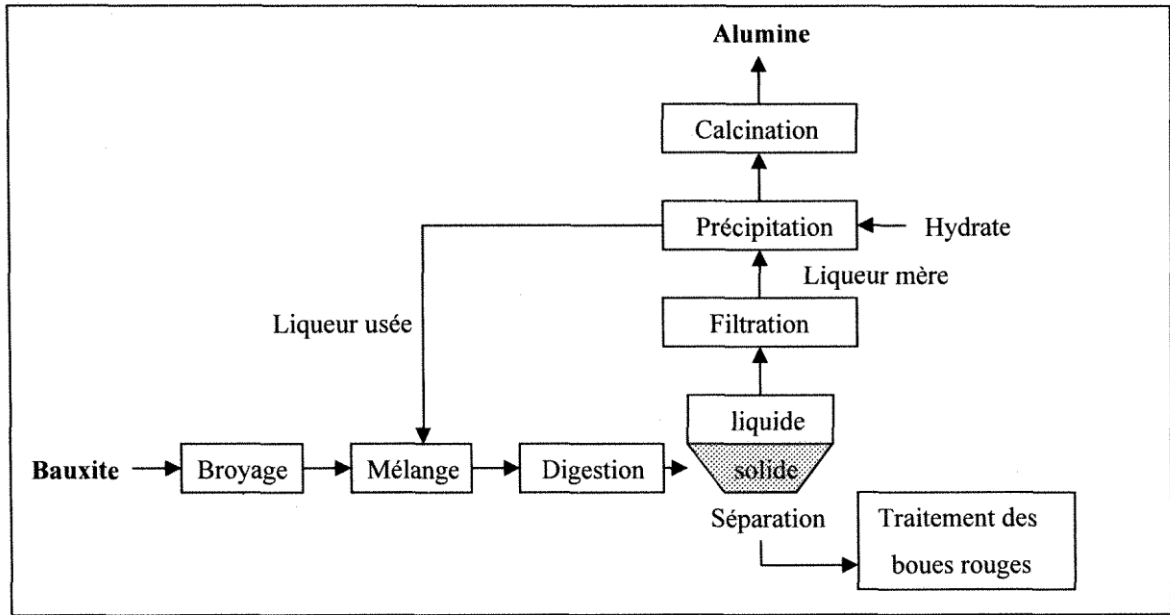
On précipite ultérieurement les produits de ces réactions, selon la réaction R- I-2-3, passer ensuite à l'étape finale, la calcination, réaction R-I-2-4.



**Figure I-2-1- Extraction de l'alumine selon procédé Bayer (Alteo)**

Le procédé Bayer est décrit en 7 étapes différentes (figure I-2-2) La première étape consiste à broyer la bauxite afin de favorise sa mise en solution.

On mélange en suite la bauxite broyées avec de la chaux ( $CaO$ ) et 90 % de la liqueur usée, à une température de  $85^{\circ}C$ , récupérer de l'étape de précipitation.



**Figure I-2-2- Schéma du procédé Bayer**

Après on introduit le mélange dans des autoclaves, à une température de 154°C. Avant d'introduire la pulpe d'extraction dans les décanteurs, on lui fait subir plusieurs détentes. Après cela on extrait les impuretés dans un décanteur par gravité. Le solide obtenu lors de la séparation (boue rouge) sera traité plus tard. Après Le liquide est filtré pour récupérer les impuretés qui seront envoyées au traitement des boues rouges. Le liquide produit par la filtration est appelé liquueur mère.

On refroidit doucement la liquueur mère pour commencer la précipitation dans un bac dans lequel on y ajoute de l'hydrate. La réaction de précipitation est représentée dans l'équation R- I-2-3. On récupère la liquueur usée que l'on chauffe à partir de la chaleur retirée de l'étape du refroidissement et on la retourne dans les autoclaves. Avant de réaliser la dernière étape, la calcination, on lave et sèche le produit afin de diminuer sa concentration en caustique. Ensuite on chauffe le produit dans un four rotatif pour accélérer la réaction chimique R-I-2-4. Enfin, on refroidit la matière dans un lit fluidisé.

### **3-2-1-Dissolution de l'alumine**

Il existe deux variétés d'alumine, soit une variété dite sableuse et l'autre dite pâteuse.

La solubilité de l'alumine dépend principalement de la composition chimique et de la température du bain.

La dissolution de l'alumine a lieu en nombreux étapes distinctes.

1. Chauffage de l'alumine jusqu'à la température du bain ;
2. Transformation de l'alumine gamma en alumine alpha ;
3. Dissolution de l'alumine alpha dans le bain ;
4. Réactions chimiques de l'alumine dissoute avec les ions du bain pour former les ions complexes ;
5. Dispersions des ions complexes dans le bain.

La figure I-2-3 illustre ces étapes simples qui constituent le processus Bayer, tandis que la figure I-2-4 élucide les opérations unitaires [8]. La figure I-2-5 fournit plus de détails sur les opérations de l'unité de traitement Bayer .

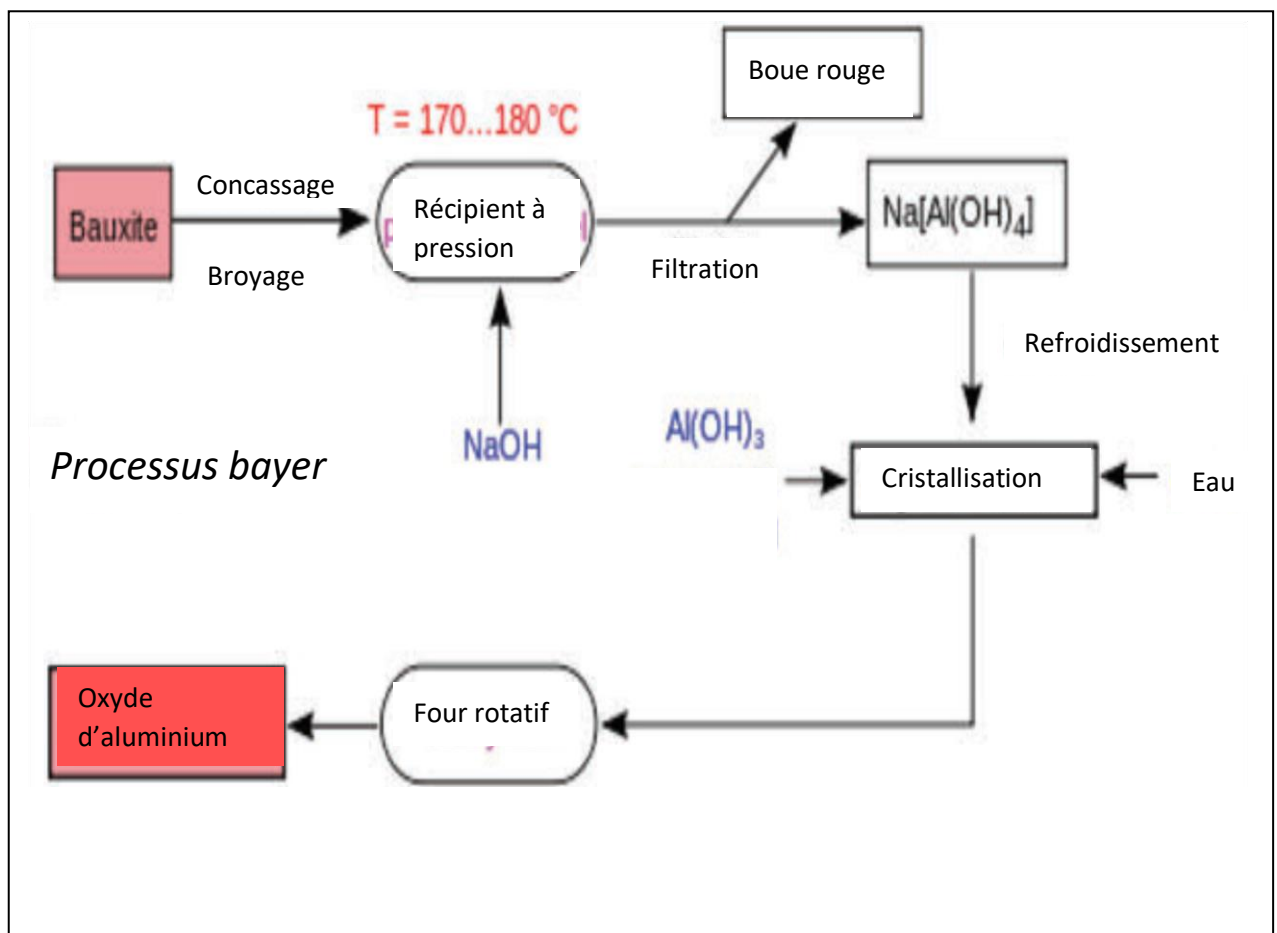


Figure I-2-3-. Schéma simplifié du processus Bayer (Wikipedia 2013)

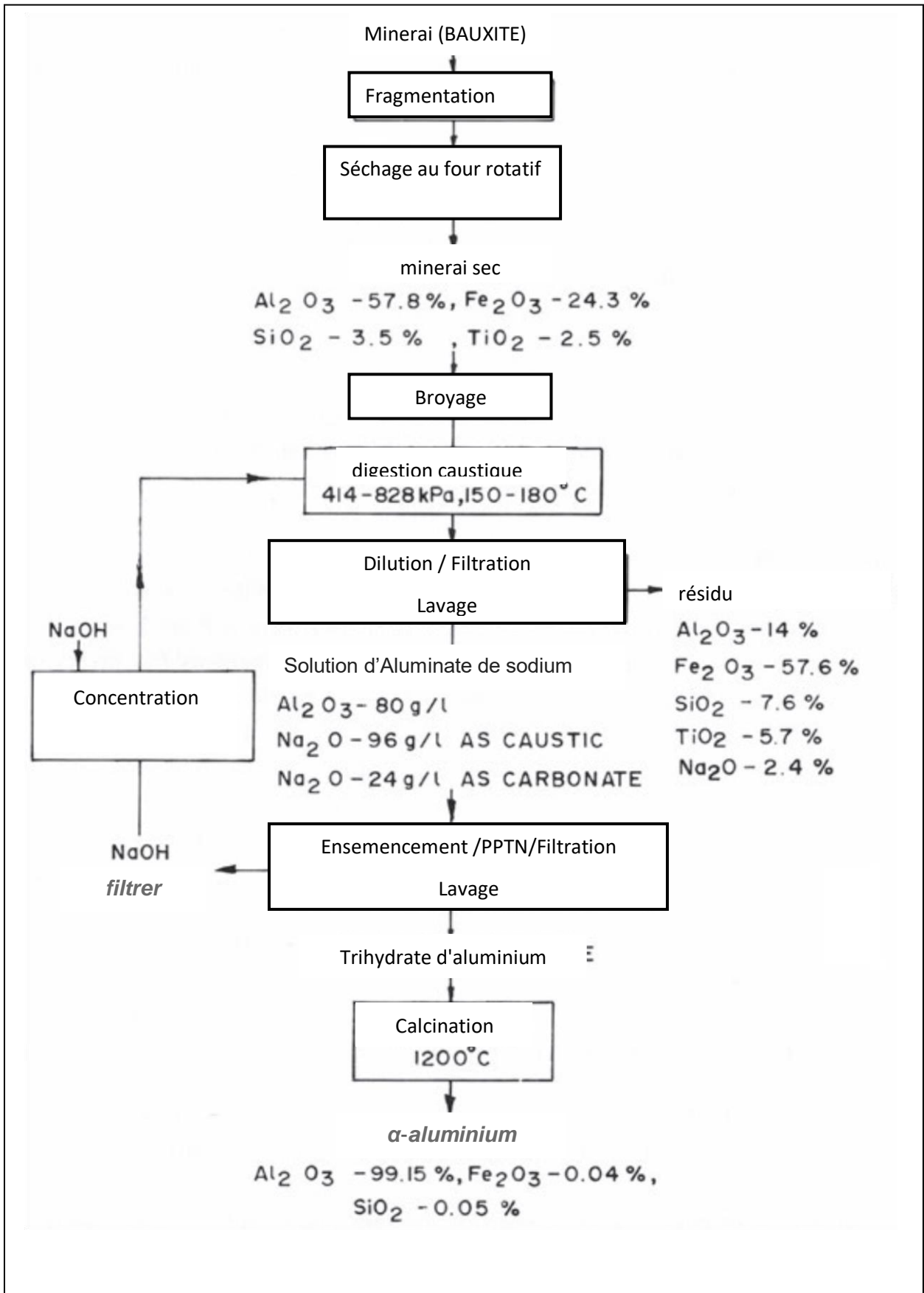


Figure I-2-4. Schéma détaillé du processus Bayer [8]

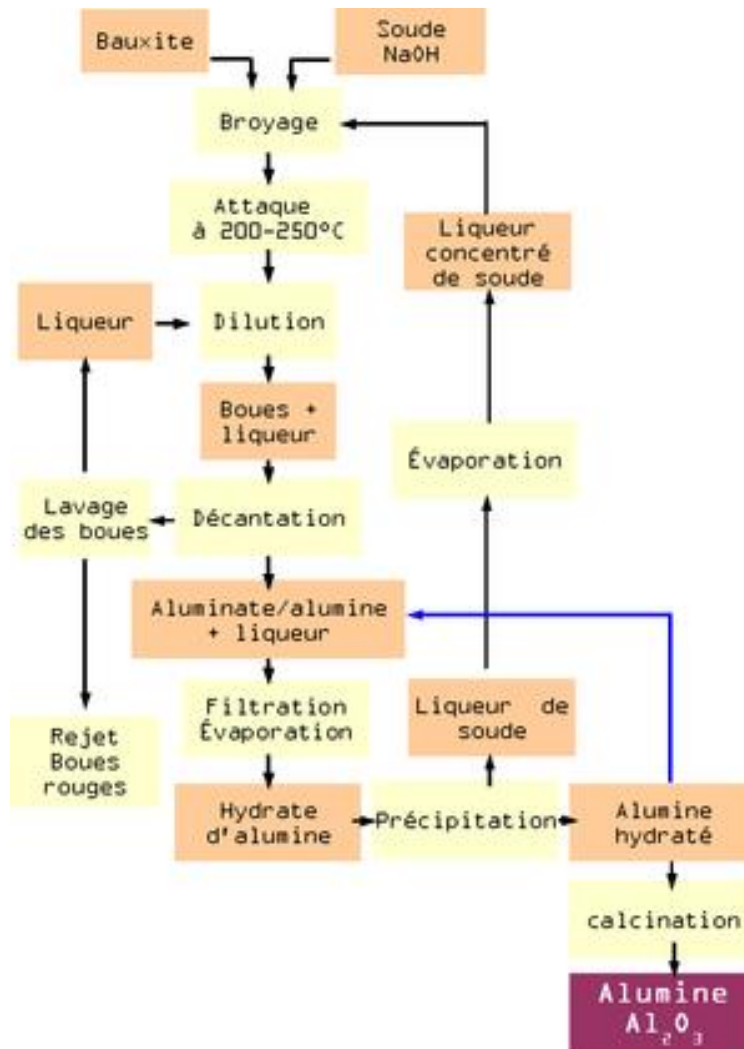


Figure I-2-5. Opérations de l'unité de traitement Bayer (Wikipédia)

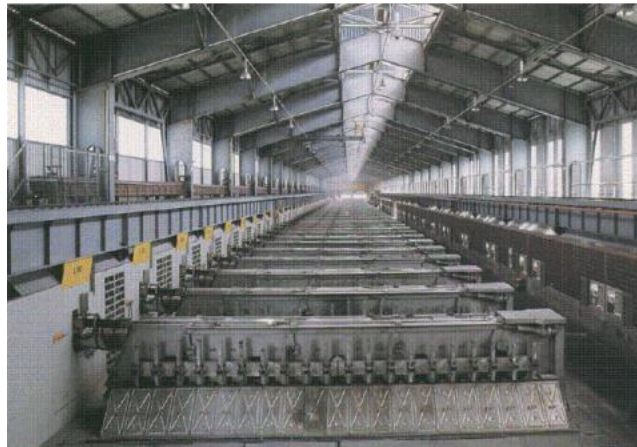
### I-2-3-Procédé Hall-Héroult

Le procédé Hall-Héroult (Figure I-2-6) [10] consiste à dissoudre couramment l'alumine extrait des divers minerais, dans un bain de cryolithe fondue  $Na_3AlF_6$  contenu dans une bac d'électrolyse maintenue à une température comprise entre 950 à 980 °C. L'alumine est électrolysée par le déplacement d'un courant continu entre l'anode et la cathode. La réaction principale est :



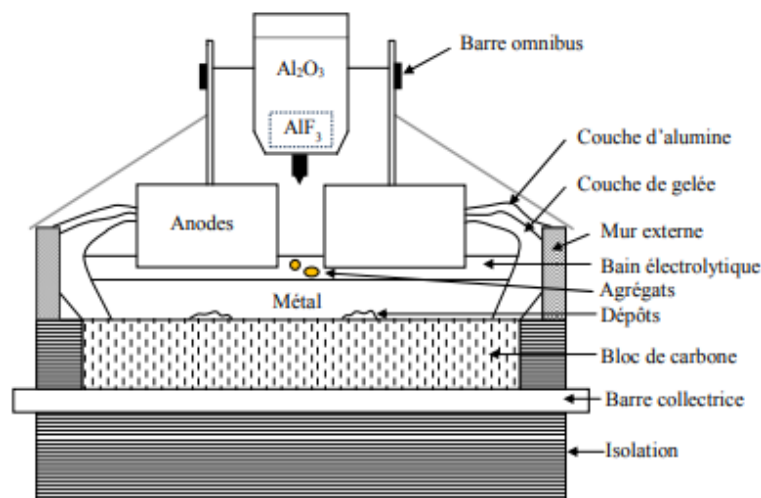
Le bac est généralement constitué d'anodes précuites, dans le cas de bacs actuel, d'un bain électrolytique, de murs isolateurs multicouches, d'une couche de métal, d'un système d'alimentation en alumine ainsi que du bloc cathodique qui inclut le bloc de carbone, les barres collectrices et un bloc d'isolation, voir figure I-2.7.

Le procédé Hall-Héroult moderne utilise des anodes de carbone. Les anodes sont effectuées à partir d'un mélange de coke de pétrole broyé et débraie de houille. Elles sont obtenues par deux techniques soit par une technique de cuisson ou par une technique d'auto-cuisson.



**Figure I-2-6 Partie d'une ligne de cuve moderne basée sur le procédé de fusion électrolytique Hall-Héroult [9].**

Théoriquement, la couche d'aluminium liquide est supposée comme étant la cathode de la cellule électrolytique, malgré que techniquement la cathode est en fait l'ensemble du bloc de carbone, des barres collectrices ainsi que de la couche d'isolant.



**Figure I-2-7- Schéma d'une cuve Hall-Héroult à anodes précuites [10]**

Le bloc de carbone est composé d'un assemblage de nombreux blocs de carbone pré-cuits réalisé par de semi-graphite ou d'antracite. Les barres collectrices sont situées sous le bloc de carbone et ont pour rôle de déplacement du courant. La couche d'isolant est composée de briques et de matériel réfractaire (forte inertie thermique). Cette couche a pour objectif de réduire au minimum les pertes de chaleur par le fond de la cuve.

### **I-2-3-1- Bain électrolytique**

Son objectif est de réduire la température du liquidus du bain, composé généralement de cryolithe et des additifs sont. L'addition de ces additifs fait réduire la température du liquidus à une valeur d'environ 940°C, comparativement à 1020°C pour un bain composé uniquement de cryolithe. Les principaux constitués ajoutés au bain sont des constitués de fluorure, soit :

- le fluorure d'aluminium,  $AlF_3$
- le fluorure de calcium,  $CaF_2$
- le fluorure de magnésium,  $MgF_2$
- le fluorure de lithium,  $LiF$
- le fluorure de potassium,  $KF$

L'alumine représente entre 2 à 4% en masse du bain. Elle est additionnée de façon régulière par un processus d'ajout par point, qui consiste à introduire l'alumine à différents endroits de la cuve, soit entre deux à cinq positions.

### **I-2-3-2- Réactions anodiques et cathodiques**

L'alumine dissoute, sous ses diverses formes, réagit avec le carbone afin de dégager des électrons et produit le dioxyde de carbone sous forme gazeuse. Les réactions à l'anode se classent, en deux catégories.

Faible concentration en alumine



Forte concentration en alumine





Les réactions à la cathode permettent le déplacement d'électrons de la couche d'aluminium liquide au bain électrolytique.



### **I-2-3 -Recyclage**

Étant donné que la refusion de la ferraille d'aluminium ne consomme que 5% de l'énergie nécessaire à la fabrication de l'aluminium primaire à partir de bauxite, la ferraille « en cours de traitement » issue de la fabrication de tôles, de pièces forgées et d'extrusions est revenue dans le four de fusion depuis le début de la production. En outre, peu de temps avant la Première Guerre mondiale, de « nouveaux » rebuts produits lors de la fabrication de produits commerciaux et domestiques en aluminium ont été collectés par des entrepreneurs qui ont lancé ce que l'on appelle l'industrie secondaire de l'aluminium. La composition chimique des nouveaux déchets est généralement bien définie ; par conséquent, il est souvent revendu aux producteurs d'aluminium primaire pour être reconstitué dans le même alliage. Les « nouveaux » rebuts sont désormais largement complétés par les « anciens » rebuts générés par le recyclage de produits de consommation mis au rebut, tels que des voitures ou des chaises de jardin. Étant donné que les vieux déchets sont souvent encrassés et forment un mélange de nombreux alliages, ils se retrouvent généralement dans des alliages de fonderie, qui contiennent des niveaux plus élevés d'éléments d'alliage.

Les récipients de boisson en aluminium usagés constituent un type unique de vieux rebuts. Bien que les corps et les couvercles de ces boîtes soient fabriqués à partir d'alliages d'aluminium différents, ils contiennent tous deux du magnésium et du manganèse. Par conséquent, les récipients de boisson recyclés peuvent être utilisés pour reconstituer le stock de l'un ou l'autre produit. L'énergie requise pour produire une canette de boisson à partir de déchets est d'environ 30% de l'énergie nécessaire pour produire la canette à partir de métal de première fusion. Pour cette raison, le recyclage des récipients de boisson usagés représente une source croissante de métal pour les producteurs de métaux de première transformation.