

**alucam**  
compagnie camerounaise d'aluminium



# ANALYSE CYCLE DE VIE DES PRODUITS EN ALUMINIUM ALUCAM

2024

## **SOMMAIRE**

<b>1. SOMMAIRE</b> .....	<b>2</b>
<b>2. INTRODUCTION</b> .....	<b>3</b>
<b>3. DE LA BAUXITE A L'ALUMINE</b> .....	<b>3</b>
<b>4. PRODUCTION D'ALUMINE (RAFFINAGE)</b> .....	<b>5</b>
<b>5. PRODUCTION D'ALUMINIUM PAR ELECTROLYSE : CAS D'ALUCAM</b> .....	<b>7</b>
5.1. Production des anodes Précuite .....	8
5.2. Production du métal liquide.....	9
5.3. Coulée des plaques et des lingots .....	11
<b>6. ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX</b> .....	<b>11</b>
6.1. Émissions atmosphériques.....	12
6.2. Gaz à effet de serre .....	15
6.3. Le Projet APC+ et MPF METSOL.....	16
6.4. Le plan d'action 2024 .....	16
6.5. Gestion de l'eau.....	17
6.6. Gestion des déchets (cf. HSE PRO 46 001 gestion des déchets minéraux et non minéraux) .....	21
6.7. Objectifs de baisse de génération, d'augmentation du recyclage et de valorisation des déchets (cf. plan stratégique de réduction de la génération, augmentation du recyclage et valorisation des déchets) .....	23
<b>7. CYCLE DE VIE DES LINGOTS EN ALUMINIUM ALUCAM</b> .....	<b>24</b>
7.1. METHODOLOGIE DE L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE .....	24
7.2. Les principes de l'analyse du cycle de vie (ACV) et cadre normatif .....	24
7.3. Les limites de l'analyse du cycle de vie (ACV) .....	25
7.4. But de l'étude .....	25
7.5. Champs de l'étude .....	25
7.6. Unité fonctionnelle .....	26
7.7. Description du produit .....	26
7.8. Applications.....	26
7.9. Données techniques .....	26
7.10. Caractéristiques géométriques du produit.....	27
7.1. Les frontières du système (Cradle to gate) .....	29
7.2. Collecte des données .....	30
7.3. Contrôle qualité des données .....	31
7.4. Catégories d'impact : sélection, classification et caractérisation .....	31
7.5. Modélisation des données.....	32
<b>8. RESULTATS</b> .....	<b>34</b>
8.1. Analyses préliminaires portant sur les impacts environnementaux si la Technologie 100 % précuite versus ou 100 % Soderberg.....	38
<b>9. DISCUSSION</b> .....	<b>39</b>
9.1. General .....	39

## **1. INTRODUCTION**

L'aluminium est le deuxième métal le plus utilisé après l'acier dans les sociétés modernes, et au cours des dernières décennies, l'usage de l'aluminium a connu une augmentation significative dans les transports, la construction, l'emballage et l'électrotechnique en raison de ses propriétés polyvalentes. Cependant, la production d'aluminium à partir de minerai (bauxite) nécessite beaucoup plus d'énergie que de nombreux autres métaux et provoque de grandes quantités d'émissions de gaz à effet de serre (GES) (Norgate et al., 2007).

À l'échelle mondiale, la production d'aluminium est responsable d'environ 1% de la production annuelle d'émissions de GES (AIE, 2009).

En raison de la mondialisation et de la raréfaction des ressources, les tendances des demandes des consommateurs ont changé et le besoin en produits économes en ressources et offrant une meilleure performance environnementale est devenue importante.

Les économies en énergie et la réduction des émissions GES est depuis longtemps devenue une préoccupation majeure pour la durabilité de l'industrie de l'aluminium.

Depuis son origine à la fin des années 1960, l'analyse du cycle de vie (ACV) a suscité un intérêt croissant de la part de l'industrie, des gouvernements et du public en tant que méthode globale d'analyse environnementale, et d'énormes progrès méthodologiques ont été réalisés.

Cependant, des incohérences typiques telles que les limites du système, les méthodes d'allocation et la caractérisation des impacts entravent encore une comparaison plus facile et une interprétation plus large des résultats de l'ACV.

Par exemple, les études ACV du même produit ou service donnent souvent des résultats très différents, ce qui peut affecter la perception de l'ACV comme outil de prise de décisions stratégiques dans le choix de matériaux et la conception des produits.

## **2. DE LA BAUXITE A L'ALUMINE**

La bauxite est généralement extraite dans des mines à ciel ouvert en éliminant les terres-mortes. Il existe trois principaux types de minerai de bauxite. Ils comprennent le trihydrate, constitué principalement de gibbsite,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  ; le monohydrate, constitué principalement de boehmite,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  ; et la bauxite mixte, composée de gibbsite et de boehmite. La proportion de minerais trihydratés et monohydratés dans ce type de bauxite diffère d'un gisement à l'autre, tout comme le type et la quantité d'impuretés. L'argile, l'hydroxyde de fer, la silice libre, et le limon sont également des constituants courants du minerai de bauxite. La teneur en alumine des minerais de bauxite varie de 31 à 52 %, soit une moyenne d'environ 41 % sur une base pondérée par la production (International Aluminum Institute, 2009b).

La grande majorité des minerais de bauxite dans le Monde sont extraits par des méthodes à ciel ouvert. Avant que l'exploitation minière des minerais puisse commencer, il est généralement nécessaire d'enlever les terres-mortes et de préserver la couche arable pour la réhabilitation après l'exploitation minière. La plupart des mines nécessitent l'enlèvement de 1 à 2 mètres (m) de terres-mortes. Les gisements de bauxite varient de 02 à 20 m d'épaisseur (International Aluminum Institute, 2009b).

Certains minerais de bauxite peuvent être expédiés directement vers une raffinerie d'alumine sans traitement car ils sont de qualité et de pureté suffisantes. D'autres minerais peuvent nécessiter des étapes supplémentaires, telles que la réduction de la taille et la réduction de la teneur en humidité avant l'expédition. Sur certains sites, la teneur du minerai peut être augmentée par élimination des argiles et autres impuretés par lavage, criblage humide, cyclonage et/ou tri. La flottation est parfois utilisée pour réduire la teneur en silice d'un minerai. Le mélange de minerais peut également être utilisé pour maintenir l'uniformité de la teneur afin de répondre aux spécifications.

Les déchets (principalement des argiles) produits lors de la transformation sont transportés et stockés dans des bassins de résidus. Le minerai qui doit être transporté sur des distances appréciables jusqu'aux raffineries est souvent séché pour réduire les coûts d'expédition.

Le diagramme (figure 1) ci-dessous présente les flux de matières généralement associés à l'exploitation de la bauxite.

Les flux en entrée et sortie sont mesurés en kilogrammes, en tonnes métriques et en mètres cubes par tonne métrique de bauxite extraite. Le modèle présenté à la figure 3 n'inclut pas les matériaux inclus dans les terres-mortes (European Aluminium Association, 2008).

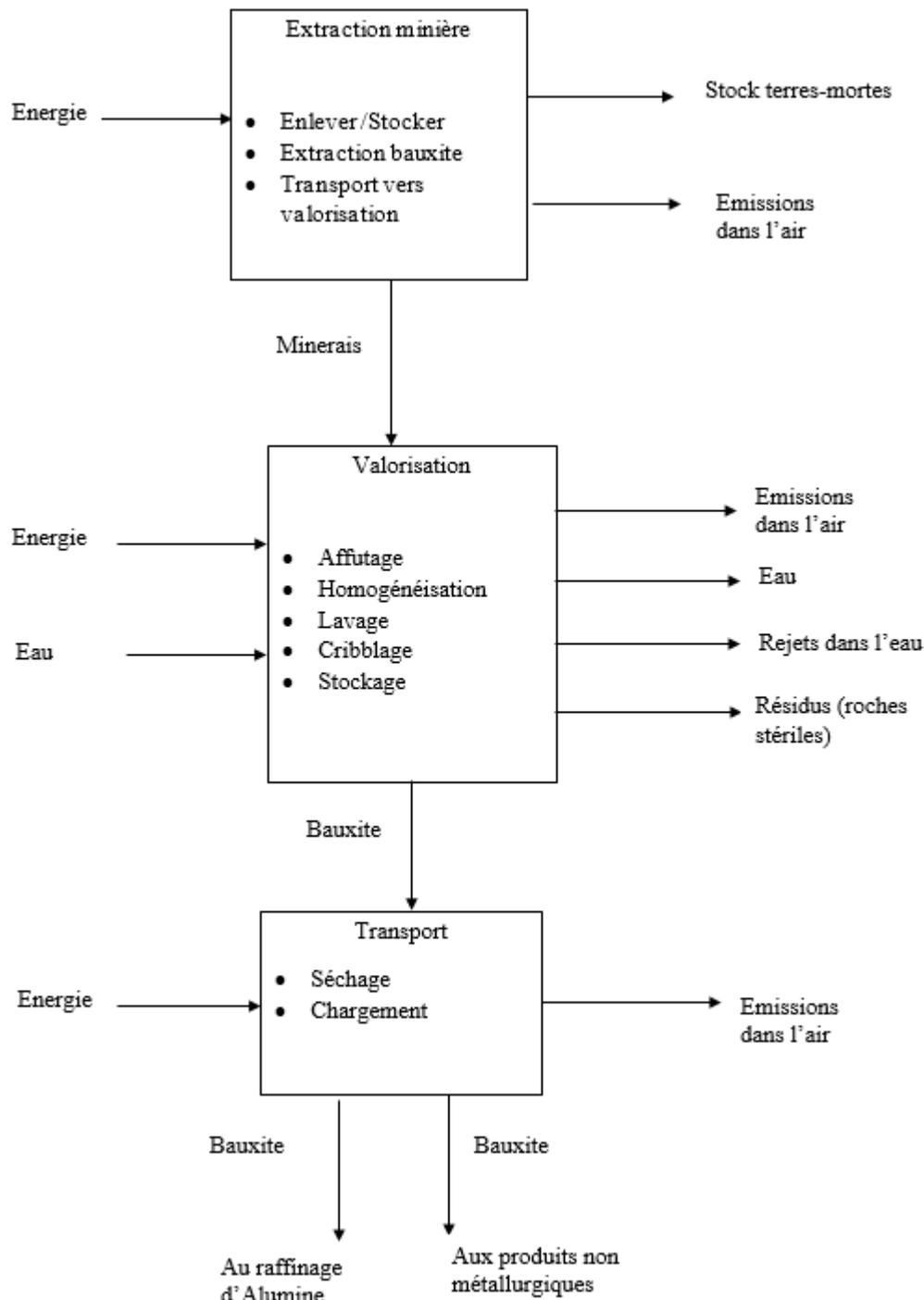


Figure 1 : diagramme du flux de processus pour l'extraction de la bauxite (Alcoa Inc. (2009))

### **3. PRODUCTION D'ALUMINE (RAFFINAGE)**

Pratiquement toute les alumines destinées au commerce est produite à partir de la bauxite par le procédé Bayer. Le procédé Bayer comprend les étapes suivantes :

Digestion. —La bauxite est broyée et réduite en suspension dans une soude caustique (NaOH), qui est ensuite pompée dans de grands réservoirs sous pression appelés digesteurs. L'hydroxyde de sodium réagit avec les minéraux d'alumine pour former de l'aluminate de sodium soluble (NaAl(OH)<sub>4</sub>).

Clarification. —La solution issue de l'étape de digestion est dépressurisée et traitée par des cyclones pour éliminer le sable grossier. Le fluide restant est traité dans des épaisseurs où des flocculants sont ajoutés aux solides agglomérés, qui sont éliminés par des filtres en tissu. Ces résidus (boue rouge) sont lavés, combinés et jetés, et la solution clarifiée (contenant le NaAlOH) passe à l'étape suivante.

Précipitation. —La solution issue de l'étape de clarification estensemencée avec des germes d'alumine (très petits) cristaux pour faciliter la précipitation de cristaux d'alumine agglomérés plus gros. Les cristaux de la taille du produit sont séparés des petits cristaux (recyclés comme graines) et lavés pour éliminer les résidus caustiques entraînés. Les agglomérats sont déplacés vers l'étape suivante.

Calcination. —Les agglomérats de NaAlOH sont placés dans des fours rotatifs ou des calcinateurs fixes à lit fluidisé à des températures qui peuvent dépasser 960 °C (1 750 °F), ce qui chasse l'eau chimiquement combinée, laissant un résidu d'alumine de qualité commerciale (Plunkert, 2006 ; Pontikes, 2005a).

Les flux de matières au sein du procédé Bayer dépendent de la qualité de la bauxite traitée ainsi que de la quantité et de la nature des minéraux non alumineux contenus dans la bauxite.

Le diagramme ci-dessous présente les flux de matières généralement associés à une raffinerie d'alumine par le procédé Bayer modèle « européenne » et « mondiale ». (European Aluminium Association, 2005).

Les flux en entrée et sortie sont mesurés en kilogrammes, en tonnes métriques et en mètres cubes par tonne métrique de d'alumine produite.



Le site industriel ALUCAM est composé de trois grands secteurs :

Le secteur Electrolyse avec 274 cuves,

Un secteur Electrodes

Un secteur Fonderie

#### **4.1. Production des anodes Précuite**

Les anodes sont constituées des blocs de carbone.

La production des anodes crues consiste en trois étapes successives :

- Préparation de la pâte par broyage et classification du coke et des anodes recyclées,
- Mélange avec le brai qui sert de liant (dosage) dans un mélangeur (malaxage) puis chauffage,
- Moulage en blocs par vibrotassage de la pâte pour obtenir une anode crue
- Refroidissement à l'air libre.

Pour obtenir les anodes cuites, les anodes crues sont portées à la température de 1100°C dans un four à cuire permettant transformer le brai (liant) en coke. Le four à cuire est un four enterré constitué de 30 chambres disposées côte à côte sur deux rangées. Il est alimenté par du fuel lourd comme combustible.

Le principe de cuisson consiste à faire tourner le feu dans les chambres par progression.

Ainsi chaque chambre passera par les étapes de préchauffage, cuisson et refroidissement.

Les fumées du four de cuisson sont évacuées vers l'extérieur à travers une cheminée.

La dernière étape de fabrication des anodes consiste à sceller une tige en aluminium sur les anodes cuites à l'aide de la fonte.

Les mégots d'anodes en provenance des cuves d'électrolyse sont nettoyés à sec par des outils mécaniques afin d'éliminer le plus possible les résidus de bains riches en fluor. Les résidus de bain solidifié sont récupérés et broyés à l'atelier de traitement du bain puis recyclés dans les cuves.

Les mégots, quant à eux, sont séparés des tiges, broyés puis recyclés avec les rebuts de pâte crue, de cuisson et de scellement pour la fabrication de nouvelles anodes.

## 4.2. Production du métal liquide

L'aluminium liquide est produit par la série d'électrolyse. La série comporte 274 cuves parcourues par un courant continu de 139 000 Ampères, la série est répartie en 6 bâtiments appelés « halls » disposés parallèlement.

Les cuves sont montées en série. Le courant électrique de 140 000 Ampères est délivré par la Sous-Station électrique.

Une cuve d'électrolyse (figure 3) est assimilée à un caisson métallique garni de matériaux réfractaires (dalles, briques ...) qui assurent l'isolation thermique. Au fond de la cuve sur le garnissage réfractaire, sont déposés les blocs cathodiques en carbone dans lesquels sont scellées les barres en acier qui permettent la traversée du courant.

La cuve est surmontée d'un portique appelé superstructure qui supporte les anodes (24 anodes par cuve). Cette superstructure permet la montée et la descente des anodes en fonction de leur usure. La superstructure est reliée à une tuyauterie de captation qui aspire les gaz et les poussières résultant de la réaction.

Les anodes sont changées à tour de rôle à l'aide des MSE (machine de service électrolyse) après 27 jours environ de service dans la cuve. Elles sont retournées au service Electrodes pour la récupération des tiges et de la partie carbonée non consommée.

Le remplacement des cathodes ainsi que la réfection ou le changement du garnissage réfractaire (débrasquage ou brasquage) des cuves est effectué de manière préventive tous les 6 ans environ.

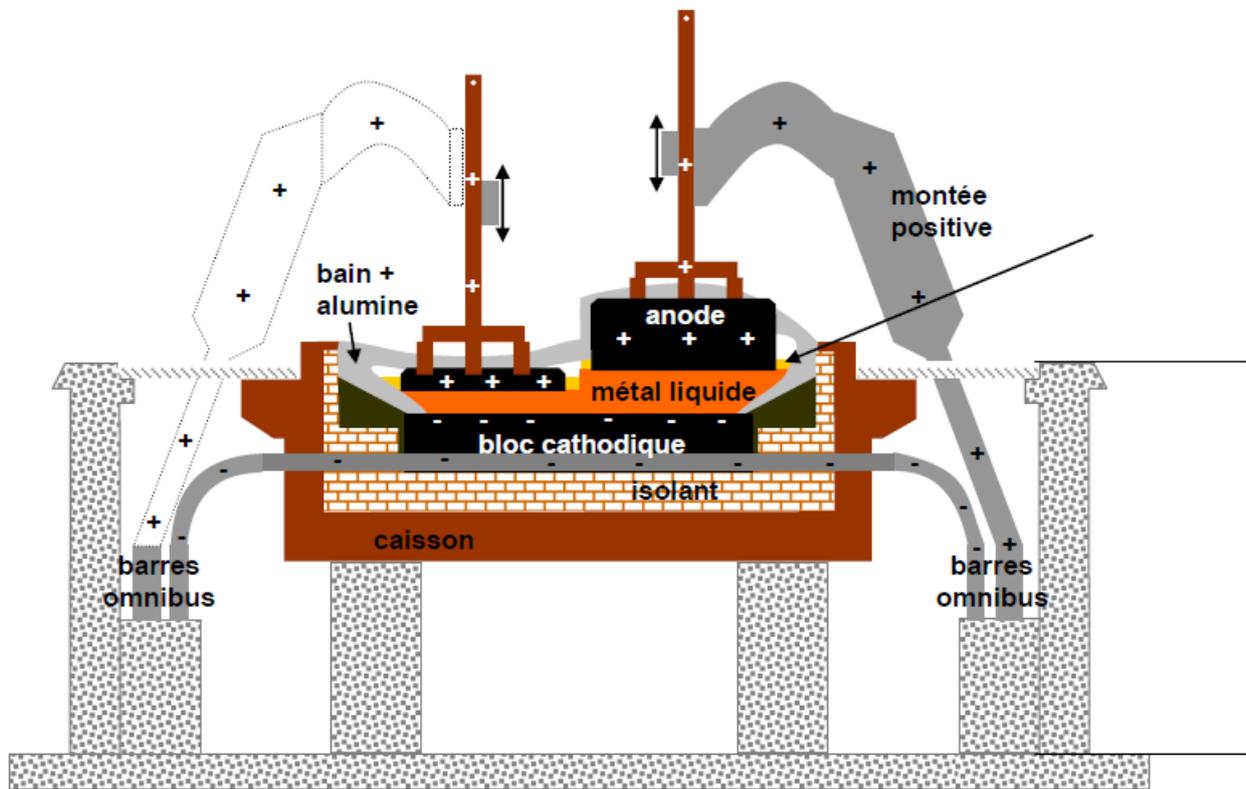
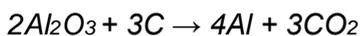


Figure 3 : Vue schématique d'une cuve d'électrolyse à anodes Précuite ALUCAM

#### 4.2.1 Principe de fonctionnement de l'électrolyse

Les anodes trempent dans le bain liquide ; le courant électrique parcourt la cuve des anodes vers la cathode. La cuve est périodiquement alimentée en alumine.

La réaction qui se produit dans le bain est la suivante :



Le bain contenu dans les cuves sert de catalyseur à la réaction. C'est un mélange de produits fluorés appelé cryolithe qui a aussi la propriété de dissoudre l'alumine.

Pour fabriquer une tonne d'aluminium il faut environ 1,92 tonne d'alumine et 425 kg de carbone.

#### 4.2.2 Captation et traitement des gaz

Deux centres de captation et traitement des gaz par injection d'alumine fraîche sont implantés entre les halls d'électrolyse, l'un pour les cuves des halls A, B et E, et l'autre pour les cuves des halls C, D et F. Les centres de captation et traitement des gaz sont équipés chacun d'un dépoussiéreur avec filtres à manches pour capter les poussières (Figure 4).

Le procédé utilise la capacité que possède l'alumine « sous-calcinée » de capter par adsorption l'acide fluorhydrique gazeux. Il consiste à favoriser le contact gaz-solide dans un réacteur venturi à la base duquel l'alumine fraîche est injectée dans les gaz, puis à

séparer dans un filtre à poches, l'alumine fluorée ainsi produite et les poussières entraînées par les gaz. Le rendement de filtration est supérieur à 95%.

#### **4.3. Coulée des plaques et des lingots**

La Fonderie a pour rôle de solidifier l'aluminium métal provenant de l'électrolyse en y incorporant au préalable certains éléments d'alliages ou métaux d'ajout tels que : le magnésium, le silicium....

Une fonderie avec 02 fours de refusion et 04 fours de maintien pour la refonte des chutes d'aluminium et la mise en forme de l'aluminium liquide en lingots 16 kg, lingots T et plaques.

Le produit obtenu se présente soit sous forme de plaques destinées principalement au laminage, soit sous forme de lingots pour la refusion.

Les différentes étapes sont les suivantes :

- Elaboration des alliages : des métaux d'addition sont ajoutés au métal liquide dans les fours.
- Affinage du grain des alliages liquides pendant la coulée à la sortie des fours,
- Coulée des plaques et des lingots T,
- Coulée des lingots 16 kg sur la chaîne à lingots et le conditionnement
- Sciage des plaques et des lingots T,

#### **5. ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX**

ALUCAM ambitionne de fabriquer ses produits conformément aux lois et réglementations applicables au Cameroun, en répondant aux exigences de qualité des clients et en s'efforçant d'améliorer de façon continue ses performances environnementales.

Pour supporter cette démarche, ALUCAM a mis en œuvre un système management intégré HSEQ qui s'appuie sur la triple certification :

- ISO 14001 : 2015
- ISO 9001 : 2015
- ISO 45001 : 2018

Les objectifs environnementaux de l'entreprise comprennent :

La réduction des émissions atmosphériques,

La sensibilisation accrue des employés aux questions environnementales,

La réduction à la source des rebuts de production, des déchets et la maximisation du recyclage,

L'élimination responsable des déchets ultimes.

## 5.1. Émissions atmosphériques

Les émissions atmosphériques dues aux processus en amont des étapes d'électrolyse et de fonderie à ALUCAM, c'est-à-dire les émissions provenant de l'extraction de la bauxite et du raffinage de l'alumine, proviennent en grande partie de la combustion de combustibles fossiles au cours de ces processus. Les principaux constituants sont les NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> et HF et particules.

### 5.1.1 Fluorures

Les fluorures sont les émissions caractéristiques des usines de production d'aluminium.

On distingue deux types de fluorures :

- Les fluorures gazeux, constitués de fluorure d'hydrogène ou acide fluorhydrique (HF) ;
- Les fluorures poussières ou particulaires (F<sub>p</sub>), qui sont les fluorures contenus dans les solides (poussières ou aérosols).

On appelle fluorures totaux (F<sub>t</sub>) la somme des fluorures gazeux et particulaires.

Les principales émissions de fluorures (>95%) proviennent des cuves d'électrolyse. Les émissions qui ne sont pas captées et dirigées vers un centre de traitement des gaz

(CTG) pour être traitées par injection d'alumine fraîche sont rejetées dans l'atmosphère par les lanterneaux (Figure 4). Les salles de cuves de la série actuelle d'ALUCAM sont ouvertes sur l'extérieur (absence de murs). Par conséquent, une certaine partie des émissions atmosphériques sont également rejetées dans l'atmosphère latéralement par vents forts.

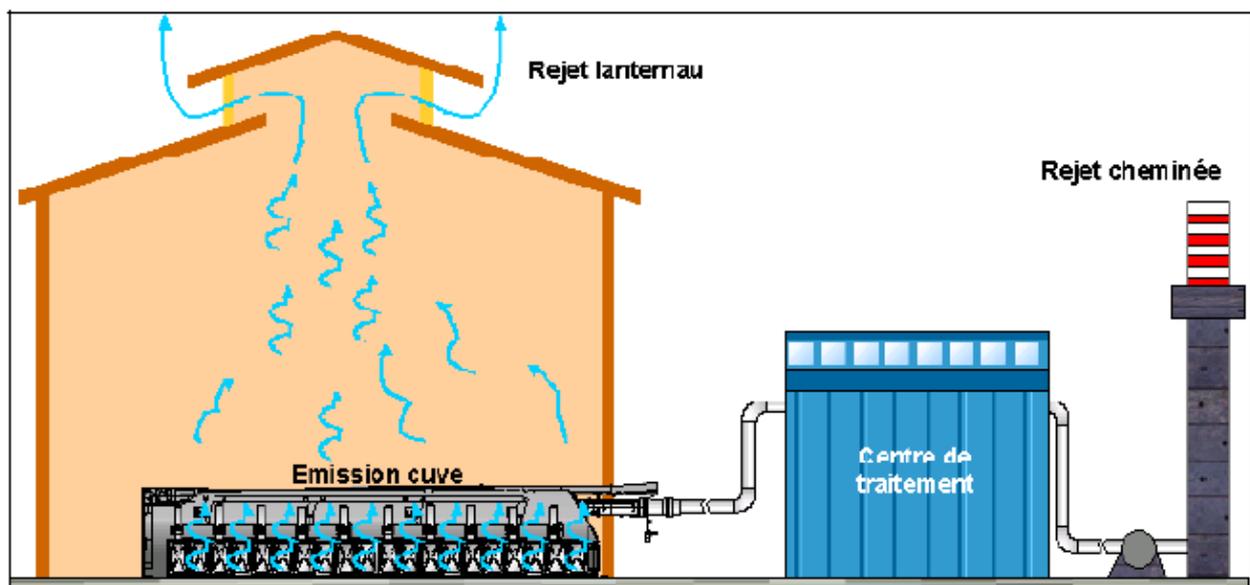
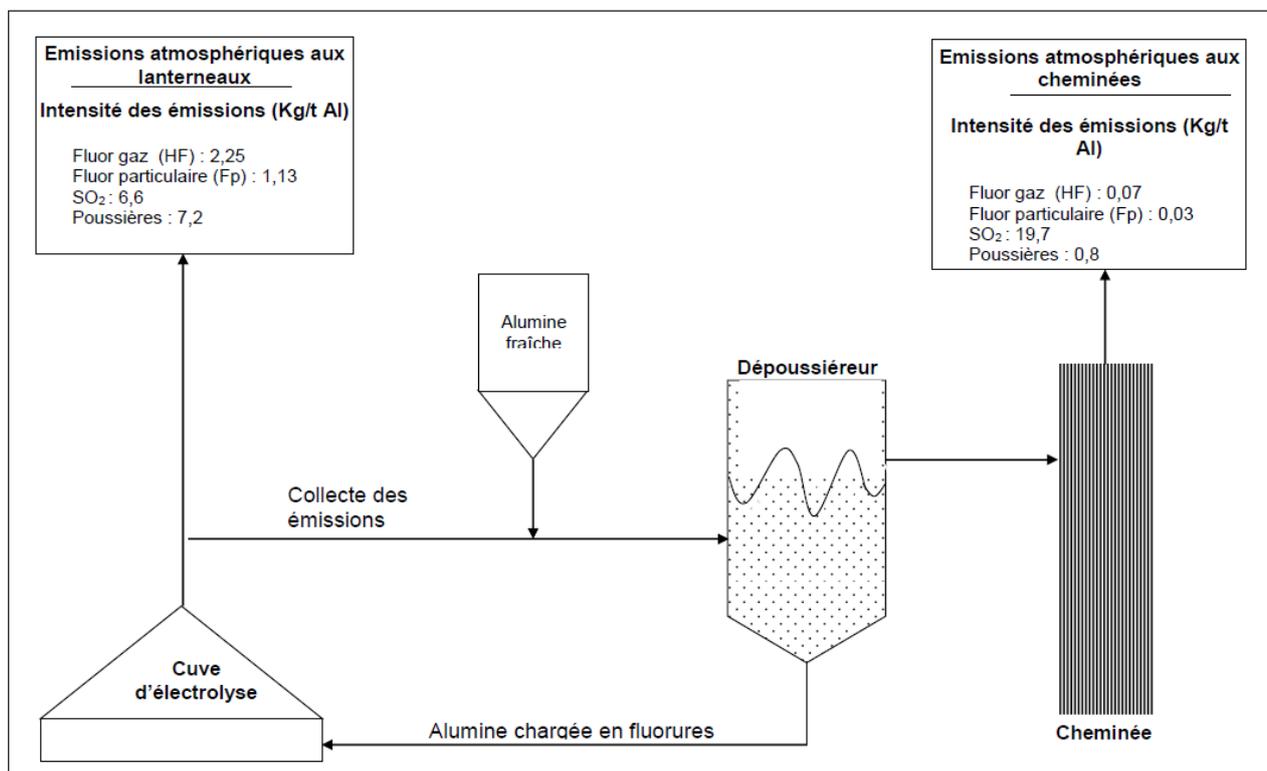


Figure 4 : Émissions atmosphériques à l'électrolyse



**Figure 5 : Centre de traitement des gaz (CTG) – diagramme de procédé**

Le four à cuisson des anodes est une autre source de fluorures gazeux. En effet, les mégots d'anodes recyclés à l'atelier à pâte contiennent des fluorures qui proviennent de leur séjour dans le bain d'électrolyse. Avant leur broyage, ils sont nettoyés à sec de manière à éliminer le plus possible de résidus de bain riches en fluor. Néanmoins, certains résidus fluorés demeurent dans les mégots et sont ainsi recyclés dans les anodes crues qui sont envoyées au four à cuire.

### 5.1.2 Goudrons

Les goudrons sont les émissions caractéristiques des fours à cuire. Les anodes crues contiennent environ 15% de brai, lui-même constitué de 55% de carbone fixe et de 45% de matières volatiles. Durant le cycle de cuisson, une partie de ces matières volatiles, appelées goudrons, distille et brûle plus ou moins complètement. Ces goudrons sont constitués de fractions légères qui sont libérées en premier et dont la combustion est quasi complète, ainsi que de fractions plus lourdes comprenant une famille d'hydrocarbures appelée hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

Le four ouvert utilisé actuellement chez ALUCAM permet d'obtenir des bas taux d'émissions de HAP

### 5.1.3 Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)

Les émissions de soufre (S), sous forme de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), proviennent des matières premières carbonées et des combustibles utilisés.

À l'atelier de fabrication des anodes, le SO<sub>2</sub> provient de l'oxydation du soufre contenu dans le brai des anodes crues lors de leur cuisson ainsi que de la combustion du fuel lourd. À

l'électrolyse, le SO<sub>2</sub> provient de la combustion du soufre contenu dans le coke des anodes cuites.

Environ 2 % du soufre contenu dans les anodes de carbone Précuite réagit avec l'oxygène pendant l'électrolyse pour former du SO<sub>2</sub>, c'est un autre constituant majeur des émissions des salles de cuves.

Le suivi des émissions atmosphériques est actuellement effectué de la façon suivante aux cheminées des deux centres de traitement des gaz (CTG) :

- Fluor (Ft) : Mesures mensuelles aux CTG ;
- Particules : Estimation mensuelle ;
- SO<sub>2</sub> : Estimation mensuelle par bilan de masse.

N° de station	Paramètre	Fréquence et type de suivi	Méthode d'échantillonnage
<b>CITE FROMAGER</b>	HAP	1x/10 jours	Préleveur dynamique
		Composé (24h)	
	SO <sub>2</sub>	En continu	
		Relevé 1x/mois	
HF	1x/10 jours		
	Composé (24h)		
<b>STATION DES EAUX</b>	HF	En continu	Papier à la chaux
		Relevé 1x/mois	
<b>DIGUE</b>	HF	En continu	Papier à la chaux
		Relevé 1x/mois	
<b>EX RIM</b>	HAP	1x/10 jours	Préleveur dynamique
		Composé (24h)	
	SO <sub>2</sub>	En continu	
		Relevé 1x/mois	
	HF	1x/10 jours	
Composé (24h)			
<b>DOM. EDING</b>	HF	En continu	Papier à la chaux
		Relevé 1x/mois	

<b>BILALANG</b>	HF	En continu Relevé 1x/mois	Papier à la chaux
-----------------	----	------------------------------	-------------------

Figure 6 : Programme échantillonnage des rejets dans l'air

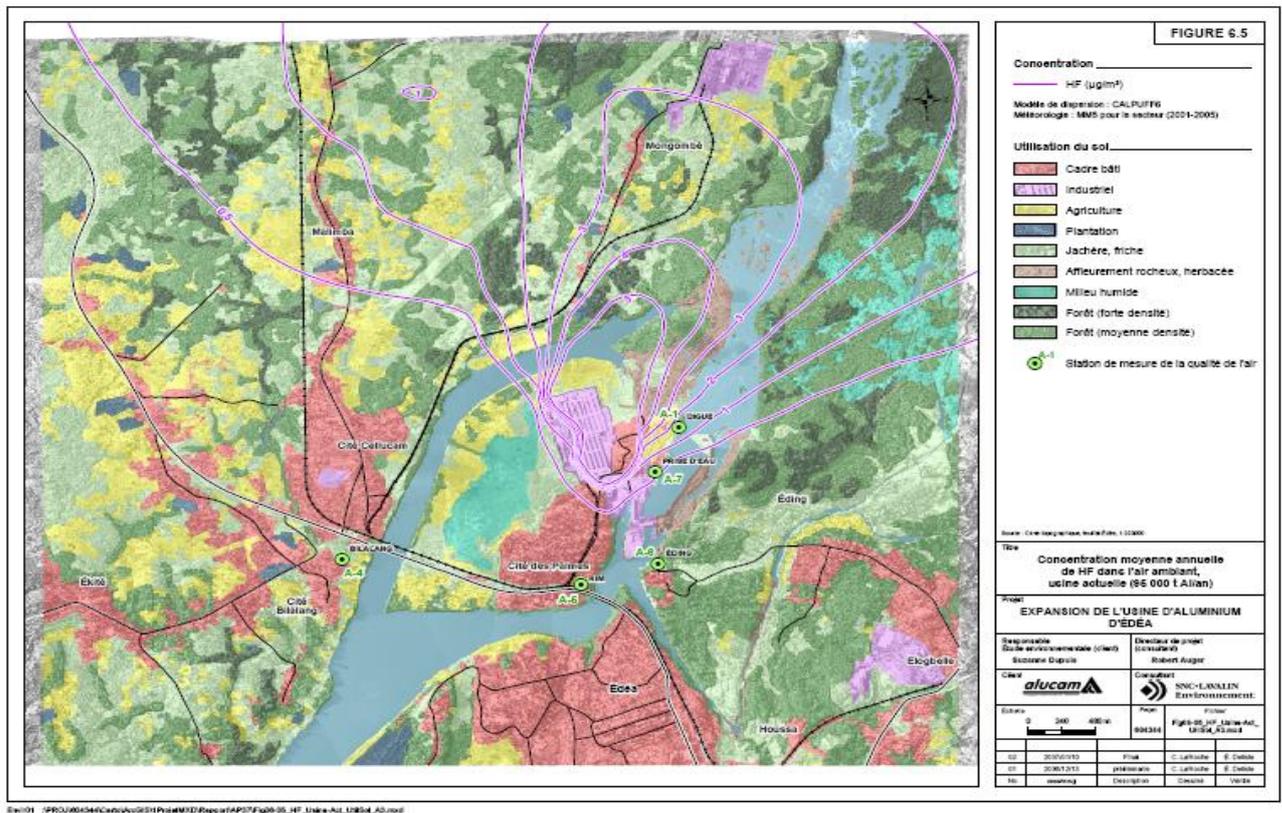


Figure 7 : Localisation des points d'échantillonnage papier à la chaux

5.1.4 Mesures et performances (cf. HSE PRO 42 001 Plan de gestion de la qualité de l'air)  
Une liste de rapport au sujet de l'air est transmise en interne et aux Administrations concernées :

- Rapport mensuel HSEQ (y compris kpi sur AIR) est présenté au Comité de Direction « CODIR »
- Rapport trimestriel des rejets AIR est transmise aux administrations concernées
- Revue de performances HSEQ (y compris kpi sur AIR) est présentée en revue direction

## 5.2. Gaz à effet de serre

Les émissions de gaz à effet de serre liées à la production des lingots d'aluminium primaire ALUCAM sont dues dans une large mesure à l'étape d'électrolyse du processus de production. Les émissions sont principalement du CO<sub>2</sub> en plus des fluorocarbures hexafluoroéthane (C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>) et tétrafluorométhane (CF<sub>4</sub>).

Le total des émissions de GES ALUCAM est de 782 070 tonnes en 2023 (scope 1+ scope 2). Les émissions de GES issues des PFC (CF<sub>4</sub> et C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>) représentent 81% du total de ces émissions.

La réduction des GES dues aux PFC constituera la priorité dans le déploiement de la stratégie 2024 de réduction des émissions de CO2 (cf. stratégie de réduction du CO2e).

### 5.3. Le Projet APC+ et MPF METSOL



Interfacicator	Units	Actual	Model	APC+	MPF APC+	MPF APC+ 1540	MPF APC+ 1540 HPCA
Pot Voltage	(V)	4.47	4.474	4.390	4.270	4.245	4.018
Line current	(kA)	139.0	138.99	140.10	139.24	150.12	165.86
Current efficiency	(%)	88.249	88.3	91.6	92.9	92.5	93.7
Net Carbon	kgC/T	437	438.0	428.5	405.5	408.3	403.2
AE overvoltage	(mV)	43	43.0	5.0	2.0	2.0	1.0
GHG emissions	TCO2/Tal	4.68	4.68	0.52	0.21	0.21	0.10
<b>Power efficiency</b>	<b>MWh/T</b>	<b>15.094</b>	<b>15.108</b>	<b>14.281</b>	<b>13.698</b>	<b>13.677</b>	<b>12.780</b>
Bath Superheat	(°C)	3.4	6.5	6.6	6.6	6.5	4.6
Bath Temperature	(°C)	976.0	973.6	961.7	961.9	961.8	961.0
<b>ACD</b>	<b>(mm)</b>		<b>49.0</b>	<b>42.3</b>	<b>38.0</b>	<b>37.8</b>	<b>34.0</b>
Cathode freeze	(m³)		0.000	0.123	0.179	0.172	0.166
Ledge thickness	(m)		0.27	0.25	0.31	0.29	0.31
Metal Height	(m)	0.23	0.24	0.24	0.24	0.26	0.24
Bath Height	(m)	0.12	0.12	0.13	0.15	0.15	0.16
Excess AlF3	(%)	8.5	8.5	12.0	12.2	12.2	11.8
<b>Financials</b>							
Pot Production TPA	Tonnes		361	377	380	408	457
Additional TPA			0	0	20		96
Pot CAPEX	\$/Pot		\$59,101	\$72,601	\$96,101	\$96,101	\$109,549
Total Conversion CAPEX per pot	\$/Pot		\$0	\$13,500	\$37,000	\$37,000	\$50,448
Savings \$/pot/Year	\$		\$0	\$106,194	\$122,012	\$129,305	\$163,493
Payback on additional Capex	(months)		0	0	4	3	4
Pot NPV @ 12%	12%		\$0	\$609,053	\$775,680	\$824,019	\$1,038,618
<b>Guaranteed Performance</b>							
Current efficiency				<b>90 %</b>			
Power efficiency				<b>14.80 MWh/T</b>			
Anode Effects Frequency				<b>0.5 AE/Pot-Day</b>			
GHG Emissions				<b>1.0 TCO2/Tal</b>			

Figure 8 : Indicateurs de performance technique projetés du projet MetSol chez ALUCAM

### 5.4. Le plan d'action 2024

N°	Objectifs 2024	Actions	Responsable	Vérificateur	Date	
					Prévue	Réalisée
1		Saturer la ligne de crédit ITFC	B. KANGA	A. MALONG	30/06/2024	
2		Finaliser le crédit cautionné par l'Etat (actionnaire majoritaire)	B. KANGA	A. MALONG	30/06/2024	
3	5% scope 1 : Amélioration de la situation financière de l'entreprise pour éliminer les ruptures de MP et MC	Rénégocier les contrats de fournitures de MP en améliorant la capacité de négociation (intégrer de nouveaux acteurs)	J. ELANG	A. MALONG	30/03/2024	
4		Poursuivre le programme de réduction des coûts fixes	T. MANGA	A. MALONG	30/06/2024	
5		Finaliser le contrat d'énergie	B. KANGA	A. MALONG	31/12/2024	
6		Importer les anodes cuites en tenant compte de la BBR et du système expert de décision	S. EKONG	T. MANGA	30/06/2024	
7	20% scope 1 : Stabilisation de la fourniture d'anodes	Evaluer le montant des capex nécessaire pour la réhabilitation complète du secteur Carbone	S. EKONG	T. MANGA	15/04/2024	
8		Remettre à niveau la Fumisterie du FAC (cloisons, murs intermédiaires, carneaux, ...)	PC. BAYOK	S. EKONG	31/12/2024	
9		Rénovation MSA (Pince, motorisation, CDR, Alimentation électrique, Ventilateur de suçage, etc...)	PC. BAYOK	S. EKONG	31/12/2024	
10		Rénovation Equipements de feux (Ventilateurs Exhaure, Rampes, brûleurs, ...)	PC. BAYOK	S. EKONG	30/06/2024	
11		Rénovation des convoyeurs d'anodes (tables à rouleaux, pousseurs, etc...)	PC. BAYOK	S. EKONG	30/09/2024	
12		Remettre à niveau la chaîne CFC au SCLT	PC. BAYOK	S. EKONG	30/09/2024	
13		Faire le GE AAP	PC. BAYOK	S. EKONG	30/09/2024	
14		Faire le GE TRC	PC. BAYOK	S. EKONG	30/09/2024	
15		Assurer les missions d'accompagnement de l'Assistance Technique de PDG Tech et suivre la réalisation du plan d'actions associé	S. EKONG	T. MANGA	30/06/2024	
16		6% scope 1 : Réduction des SEA par l'augmentation de la disponibilité des MSE (phase 1 GE sur 3 MSE) et la rapidité du traitement des EA	Remplacer les rails de Direction Cabine sur les 6 MSE	E. MBOUDI	S. EKONG	30/06/2024
17	Remplacer les rails de Translation sur les Halls A, B, C et D		E. MBOUDI	S. EKONG	30/06/2024	
18	Faire le GE de 3 MSE (Remise à niveau des armoires électriques, remplacement des sous-ensembles dégradés, révision des sommiers, etc...)		E. MBOUDI	S. EKONG	31/12/2024	
19	Doter la maintenance posée d'une voiturette pour améliorer la réactivité		E. MBOUDI	S. EKONG	30/09/2024	
20	Mettre en place une équipe de chasseurs de surtension		E. MBOUDI	S. EKONG	30/03/2024	
21	Doter les chasseurs de surtension et les surveillants de hall de vélo		E. MBOUDI	S. EKONG	30/04/2024	
22	31% scope 1 : 50% des cuves en système APC+ de Metsol	Finaliser les actions du Kaizen 2023 sur la baisse de 60% des SEA	E. MBOUDI	S. EKONG	30/06/2024	
23		Finaliser les actions des Kaizens 2023 sur l'amélioration de la disponibilité des MSE	E. MBOUDI	S. EKONG	30/06/2024	
24		Implémenter les 130 cuves en APC+ suivant la calendrier préétabli	A. NDONGO	S. EKONG	31/12/2024	
25	0,4% scope 1 : Coulée à la Brochet sans fuel	Proposer et valider le concept	P. MBANGSI	S. EKONG	30/04/2024	
26		Faire les essais	P. MBANGSI	S. EKONG	30/06/2024	
27		Mettre en place la solution en tenant compte de tous les aléas	P. MBANGSI	S. EKONG	30/09/2024	
28	5 cuves fonctionnant avec les MPF (piquage ponctuel et capotées)	Monter les systèmes MPF sur les 5 cuves choisies pour les essais	A. NDONGO	S. EKONG	30/06/2024	
29		Mettre en place le suivi rigoureux des essais (Cuves de ref vs cuves d'essai)	E. MBOUDI	S. EKONG	30/06/2024	

Figure 9 : Plan d'actions GES 2024 pour les GES

## 5.5. Gestion de l'eau

### 5.5.1 Exigences en matière de gestion

#### 7.1 Évaluation de l'Eau et sa Déclaration

L'Entité doit:

- Identifier, documenter et déclarer publiquement, annuellement, ses prélèvements et ses consommations en eau par source et par type.
- Entreprendre annuellement une évaluation des risques liés à l'eau dans les Bassins Hydrographiques situés dans la Zone d'Influence de l'Entité, et s'ils sont importants, les rendre publics.

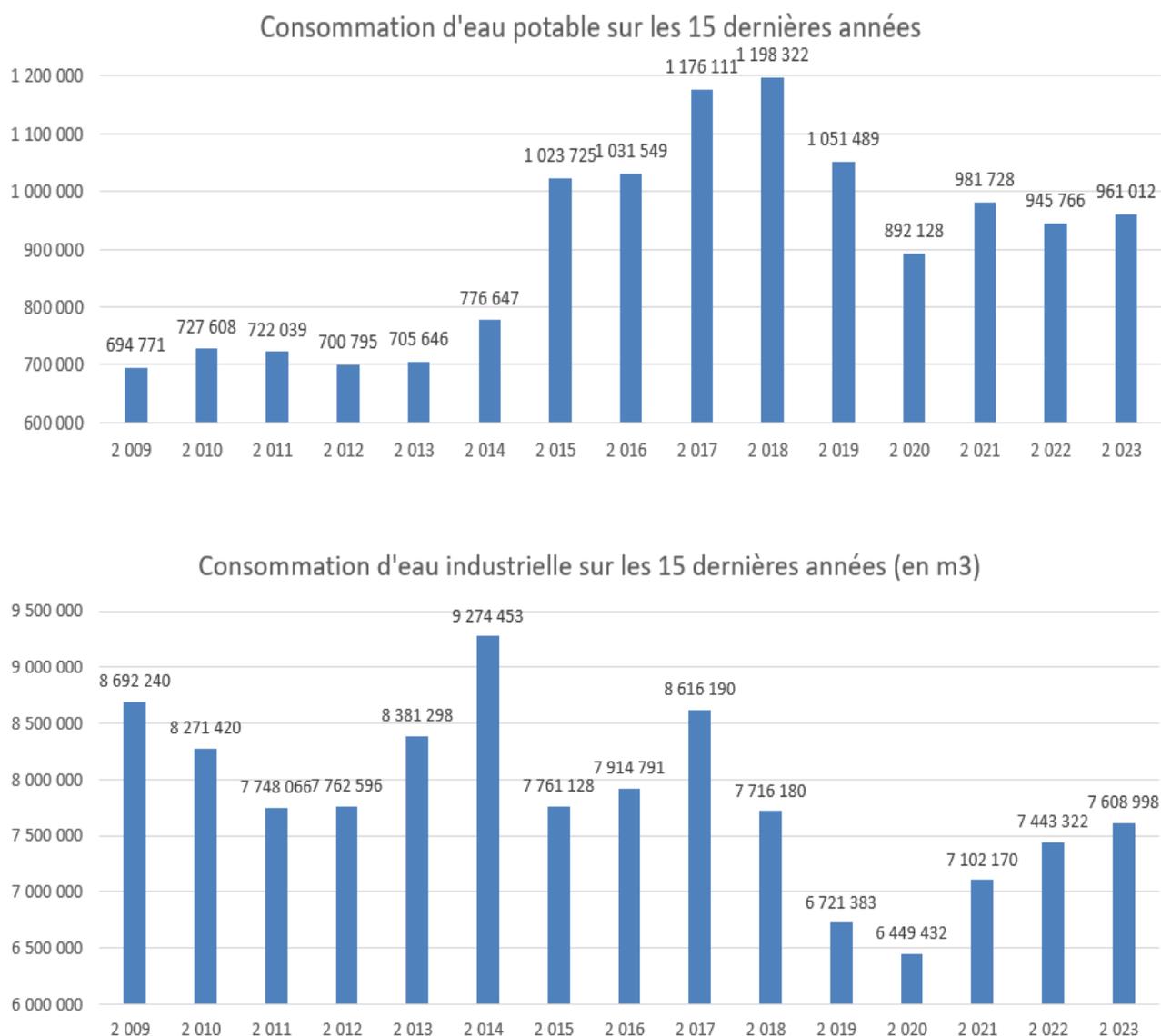
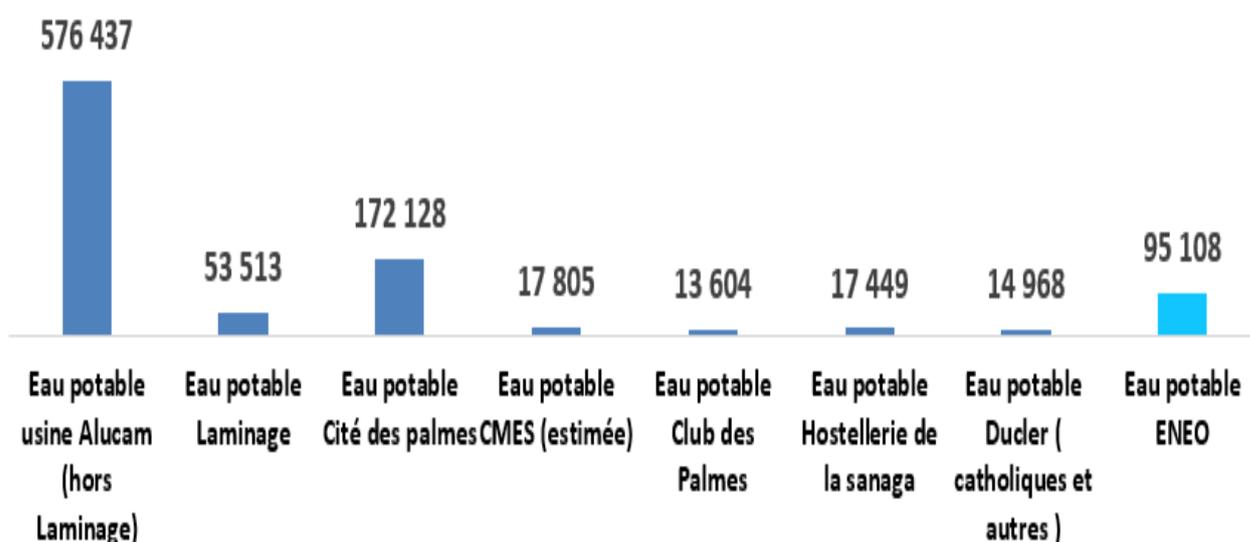


Figure 10 : historique consommation d'eau ALUCAM sur 15 ans

- La consommation d'Eau Industrielle a connu une réduction de 12% entre 2009 et 2023. Baisse principalement due à un meilleur suivi des consommations d'eau et le traitement des fuites dans le réseau.
- Certaines modifications dans le process de refroidissement (exemple : passage de 05 à 02 groupes redresseurs en boucle ouverte) et certains groupes hydrauliques et réducteurs dont le refroidissement est passé de l'eau industrielle à eau potable au Laminage.
- La consommation d'Eau Potable a connu une augmentation de 38% entre 2009 et 2023 lié aux mêmes changements ci-dessus.
- L'installation de la nouvelle ligne de Laquage a également induit une augmentation des 02 types de consommations

### 5.5.2 Consommation en eau par Atelier

#### Répartition des consommations d'Eau Potable en 2023



#### Répartition des consommations d'Eau Industrielle en 2023

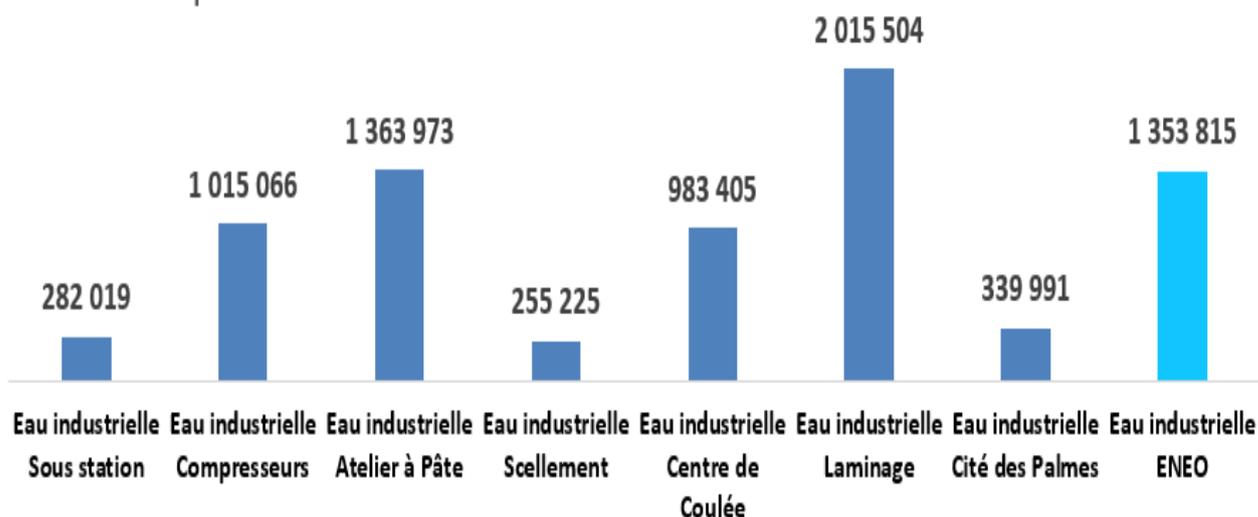


Figure 11 : Répartition des consommations EP et EI ALUCAM 2023

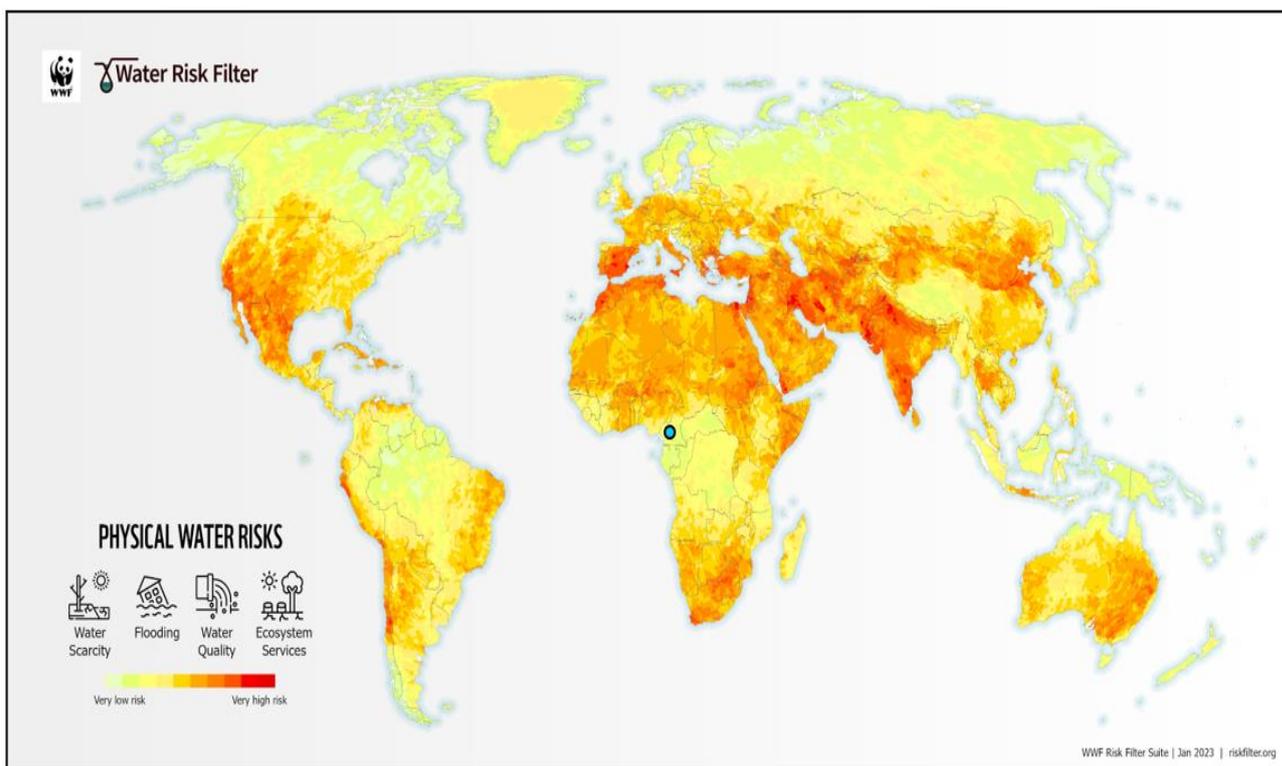
Les consommations les plus importantes de notre périmètre d'action directe sont :  
Pour l'Eau Potable :

- Eau potable Usine (y compris Laminage) avec 1726 m<sup>3</sup>/j pour 67% du total
- Cités des Palmes avec 472 m<sup>3</sup>/j pour 18% du total EP

Pour l'Eau Industrielle :

- Laminage avec 5 522 m<sup>3</sup>/j pour 26% du total
- Atelier à pâte 3737 m<sup>3</sup>/j pour 18% du total
- Compresseurs d'air 2781 m<sup>3</sup>/j pour 13% du total

### 5.5.3 Evaluation des risques liés à l'eau dans le bassin



Source : WWF Water Risk \_ Jan 2023

Figure 11 : Carte d'évaluations des risques de l'Eau selon WWF

Le site industriel ALUCAM est implanté au Cameroun, en Afrique Centrale.

Il est localisé dans le bassin versant du fleuve Sanaga qui s'écoule à 70km en aval dans l'Océan Atlantique.

La zone d'opération est classée comme un risque très faible par WWF (World Wildlife Fund) **Fonds mondial pour la nature** en matière de :

- Rareté de l'Eau
- Inondation
- Qualité de l'Eau
- Service Ecosystème

<b>Niveau des eaux et consommations</b>	<b>Débit (en m3/s)</b>	<b>Proportion conso/dispo</b>
<b>Basses eaux en débit naturel</b>	<b>400 m3/s</b>	<b>0,068%</b>
<b>Basses eaux en débit régulé</b>	<b>700 m3/s</b>	<b>0,039%</b>
<b>Hautes eaux</b>	<b>8 000 m3/s</b>	<b>0,003%</b>
<b>Débit actuel régulé par Lom Pangar</b>	<b>1 100 m3/s</b>	<b>0,025%</b>
<b>Toutes consommations en 2023</b>	<b>0,27 m3/s</b>	

Source : \*Audit Environnemental du Site Alucam/Socatral \_ Rapport final Janvier 2012 \_ Paragraphe 4.3.2.2 Hydrologie et Hydrogéologie

Figure 12 : débits du Sanaga

Avec environ 0,03% de prélèvement en débit régulé dans la configuration actuelle, ALUCAM ne représente pas de risque de stress hydrique du bassin hydrologique. Tenant compte des effets du réchauffement climatique, un plan stratégique est défini pour baisser la consommation en Eau. La plan maîtrise des rejets d'eau est piloté par le biais du plan de surveillance (analyses des prélèvements et plan d'action associé au besoin).

5.5.4 Objectifs de baisse de la consommation et réduction des impacts à horizon 2023 (cf. plan stratégique gestion de l'eau)

## 5.6. Gestion des déchets (cf. HSE PRO 46 001 gestion des déchets minéraux et non minéraux)

### 5.6.1 Historique de génération

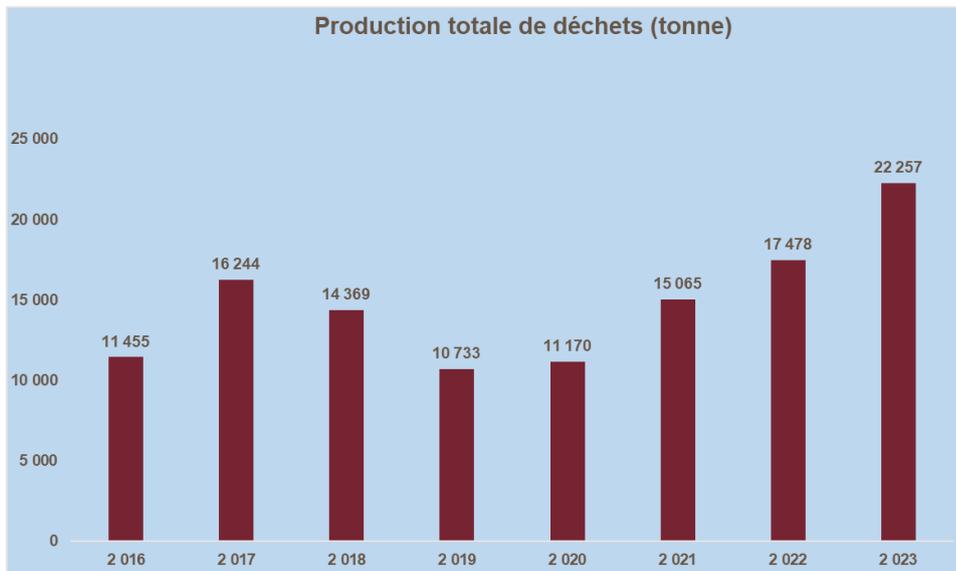


Figure 13 : historique de production des déchets

Le graphique récapitulatif des déchets générés ci-dessus prend en compte la totalité des déchets. Notamment les déchets ultimes (brasques réfractaires, brasques carbonées, boues, balayures, alumine souillée, charbonaille), les déchets industriels banals et les déchets domestiques.

### 5.6.2 Indicateurs, priorisation et objectifs

Une bonne gestion des déchets présente de nombreux avantages environnementaux et économiques.

Pour une meilleure gestion des déchets, les objectifs du site industriel ALUCAM sont :

- Réduire les quantités de déchets produites
- Réduire les risques de pollution
- Trier les déchets dans le but de distinguer les déchets pouvant être soit recyclés, soit réutilisés ou alors éliminés
- Maximiser les quantités de déchets recyclé en interne
- Valoriser les crasses du centre de coulée
- Minimiser les déchets ultimes mis au CSDU
- Assurer une mise en décharge Responsable

Parmi les indicateurs de suivi de la performance opérationnelle, on peut citer :

- Le suivi mensuel de l'évolution des déchets produits (Cf. KPI\_Env\_Alucam)
- Le suivi quantitatif par nature de déchet et par destination (CSDU, décharge Communale, cession, recyclage ou réutilisation)
- L'indicateur concernant la qualité du tri des déchets à l'intérieur de l'usine sous forme d'une note élaborée lors des tournées d'inspection des différents secteurs du site industriel ALUCAM par le « Groupe Oplus ».

### 5.6.3 Réduction à la source

Chaque année nombreux rituels inscrits dans le cycle de la performance (Ateliers de sélection des projets Business Improvement (BI), Revues mensuelles, Revue budgétaire, etc...) permettent de générer dans chaque secteur des projets de nature diverses pour la réduction de la production des déchets à la source.

### 5.6.4 Réutilisation et recyclage

Certains déchets/chutes de production sont réutilisés ou recyclés, on peut citer les rebuts ci-dessous :

- Crasses de fonderie,
- Huiles usagées,
- Chutes de production de l'aluminium dans les service, Electrolyse, Centre de Coulée, Laminage

Les quantités recyclées ou réutilisées sont suivies mensuellement dans les services respectifs.

### 5.6.5 Entreposage

Les règles sont clairement définies pour l'entreposage, la manutention, le traitement et l'élimination des déchets afin d'éviter toute pollution de l'environnement (cf. HSEPRO 46 003 gestion de manutention des fûts d'huile).

- Les déchets minéraux et non minéraux générés dans le site sont triés à la source et stockés dans les bennes dédiées,
- Toutes les bennes de déchets minéraux et non minéraux sont couvertes,
- La cartographie des bennes de déchets indique les lieux de stockage des différentes bennes sur l'ensemble du périmètre géré « HSE FRM 44 303 »
- Lorsque cela est nécessaire, exemple des travaux de démolition, des bennes de proximité sont mis en place pour assurer une gestion appropriée des déchets générés.
- Le transport des déchets vers le CSDU se fait à l'aide de bennes bâchées.
- Le transport du Lixiviat du CSDU vers l'unité de traitement du lixiviat (UTL) se fait avec des réservoirs spécifiquement conçus pour éviter tout déversement en cours de transport.
- Le Centre de tri localisé au CSDU sert au stockage transitoire des brasques avant l'entreposage dans les alvéoles du CSDU.
- Le Centre de tri est inspecté (état de la toiture, murs, sol, ...)
- En cas d'anomalie constatée lors de l'inspection, l'équipe en charge de la gestion des déchets rédige un avis de maintenance afin d'effectuer les réparations nécessaires.

### 5.6.6 Transport, traitement et élimination

La présente procédure fixe les exigences minimales ALUCAM en matière de transport, traitement et élimination des déchets minéraux et non minéraux.

Toutes les bennes transportant les déchets minéraux et non minéraux doivent être étanches, couvertes.

Les incidents impactant l'environnement sont rapportés immédiatement au service HSEQ et traités conformément à la procédure « HSE PRO 14 001 gestion des incidents HSEQ »

La procédure « HSE PRO 46 301(Gestion des déchets banals, ultimes et spéciaux) » précise les dispositions garantissant la traçabilité de l'enlèvement, le transport et traitement des déchets minéraux et non minéraux.

Après l'élimination des déchets par un prestataire agréé, un bordereau attestant la destruction des déchets est envoyé à Alucam avant tout paiement de la prestation (cf. huiles usagées, déchets spéciaux du CMES, produits chimiques périmés etc...)

Les contrats mis en place pour traitements des déchets (déchets ultimes, Lixiviat, huiles usagées...) précises toutes les dispositions prises pour minimiser les impacts environnementaux liés à la gestion des déchets.

### 5.6.7 CSDU

Le Centre de Stockage des Déchets Ultimes (CSDU), considéré comme un modèle de meilleure pratique en Afrique, est entré en service en mai 2004. Avant 2004, la plupart des résidus étaient stockés à proximité du complexe industriel et le reste était recyclé ou réutilisé. Cette gestion posait des risques potentiels à l'environnement et cet ancien lieu de stockage près de l'usine est maintenant fermé. C'est pourquoi ALUCAM a évalué la possibilité de créer un centre de stockage des déchets pour les résidus qui ne peuvent être recyclés sur place. De son propre chef, l'entreprise a construit un nouveau site de stockage des résidus à 11 km du complexe industriel sur le côté est de la route Édéa-

Douala. Le site du CSDU a été retenu à la suite d'une étude réalisée par la société française d'ingénierie et de conseil ANTEA en 2000 afin de déterminer le mode de fermeture de l'ancienne décharge et de faire l'étude préliminaire des sites potentiels pour le nouveau centre de stockage des déchets. De plus, le CSDU a fait l'objet d'une étude d'impact environnemental en 2002. La figure suivante présente la distribution des déchets enfouis au CSDU en 2005 (figure

Durant les périodes où l'arrêt et le démarrage des cuves sont fréquents, on note une augmentation de la quantité de résidus envoyés au CSDU. Par conséquent, une alimentation en énergie électrique plus soutenue et en continu permettra de réduire de façon significative la quantité de résidus envoyés au CSDU. Notamment, la durée moyenne du brasquage de la série augmentera de 53 à 72 mois réduisant ainsi de plus de 30% de la quantité de brasques usées générées en moyenne chaque année.

### **5.7. Objectifs de baisse de génération, d'augmentation du recyclage et de valorisation des déchets (cf. plan stratégique de réduction de la génération, augmentation du recyclage et valorisation des déchets)**

## 6. CYCLE DE VIE DES LINGOTS EN ALUMINIUM ALUCAM

### 6.1. METHODOLOGIE DE L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE

La norme ISO 14040 : 2006 précise que l'ACV comporte quatre phases : l'objectif et la définition du périmètre, analyse de l'inventaire, évaluation et interprétation des impacts.

Projet	Etapes	Détails par étape
Analyse Cycle de Vie Aluminium	Définition objectifs et champ de l'étude	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pour quel application</li> <li>La cible de l'étude</li> <li>Le Périmètre de l'étude</li> </ul>
	Analyse de Inventaire de cycle de vie (AICV)	Quantification des flux élémentaires pertinents qui traversent les frontières du système de produits, les données recueillies sont de type (mesurées, calculées ou estimées): <ul style="list-style-type: none"> <li>Liste exhaustive des flux entrants pour chaque étape (matières premières et énergie)</li> <li>Liste exhaustive des flux sortants pour chaque étape (déchets et rejets)</li> </ul>
	Evaluation des impacts	Interprétation des résultats de l'AICV du système de produits étudié afin d'en comprendre la signification environnementale, par catégorie d'impacts: <ul style="list-style-type: none"> <li>Dommages écologiques (Changement climatique et effet de serre, Acidification ou pluies acides, Ecotoxicité aquatique)</li> <li>Dommage sur la santé (Destruction de la couche d'ozone, Oxydation photochimique ou Smog photochimique, Radiation ionisantes)</li> <li>Diminution des ressources (Consommation d'énergie, Epuisement des ressources eau, Epuisement des ressources naturelles)</li> </ul>
	Interprétation des résultats	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyser les résultats de l'AICV</li> <li>Etablir des conclusions</li> <li>Fournir des recommandations en se basant sur les résultats des phases précédentes de l'étude</li> </ul>

Par ailleurs, la méthodologie de l'ACV, dans le cadre réglementaire, elle se focalise prioritairement sur la maîtrise des impacts associés à son site de fabrication. Néanmoins, les maillons de la chaîne logistique associés à la fabrication d'un produit fini sont parfois nombreux, et sont autant de sources potentielles d'impact sur l'environnement. Pour avoir une vision exhaustive des impacts environnementaux sur l'ensemble de la chaîne logistique, la méthodologie de l'ACV est l'outil indispensable.

L'Organisation internationale de normalisation (ISO) a élaboré deux normes internationales pour la description du cadre général méthodologique et terminologie pour l'ACV :

- ISO 14040 : Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Principes et cadre (ISO, 2006a)
- ISO 14044 : Management Environnemental – Analyse du Cycle de Vie – Exigences et lignes directrices (ISO, 2006b)

Les normes ISO définissent l'ACV comme une « compilation et évaluation des entrées, des sorties et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits tout au long de son cycle de vie (ISO, 2006a, p.2).

L'ACV ne prédit pas les effets absolus sur l'environnement mais aborde plutôt les impacts environnementaux potentiels. Il aide l'industrie, les gouvernements et les organisations

non gouvernementales dans leurs efforts de planification stratégique, de conception de produits ou de processus et de gestion environnementale pour identifier les opportunités d'amélioration de la performance environnementale des produits et services (ISO, 2006a).

L'ACV couvre les étapes d'un produit ou d'un système de processus, depuis l'acquisition des matériaux en passant par la production, l'utilisation, le recyclage et l'élimination des déchets. Le cycle de vie complet du produit peut être divisé en étapes suivantes qui aident à définir la portée et les limites du système de l'étude :

- « Cradle to gate » de l'extraction des matières premières à la fabrication du produit,
- « Gate to gate » de la porte d'entrée à la porte de sortie (fabrication du produit)
- « Cradle to grave » de l'extraction des matières premières à élimination

### **6.3. Les limites de l'analyse du cycle de vie (ACV)**

L'ACV offre une vision globale des effets écologiques et cela a été considéré comme le principal point fort de l'approche, ainsi que comme une limite.

En effet, en tant que technique agrégée, elle ne prend pas pleinement en compte les impacts localisés des systèmes et ne prend pas en compte les variations temporelles.

Par conséquent, puisque les impacts environnementaux ne sont pas spécifiés dans le temps ou dans l'espace, les résultats des études ACV sont décrits comme des impacts potentiels. De plus, la précision de l'étude dépend grandement de la qualité et de la disponibilité des données. L'examen par Liu et Müller (2012) des études ACV dans l'industrie de l'aluminium a démontré une large plage temporelle, les données d'inventaire génériques à l'échelle de l'industrie étant couramment utilisées, malgré leur mise à jour peu fréquente, limitant ainsi leur représentation précise du développement technologique dynamique.

### **6.4. But de l'étude**

L'objectif de cette étude ACV est de quantifier les impacts environnementaux potentiels des différents produits ALUCAM et permettre à l'entreprise d'identifier des sources potentielles d'amélioration en termes de performance environnementale au cours de toutes les étapes de production en amont de son système de produits défini, dont le produit final est une tonne métrique de produits en aluminium sortis Fonderie.

### **6.5. Champs de l'étude**

Le modèle ACV pour ALUCAM est basé sur l'approche un système « cradle to gate » (cf. Figure 1), commençant par l'extraction de la bauxite et se terminant par les produits semi-finis en aluminium sortis Fonderie.

## 6.6. Unité fonctionnelle

L'unité fonctionnelle, qui sert de référence pour les entrées et sorties dans tout le système, est une tonne métrique aluminium sortis Fonderie. Les résultats peuvent être convertis en un kilogramme en divisant par 1000.

## 6.7. Description du produit

Lingots de métal non allié en aluminium, Pxxxx series

P0202A, P0303A, P0404A, P0405A, P0406A, P0506A, P0610A, P1015A,

P1020A, P1520A, P1535A, P2055A, P2070A, P2585A, SERIES Pxxxx.

## 6.8. Applications

Les lingots d'aluminium primaire ALUCAM sont utilisés pour fabriquer des produits semi-finis en aluminium adaptés au laminage pour la production des bobines laminées, ils sont également adaptés à l'extrusion ou au moulage en forme pour une fabrication ultérieure de produits en aluminium semi-finis ou finis.

## 6.9. Données techniques

Libellé	Valeur	Unité
Densité	2,66 - 2,84	(kg/m <sup>3</sup> )*1000
Température de fusion	475 - 655	°C
Conductivité électrique (à 20°C / à 68°F)	même volume: 16-36	MS/m (0,58*%IACS)
Conductivité thermique (à 25°C / à 77°F)	109 -234	W/(m.K)
coefficient moyen d'expansion thermique (de 20° à 100 °C / à 212°F)	19,4 - 24,1	/°C
Module d'élasticité	69 -74	Mpa*1000
Composition chimique	Varie par type d'alliage, en général Al>90	% de poids

Figure 15 : données techniques lingots d'aluminium primaire ALUCAM

## 6.10. Caractéristiques géométriques du produit

### 6.10.1 Lingots 16 kg

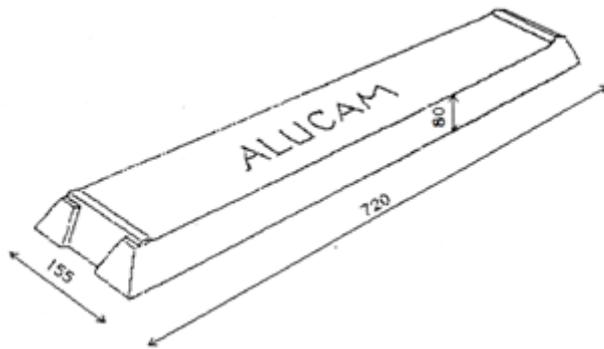


Figure 16 : caractéristiques géométriques d'un lingot d'aluminium primaire ALUCAM

#### a) Conditionnement en pile et tolérances dimensionnelles

Les piles comportent à leur base deux lingots de pied provenant de la même coulée. La constitution des piles complètes est la suivante :

- 15 nappes entrecroisées de 4 lingots + 2 lingots de pied
- Nombre total de lingots = 62

Les tolérances dimensionnelles concernent essentiellement la hauteur.

Le point important vis-à-vis du gerbage des piles est qu'une pile ne présente pas de différence importante de hauteur rendant le gerbage dangereux ou impossible.

La différence  $H_{\text{maxi}} - H_{\text{mini}}$  est inférieure ou égale à 30 mm.

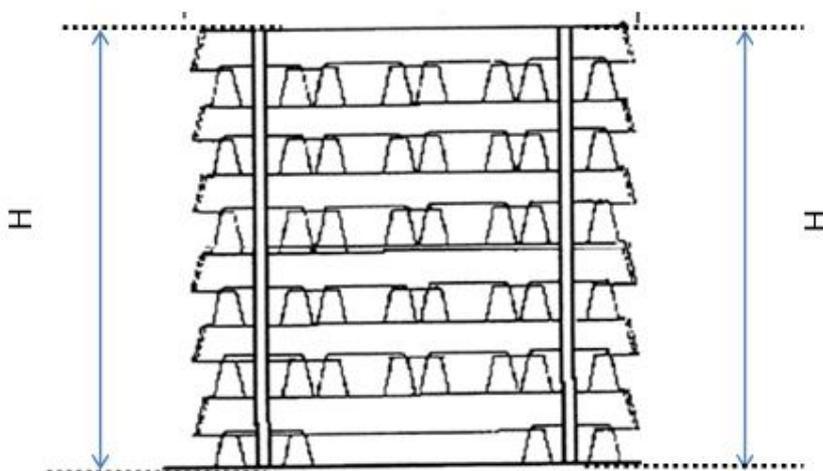
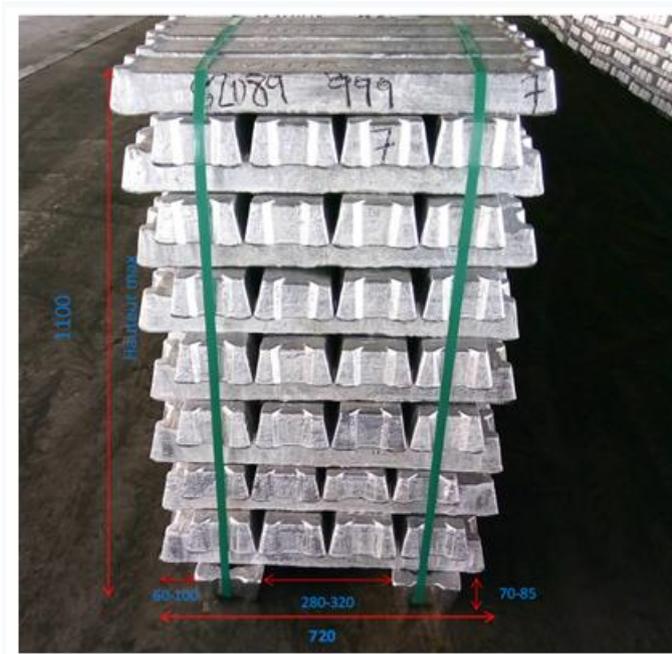


Figure 17 : schéma d'une pile de lingots d'aluminium primaire ALUCA

## b) Feuillardage

Chaque pile est cerclée avec 2 feuillards bien tendus pour bien maintenir celle-ci pendant le transport et éviter toute déformation. Le cerclage est fait à l'aide d'un feuillard plastique



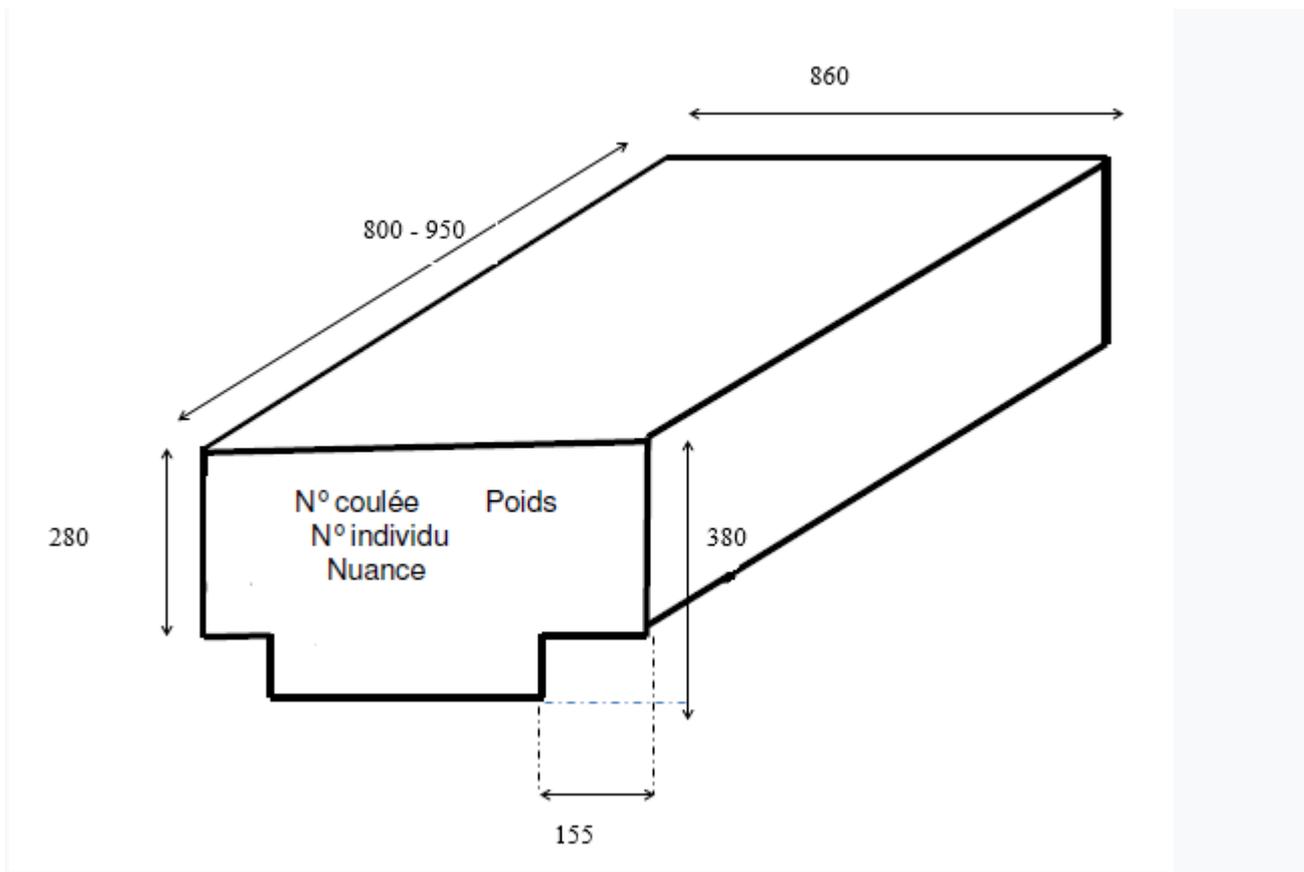
*Figure 18 : caractéristiques géométriques d'une pile de lingots d'aluminium primaire ALUCAM*

### 6.10.2 Lingots T (TES)

#### a) Tolérances dimensionnelles

Libellé	Tolérance mini-maxi
Longueur	800 - 950 mm
Poids plaques sciées	600 - 850 kg

*Figure 19 : tolérances dimensionnelles des lingots T d'aluminium primaire ALUCAM*



*Figure 20 : caractéristiques géométriques d'un lingot T d'aluminium primaire ALUCAM*

### 6.1. Les frontières du système (Cradle to gate)

Les étapes du cycle de vie de la production d'aluminium sont décrites dans la section suivante

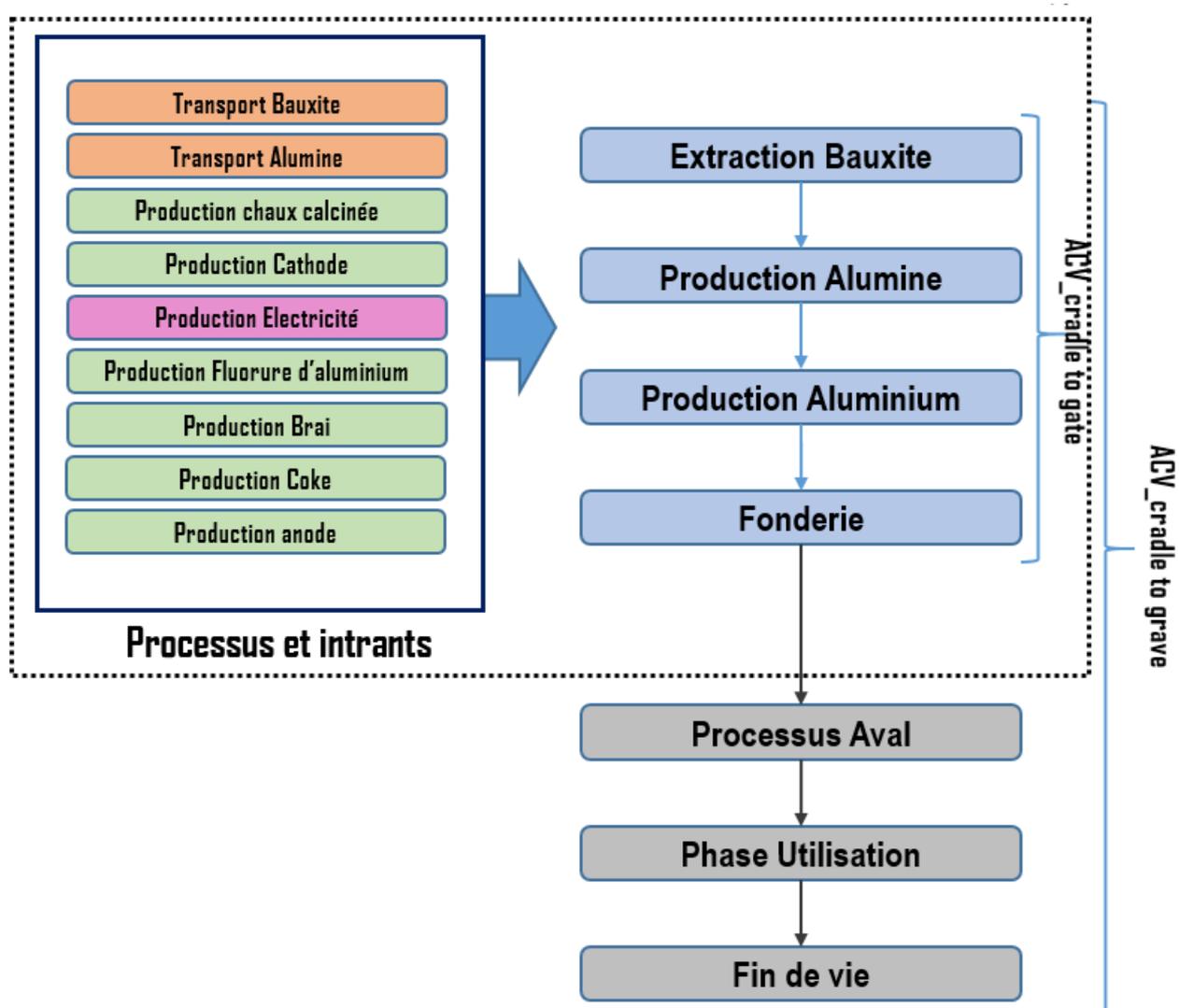


Figure 21 : Diagramme de flux pour la production de lingot d'aluminium primaire ALUCAM « cradle to gate »

## 6.2. Collecte des données

Enquêtes annuelles réalisées par l'IAI et données disponibles ([www.worldaluminium.org/statistiques/](http://www.worldaluminium.org/statistiques/)) sur :

- La consommation d'énergie industrielle et émissions de perfluorocarbures depuis 1980
- Les émissions de fluorures et les volumes de résidus de bauxite depuis 1990.
- Données spécifiques liées à l'élaboration des inventaires du cycle de vie de la production d'aluminium primaire pour les années 2000, 2005 et 2010.
- Les données collectées représentaient les entrées et sorties directes attribuables aux processus de chaque installation.
- Les ensembles de données d'inventaire de base inclus dans GaBi ont été utilisés pour les processus indirects : production de calcaire, production de soude caustique, production de fluorure d'aluminium, production de coke de pétrole,

production de brai, production et fourniture d'électricité, production et fourniture de carburant et transport.

- Dans l'inventaire du cycle de vie, les moyennes ont été calculées comme valeurs moyennes pondérées en fonction de la production par tonne de production pertinente pour les installations qui ont déclaré.
- Les données utilisées dans la base de données GaBi pour la classification des résultats de l'ICV selon les catégories d'impact sont publiées par les organisations suivantes : ISO, Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), Organisation météorologique mondiale (OMM) et Intergouvernemental Groupe d'experts sur le changement climatique (GIEC).
- Les mix énergétiques de base utilisés dans GaBi 6 prennent en compte les mix spécifiques de l'industrie d'aluminium au niveau régional en lieu et place des mix régionaux ou nationaux.
- Ces données collectées constituent une base crédible pour les évaluations ultérieures du cycle de vie des produits en aluminium.
- Les données de base dans GaBi proviennent principalement de l'industrie et sont donc considérées comme technologiquement représentatives.

### **6.3. Contrôle qualité des données**

Le contrôle qualité a été réalisé par un comité le comité de l'environnement et de l'énergie de l'IAI et par un expert indépendant.

### **6.4. Catégories d'impact : sélection, classification et caractérisation**

Six catégories d'impacts sur l'environnement (CML) ont été sélectionnées pour cette étude conformément aux recommandations de l'étude d'harmonisation des méthodologies d'ACV dans l'industrie métallurgique (PE International 2014). En outre, le nouvel indicateur « Empreinte de pénurie d'eau » (Buxmann et al. ; ISO14046 2014) a également été prise en compte.

Indicateur de catégorie	Unité	Méthodologie d'évaluation
Potentiel d'acidification	kg SO <sub>2</sub> /kg Al	CML 2001–Nov 2010
Epuisement des ressources énergétiques fossiles	MJ/kg Al	Valeur net Calculée
Potentiel d'eutrophisation	kgPO <sub>4</sub> e/kg Al	CML 2001–Nov 2010
Potentiel de réchauffement climatique (PRC 100 ans)	kgCO <sub>2</sub> e/kg Al	CML 2001–Nov 2011
Potentiel Appauvrissement Ozone (PAO, état d'équilibre)	kgCCL <sub>3</sub> Fe/kg Al	CML 2001–Nov 2012
Potentiel de création de photo-oxydants (PCPO)	kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> e/kg Al	CML 2001–Nov 2013
Empreinte de pénurie d'eau (EPE)	m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> Oe/kg Al	ISO 14046 2014

*Figure 22 : Ensemble prédéfini de catégories d'impact*

*NB : La méthode CML s'appuie sur des normes européennes. Pour les études ACV réalisées hors de l'Amérique du Nord, la méthode CML constitue l'ensemble d'indicateurs environnementaux le plus courant pour l'analyse du cycle de vie (ACV). Cette méthode a été développée par l'agence américaine de protection de l'environnement.*

Cette méthodologie s'inscrit dans les recommandations des méthodologies d'analyse de l'inventaire du cycle de vie (AICV) dans l'industrie métallurgique (PE International 2014).

## 6.5. Modélisation des données

GaBi 6 (PE International 2013b) est le logiciel de modélisation utilisé pour cette étude du début à la fin a été.

Afin d'évaluer la contribution des différents processus à chaque catégorie d'impact, les données Inventaire Cycle de Vie (IAI 2013a) sont affectées à des typologies spécifiques à l'aide du logiciel GaBi. Les quatre typologies permettant de classer les processus et les entrées et sorties de matériaux dans les limites du système comprennent :

- **Procédés directs et auxiliaires**, englobant les matériaux utilisés ou les émissions directes associées à la production d'aluminium primaire ainsi que les procédés et matériaux auxiliaires tels que la soude caustique, la chaux et le fluorure d'aluminium.
- **Transport** qui comprend le mouvement des matières premières par route, train ou bateau.

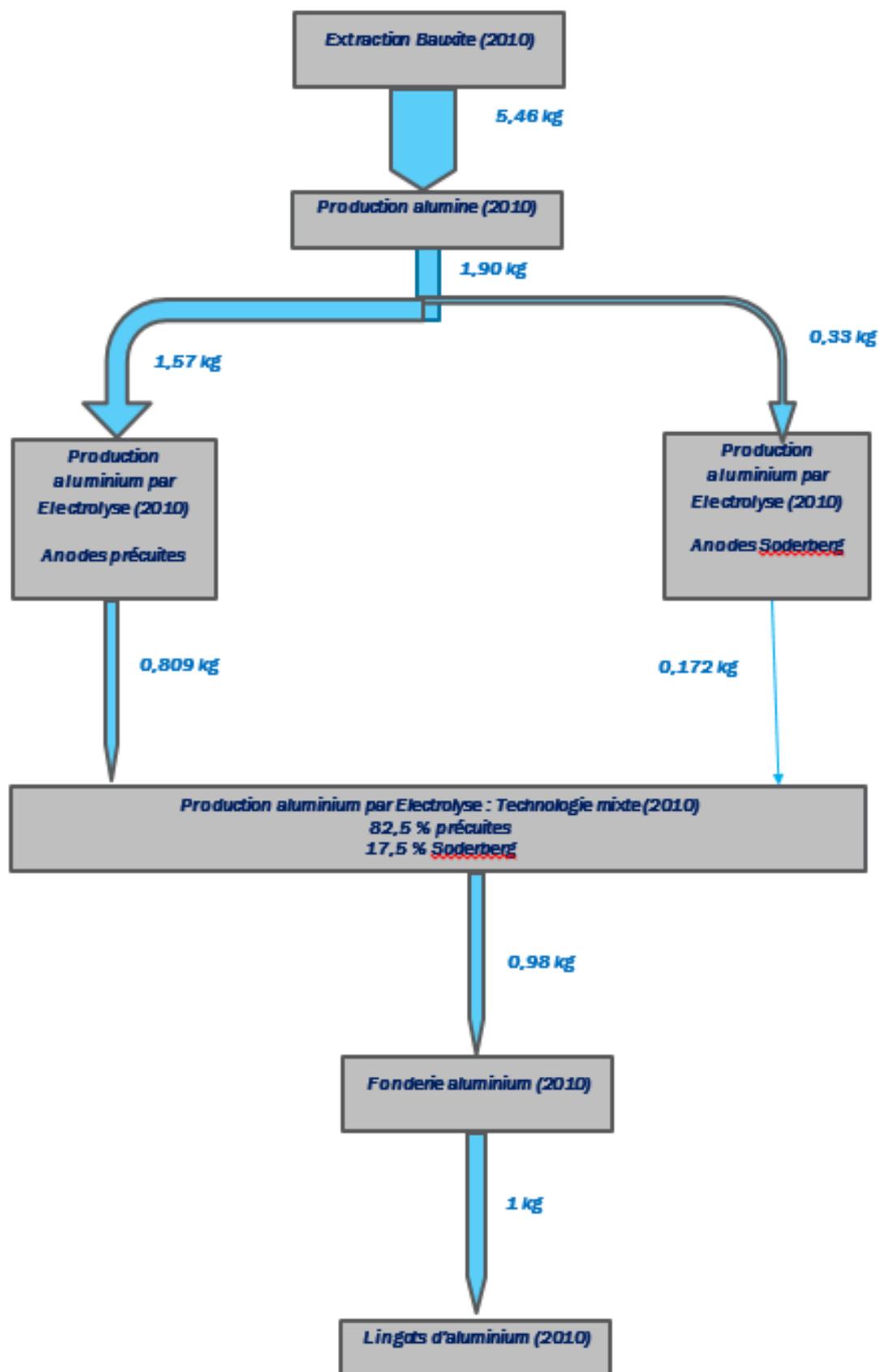
- **Electricité** qui comprend les processus et les matériaux nécessaires pour produire l'électricité utilisée directement dans la production d'aluminium.
- **Energie thermique** qui comprend les procédés et les matériaux nécessaires pour produire l'énergie thermique utilisée directement dans la production d'aluminium, mais à l'exclusion du brai et du coke pour la production d'anodes.

Cette méthodologie a permis de prendre en compte la contribution des processus pertinents, dans les résultats d'analyse de l'inventaire du cycle de vie (AICV).

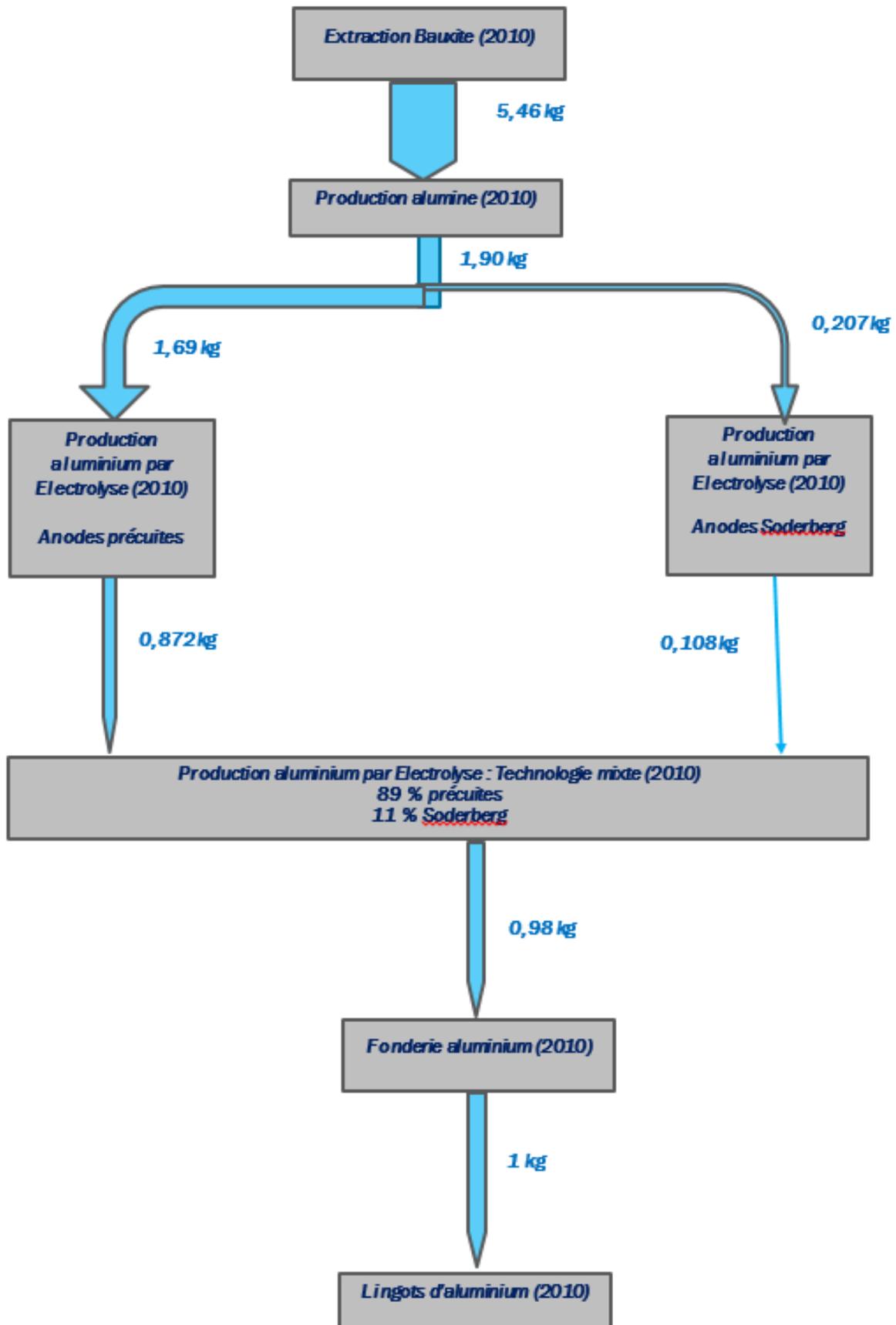
L'empreinte de pénurie d'eau (EPE) pour la production d'aluminium primaire a été calculée à l'aide d'une approche conforme à la norme ISO 14046 (2014). Essentiellement, la méthodologie d'analyse EPE sur un seul site intègre la consommation directe d'eau des sites de production tout au long de la chaîne de valeur de l'aluminium.

Une empreinte générique de pénurie d'eau EPE par tonne d'aluminium primaire a ensuite été déterminée en additionnant les EPE directs et indirects des usines et en la normalisant au flux de référence de 1 kg d'aluminium primaire.

## 7. RESULTATS



La figure 23 : GaBi 6 montre le plan du modèle IAI pour l'ensemble de données Monde y compris Chine.



La figure 24 : GaBi 6 montre le plan du modèle IAI pour l'ensemble de données Monde (hors Chine)

	Monde (y compris la Chine) en GWh	Monde Monde (y compris la Chine) en %	Reste monde (hors Chine) en GWh	Reste monde (hors Chine) en %
Hydroélectrique	218 618	41%	195980	65%
Charbon	271643	51%	67898	23%
Hydrocarbures	389	0%	389	0%
Gaz naturelle	26432	5%	26432	9%
Nucléaire	10997	2%	10997	4%
<b>Total</b>	<b>528 079</b>	<b>100%</b>	<b>301 696</b>	<b>100%</b>

Figure 25 : Sources d'électricité pour les ensembles de données sur l'électrolyse dans le Monde (y compris la Chine) et dans le reste du Monde (hors chine)

Indicateurs de catégorie d'impact de l'IAI (par kilogramme de lingot primaire)	Unité	Monde (y compris Chine) 2010	Monde (hors Chine) 2010
Potentiel d'acidification	kg SO2/kg Al	0,13	0,09
Epuisement des ressources énergétiques fossiles	MJ/kg Al	163	109
Potentiel d'eutrophisation	kgPO4e/kg Al	0,011	0,0053
Potentiel de réchauffement climatique (PRC 100 ans)	kgCO2e/kg Al	16,5	10,8
Potentiel Appauvrissement Ozone (PAO, état d'équilibre)	kgCCL3Fe/kg Al	2,90E-10	2,80E-10
Potentiel de création de photo-oxydants (PCPO)	kgC2H4e/kg Al	0,0085	0,0047
Empreinte de pénurie d'eau (EPE)	m3H2Oe/kg Al	0,018	0,01

Tableau 26 : Résultats des indicateurs des catégories d'impact au niveau mondial (y compris la chine) et dans le reste du Monde (hors Chine) par kilogramme d'Al

La catégorie d'impact et les résultats des indicateurs supplémentaires (y compris Répartition du PRC et énergie primaire) calculés à l'aide de GaBi sont présentés dans la figure 26 de plus, les résultats de l'empreinte de pénurie d'eau, calculés séparément conformément à la norme ISO 14046 (2014) sont présentés à côté.

2010	Afrique	Amérique du Nord	Amérique du Sud	Asie (hors Chine)	Europe	Océanie	Chine	Monde (y compris la Chine) en GWh	Reste monde (hors Chine) en GWh
Production en Aluminium (*1000 tonnes)	1 441	4 440	2 210	1 855	7 981	1 542	16 194	35 664	19 469
Hydroélectrique	9 181	50 355	29 141	4 817	97 271	5 211	22 638	218 618	195 980
Charbon	11844	16095	0	8117	13856	17932	203745	271643	67898
Hydrocarbures	0	7	0	138	238	6	0	389	389
Gaz naturelle	0	316	5591	15510	5015	0	0	26432	26432
Nucléaire	0	320	0	0	10677	0	0	10997	10997
<b>Total</b>	<b>21 025</b>	<b>67 093</b>	<b>34 736</b>	<b>28 636</b>	<b>127 057</b>	<b>23 149</b>	<b>226 383</b>	<b>528 079</b>	<b>301 696</b>

Table 27 Sources d'électricité par grande région et pour les ensembles de données sur l'électrolyse mondiale et du reste du Monde

Monde (y compris Chine)	Extraction Bauxite	Raffinage Alumine	Production Anode	Production Aluminium par électrolyse	Production lingot par Fonderie	Total	Energie primaire (MJ)	
							R	NR
Electricité	<0,1	0,4	<0,1	9,2	<0,1	9,7	27	104
Processus et Auxiliaires	<0,1	0,7	0,4	2,3	<0,1	3,5	0	18
Energie thermique	<0,1	2,2	0,1	<0,1	0,1	2,4	0	31
Transport	<0,1	0,5	<0,1	0,4	0	0,8	0	10
<b>Total</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>3,8</b>	<b>0,6</b>	<b>11,9</b>	<b>0,2</b>	<b>16,5</b>	<b>27</b>	<b>163</b>

Figure 28 : Gaz à effet de serre à l'échelle mondiale émissions réparties par procédé unitaire, type de procédé et apport d'énergie primaire (énergies renouvelables (R) et énergies non renouvelables (NR)) réparties par type de procédé

Monde (hors Chine)	Extraction Bauxite	Raffinage Alumine	Production Anode	Production Aluminium par électrolyse	Production lingot par Fonderie	Total	Energie primaire (MJ)	
							R	NR
Electricité	<0,1	0,1	<0,1	4,6	<0,1	4,8	42	55
Processus et Auxiliaires	<0,1	0,7	0,4	2,2	<0,1	3,4	1	18
Energie thermique	<0,1	1,6	0,1	<0,1	0,1	1,8	0	26
Transport	0	0,5	<0,1	0,3	0	0,8	0	10
<b>Total</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>2,8</b>	<b>0,6</b>	<b>7,2</b>	<b>0,2</b>	<b>10,8</b>	<b>44</b>	<b>109</b>

Figure 29 : Emissions de gaz à effet de serre de l'emprise réparties par procédé unitaire, type de procédé et apport d'énergie primaire (énergie renouvelable (R) et non renouvelable (NR)) réparties par type de procédé

- Comme le montrent les résultats des *Figures 28 et 29* la plus grande contribution aux gaz à effet de serre (GES) est imputable aux processus des unités de raffinage de l'alumine et d'électrolyse dans les deux ensembles de données.
- Les ensembles de données Monde (y compris Chine) et Monde (hors Chine) ont des contributions similaires pour l'exploitation de la bauxite, la production d'anodes et la coulée de lingots en Fonderie.
- La différence constatée pour l'énergie primaire (MJ) résulte de prise en compte de la production de la Chine à base de charbon dans l'ensemble de données Monde (yc Chine).
- Les différences significatives entre le raffinage de l'alumine et les processus d'électrolyse sont liées valeurs d'électricité et d'énergie thermique. Par exemple, les valeurs de GES pour l'électricité utilisée dans l'électrolyse sont de 9,2 kg d'équivalent CO<sub>2</sub>/kg Al pour l'ensemble de données Monde y compris Chine et 4,6 kg d'équivalent CO<sub>2</sub>/kg d'Al pour les données Monde hors Chine.
- Ces différences proviennent de la production d'énergie à base de charbon adoptée par la Chine, pays qui représente 45 % de la production mondiale d'aluminium et plus de 50 % de la production mondiale production actuellement.
- Les centrales électriques au charbon représentent 90 % de la production chinoise d'aluminium primaire, contre 70 % pour le mix réseau chinois. Encore une fois, de telles disparités entre les mix énergétiques régionaux et les mix énergétiques de la production d'aluminium existe en raison de la relation intime qui existe souvent entre l'approvisionnement en énergie et la production électrolyse.

### 7.1. Analyses préliminaires portant sur les impacts environnementaux si la Technologie 100 % précuite versus ou 100 % Soderberg

Indicateurs de catégorie d'impact de l'IAI (par kilogramme de lingot primaire)	Unité	Soderberg		Précuite	
		Monde (y compris Chine)	Monde (hors Chine)	Monde (y compris Chine)	Monde (hors Chine)
Potentiel d'acidification	kg SO <sub>2</sub> /kg Al	0,14	0,09	0,13	0,09
Epuisement des ressources énergétiques fossiles	MJ/kg Al	179	116	161	108
Potentiel d'eutrophisation	kgPO <sub>4</sub> e/kg Al	0,011	0,005	0,011	0,005
Potentiel de réchauffement climatique (PRC 100 ans)	kgCO <sub>2</sub> e/kg Al	18,3	11,8	16,3	10,6
Potentiel Appauvrissement Ozone (PAO, état d'équilibre)	kgCCL <sub>3</sub> Fe/kg Al	3,00E-10	2,90E-10	2,80E-10	2,80E-10
Potentiel de création de photo-oxydants (PCPO)	kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> e/kg Al	0,0088	0,0045	0,0085	0,0048

*Figure 30 : Résultats des indicateurs des catégories d'impact mondial et du reste du Monde pour 2010 avec (a) 100 % de Soderberg et (b) 100 % de Technologie Précuite (par kilogramme d'Al)*

- L'ensemble de données Soderberg montre que seules trois des catégories d'impact, le potentiel de réchauffement climatique, le potentiel d'eutrophisation et l'épuisement des ressources énergétiques fossiles, sont supérieurs au scénario de référence (Précuite)
- Pour les trois autres catégories d'impact, le potentiel d'acidification, le potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone et l'impact photochimique potentiel de création d'ozone, les impacts sont légèrement inférieurs.

## **8. DISCUSSION**

### **8.1. General**

- Comme le montrent clairement les résultats de cette étude, la nature énergivore de la production d'aluminium signifie que l'approvisionnement en énergie joue un rôle important dans l'impact environnemental global, avec des processus en arrière-plan expliquant dans certains cas la majeure partie de l'impact.
- Les *Figures 28 et 29* montrent que la production d'électricité contribue entre 25 % et 80 % à tous les résultats des catégories d'impact, avec des valeurs plus élevées observées dans l'ensemble de données Monde y compris Chine, résultant de la prise en compte de la Chine et de l'augmentation de la production d'électricité à base de charbon qu'elle représente.
- En comparant les deux ensembles de données, on peut déduire que la production d'aluminium en Chine, et plus particulièrement la production d'électricité pour la production d'aluminium contribue de manière significative aux impacts à l'échelle mondiale. Comme indiqué dans l'examen du rapport sur les mesures environnementales de l'IAI (IAI 2014b), la Technologie joue un certain rôle dans la réduction de l'impact environnemental du processus de production en Chine. Généralement des électrodes Précuite, moins polluantes que les électrodes Soderberg.
- Cependant, la forte dépendance du pays à l'égard de l'électricité produite au charbon pour la production d'aluminium primaire continuera à avoir un impact sur la performance environnementale de la production du pays.
- Comme le montre la répartition des émissions de GES dans les *Figures 28 et 29*, la production d'électricité pour l'électrolyse est le plus grand contributeur au Potentiel de Réchauffement Climatique (PRC), avec 56 % du total pour les données Monde y compris la Chine et 43 % du total pour les données Monde hors Chine.
- La production d'énergie thermique destinée à une utilisation directe dans le raffinage de l'alumine contribue à hauteur de 13 % pour les données Monde y compris et de 15 % pour les données Monde hors Chine.

- Les émissions directes du processus d'électrolyse ont une influence significative sur le Potentiel de Réchauffement Climatique (PRC) avec 14 % pour les données Monde y compris la Chine et 20 % pour les données Monde hors Chine. Le phénomène d'effet d'anode est responsable de ces émissions de gaz perfluorocarbonés tétrafluorométhane (CF<sub>4</sub>) et hexafluoroéthane (C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>) lors des conditions particulières des opérations d'électrolyse, l'impact significatif résulte de la longue durée de vie associée à ces puissants gaz à effet de serre atmosphère.

Les données de l'industrie sur les effets d'anode ont été recueillies au cours des 30 dernières années et montrent une baisse significative des GES, tant sur la base des émissions totales que sur la base de l'intensité.

Le rapport de l'IAI (IAI 2013a) indique que le CF<sub>4</sub> et le C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> ont été réduits en intensité de 34 % et 47 %, respectivement, par rapport aux niveaux de 2005. Ceci est conforme à la tendance générale de l'industrie visant à réduire les émissions mondiales de perfluorocarbonés de l'industrie de l'aluminium entre 1990 et 2010 (<http://www.world-aluminium.org/statistics/perfluorocarbonpfc-emissions/>) grâce à une meilleure gestion des cuves et à un changement de mix technologique.

On estime qu'entre 1990 et 2010, une réduction des émissions totales de plus de 70 % ou de plus de 90 % sur la base de l'intensité (en équivalent CO<sub>2</sub>) a été obtenue.

En examinant l'effet de la Technologie sur les valeurs des indicateurs d'impact environnemental, on peut constater que la Technologie Soderberg a un impact plus important dans les six catégories d'impact que la Technologie Précuite. En général, la Technologie Soderberg est plus ancienne et moins économe en énergie (IAI 2013b), ce qui explique les valeurs légèrement plus élevées de l'indicateur d'impact environnemental. À mesure que cette Technologie est progressivement abandonnée au profit de nouvelles technologies de procédé précuits des anodes de carbone, on peut s'attendre à ce que certaines améliorations technologiques se traduisent par la réduction des impacts sur l'environnement. Il convient toutefois de noter que la différence dans les valeurs des indicateurs de catégorie d'impact entre les deux types de technologies n'est pas substantielle et que toute amélioration liée à la Technologie sera probablement marginale.

C'est en effet la source d'énergie utilisée pour la production d'électricité qui a la plus grande influence sur l'impact environnemental du processus de production d'aluminium primaire.

# 9. SYNTHÈSE DU CYCLE DE VIE DES PRODUITS ALUCAM



Figure 32 : Cycle de vie produits ALUCAM

# 10. ANNEXES

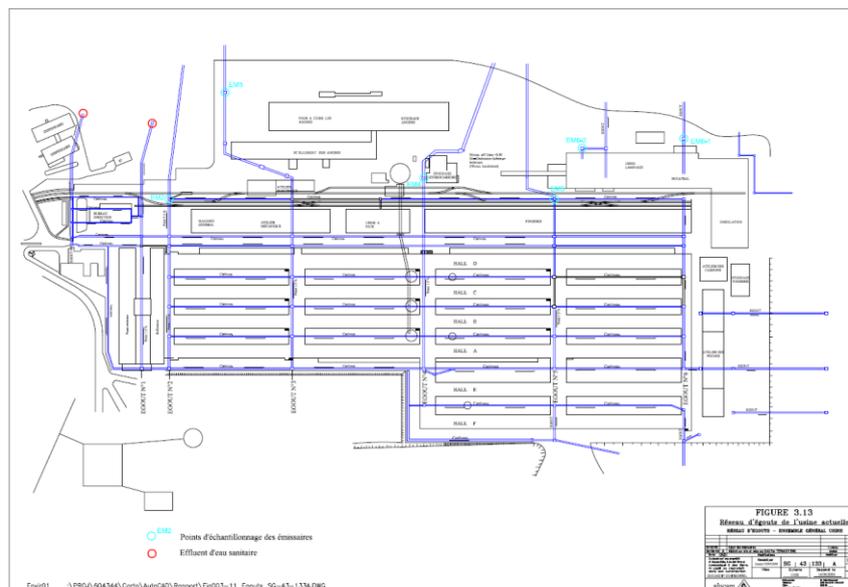


Figure 33 : Réseau égouts site industriel ALUCAM

