

## RESUME

Ce travail se porte sur le calcul du bilan carbone et évaluation des possibilités de réduction des gaz à effet de serre.

L'objectif visé dans cette recherche est de déterminer par calcul, la quantité (poids) en kilogramme équivalent CO<sub>2</sub> (dioxyde de carbone) des émissions en CO<sub>2</sub> des activités se déroulant au sein de l'usine SOMIKA (société minière du Katanga).

Pour arriver au résultat escompté, une collecte des données de l'usine a été faite sur les différents postes émetteurs de CO<sub>2</sub>. Notamment les émissions directes qui sont liées directement à la production du cuivre et cobalt : les minerais alimentés, l'énergie consommée ; les émissions indirectes liées aux activités connexes, le combustible fossile utilisé pour les générateurs et aux transports.

En effet, 3 postes ont été ciblés dans le calcul : l'énergie, le transport et le process.

A l'issu de ce calcul, il ressort un poids d'émissions de ces trois postes, une quantité totale d'émission de **34 014 699** kg éq CO<sub>2</sub>/an ou **34 014, 699** téq CO<sub>2</sub>/an.

Ainsi pour réduire cette quantité nous proposerons ;

- ✓ La substitution du moyen de transport des minerais au niveau du raw material jusqu'à l'alimentation par un transporteur à bande au lieu des chargeurs qui consomment du carburant ;
- ✓ La délocalisation du dépôt des cathodes de cuivre vers un emplacement près de la salle d'électrolyse pour écourter les distances (le nombre des courses) effectuées par les élévateurs qui transportent des tonnes de cuivre, qui consomment du carburant en générant des gaz à effet de serre ;
- ✓ L'utilisation de l'énergie renouvelable (le panneau solaire) en cas d'interruption du courant de la SNEL.

Ainsi, si ces stratégies de réduction sont prises en compte, cela permettra de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de l'usine SOMIKA de **20,87%**.

## TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES .....	i
LISTE DES TABLEAUX .....	iii
LISTE DES FIGURES .....	iv
LISTE DES ABREVIATIONS .....	v
EPIGRAPHE .....	vi
AVANT-PROPOS .....	vii
INTRODUCTION .....	1
<b>CHAPITRE I. GENERALITES SUR LES EMISSIONS DES GAZ A EFFET DE SERRE2</b>	
I.1.Généralité sur les émissions des gaz à effet de serre .....	2
I.1.1 Effet de serre et les gaz à effet de serre (GES) .....	2
I.1.2 Potentiel de réchauffement global .....	5
I.1.3 Evolution mondiale des émissions de CO <sub>2</sub> .....	6
I.1.4 Sources et puits .....	8
I.1.5 Réchauffement climatique .....	9
I.1.6 Causes et les conséquences du réchauffement climatique.....	10
I.1.7 Quelques solutions techniques de traitement.....	11
I.1.8 Protocole de Kyoto et ses conséquences.....	13
<b>CHAPITRE II. BILAN CARBONE.....</b>	<b>14</b>
II.1 Généralités sur le bilan carbone .....	14
II.1.1 Objectif du bilan carbone .....	14
II.1.2 Importance du bilan carbone .....	15
II.1.3 Etape du bilan carbone .....	15
II.2 Cadre juridique du bilan carbone .....	15
II.2.1 Réglementation nationale .....	16
II .2.2 Réglementation internationale.....	16
II.3 Méthode générale du bilan carbone .....	16
II.3.1Méthode de comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre .....	16
II.3.2 Unités du bilan carbone .....	16

II.3.3 Incertitudes du bilan carbone.....	17
II.3.4 Limites de la méthode.....	17
CHAPITRE III. PRESENTATION DU MILIEU, ET METHODOLOGIE .....	19
III .1. Présentation de l’entreprise Somika.....	19
III.2. Situation géographique .....	20
III.3. Activité principale.....	20
III.4. Structure de la somika.....	21
III.5. Description des opérations métallurgiques à Somika .....	22
III .5.1 Section de stockage de minerais / raw material .....	22
III.5.2 Sous – Section de broyage .....	22
III.5.3. Sous-section décantation – épaissement .....	23
III.5.4. Section de lixiviation, CCD ET HBF.....	23
III.5.5. Section d’extraction et électrolyse d’extraction.....	24
III.5.6. Section des hydroxydes de Cobalt .....	25
III .6 Méthodologie du travail.....	26
III.6.1. Méthodes utilisées .....	27
III.6.2 Inventaire des données et calcul des émissions par poste.....	28
III.6.3 Calcul suivant les méthodes .....	30
III.6.4 Incertitudes .....	31
CHAPITRE IV. PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS.....	32
IV.1 Présentation des résultats.....	32
IV.1.1 Résultats relatifs à l’inventaire des émissions poste par poste.....	33
IV.1.2 Résultats des calculs suivant les méthodes.....	37
IV.2 Discussion des résultats .....	39
IV.3 Etude des possibilités pour réduire les émissions GES .....	40
CONCLUSION .....	42
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	43
ANNEXES .....	45

**LISTE DES TABLEAUX**

Tableau I.1 - Valeurs conventionnelles de GES en équivalent CO <sub>2</sub> d'après 5 <sup>em</sup> rapport du GIEC) .....	6
Tableau I.2 - Evolution des concentrations atmosphériques mondiales pour quelques gaz à effet de serre (GIEC, 2007) .....	7
Tableau IV.1 - Composition chimique du minerai alimenté à l'usine de Somika.....	32
Tableau IV.2 - Emission du poste 1 liée à la consommation de l'acide sulfurique.....	33
Tableau IV.3 - Emission liée à la consommation de castine .....	33
Tableau IV.4 - Emissions au poste 2 liées à l'énergie de la SNEL .....	34
Tableau IV.5- Emission liée à l'énergie des générateurs .....	35
Tableau IV.6 - Emissions au poste 3 .....	36
Tableau IV.7 - Résultats du calcul des émissions à la production du cuivre .....	37
Tableau IV.8- Résultats du calcul par la méthode de niveau 2 .....	38
Tableau IV.9– Comparaison de nos résultats avec ceux de travaux antérieurs.....	40

**LISTE DES FIGURES**

Figure I.1 - Mécanisme de l'effet de serre a et b (abc clim).....	3
Figure I.2 - Répartition des émissions annuelles mondiales de GES en 2004 (rapport du GIEC) .....	4
Figure III.1 - Localisation du site de SOMIKA (google maps) .....	20
Figure III.2 - Flow sheet de l'usine SOMIKA.....	21
Figure IV.1 - Comparaison des émissions CO <sub>2</sub> de l'énergie verte (SNEL) et l'énergie fossile.....	35
Figure IV.2- Emissions CO <sub>2</sub> des élévateurs et des chargeurs pour ce poste .....	36
Figure IV.3 - Répartition des émissions en suivant la méthode de niveau 2.....	38

**LISTE DES ABREVIATIONS**

ACV : Analyse de Cycle de Vie

ADEME : Agence De l'environnement et de la Maitrise de l'Energie

CCD-HBF : Décantation à Contre-courant -Filtre à Bande Horizontale

CO<sub>2</sub> : Dioxyde de Carbone

CCNUCC : Convention Cadres de Nations Unies sur les Changement Climatiques

E-RSE : Engagement à la Responsabilité Sociale des Entreprises

EW: Electrowinning (Electrolyse);

H.M.S: Heavy Media Separation (Séparation en Milieu Dense);

HG : High Grade (Hauteur teneur en cuivre)

GIEC : Groupe Intergouvernemental d'experts sur les évolutions du climat

GES : Gaz à Effet de Serre

FE : Facteur d'Emission

LG : Low Grade (Basse Teneur en Cuivre)

OMM : Organisation météorologique mondiale

PH : potentiel d'hydrogène

PLS : Pregnant Leach Solution (Solution imprégnante)

Ppb : parties par billion

Ppm : parties par million

PRG : Potentiel de Réchauffement Climatique

SNEL : Société Nationale d'Electricité

SOMIKA : Société Minière du Katanga

**EPIGRAPHE**

*« Notre maison brule et nous regardons à l'ailleurs »*

(Jacques Chirac)

*« Ainsi donc, tachez vivre sur terre en la rendant  
meilleure que vous ne l'aviez trouvée »*

(Anonyme)

## AVANT-PROPOS

Il est une exigence académique que tout étudiant présente et défende un travail de fin d'étude devant sanctionner la fin de ses études universitaires. Nous n'avons pas été exemptés de cette condition et c'est la raison d'être de ce travail. Sa rédaction n'a pas été l'œuvre de notre seul effort, mais bien une sommation de plusieurs forces partielles, tant positives que négatives, que tenons de remercier.

Avec un sentiment de gratitude à l'endroit du prof Arthur Kaniki Tshamala pour accepter d'en assurer la direction, sa disponibilité et son assistance en dépit de ses multiples préoccupations.

Je te tiens aussi à remercier prof Armel Kaniki et monsieur Fabrice Kalombo pour leurs encadrements.

Nous nous faisons, à travers ce travail, le noble devoir de remercier tous les professeurs, chefs des travaux et assistants de la faculté polytechnique de l'université de Lubumbashi (UNILU) qui se sont disposés pour nous engendrer « ingénieur ».

Nous remercions aussi nos chers collègues avec qui nous avons passés toutes ces années ensemble pour leurs collaborations et nos hommages à nos collègues qui ont périés dans une mort tragique de triste mémoire et paix à leurs âmes.

Nous ne saurons combien remercier notre précieuse famille pour son abnégation, son amour et l'affection exprimée à notre égard, elle s'est révélée être un véritable refuge de consolation dans les moments de tumultes envers nous.

## INTRODUCTION

La Société Minière du Katanga, Somika en sigle est une entreprise minière de production du cuivre sous forme de cathode et du cobalt sous forme d'hydroxyde par la voie humide appelée voie hydrométallurgique partant des différents minerais qui titrent 3,5 à 7,8% de cuivre et 0,54 à 1,4% de cobalt.

Dans la production des hydroxydes de cobalt et les cathodes de cuivre, les gaz à effet de serre (GES), le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) en occurrence sont émis dans l'atmosphère par la consommation de la castine (calcaire) pour la production de chaux éteinte, au niveau de la neutralisation (circuit cobalt), par des fumées des véhicules sur site, par la production d'énergie électrique, ...

Dans la mesure de protection de l'environnement et développement durable, il est nécessaire de réduire les émissions de gaz à effet de serre, particulièrement le dioxyde de carbone. (CO<sub>2</sub>)

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre travail, intitulé : Calcul du bilan carbone et évaluation des possibilités de réduction des gaz à effet de serre d'usine hydrométallurgique, Somika.

L'objectif de ce travail est de déterminer par calcul, le poids des émissions CO<sub>2</sub> en tonne (kilogramme) équivalent du dioxyde de carbone des différents postes de l'usine hydrométallurgique de Somika. Le travail consiste à :

- effectuer un inventaire des données d'activités sur trois postes dont : le procédé de production (process), l'énergie et le transport ;
- récolter les données des différentes analyses du minerai alimenté à l'usine, calculer les émissions à l'aide des données recueillies ;
- proposer quelques pistes de solution pour réduire les émissions en CO<sub>2</sub>.

Outre l'introduction et la conclusion, quatre grands chapitres que composent ce travail dont le premier parle sur les généralités sur les gaz à effet de serre (GES), deuxième le bilan carbone, le troisième se portera sur la présentation du milieu, la méthodologie et enfin le dernier sur la présentation et analyse des résultats.

## **CHAPITRE I. GENERALITES SUR LES EMISSIONS DES GAZ A EFFET DE SERRE**

### **I.1.Généralité sur les émissions des gaz à effet de serre**

La Terre a déjà connu dans son histoire des variations importantes de climat, provoquées par des causes naturelles. Aujourd'hui, d'après les scientifiques du GIEC (Groupe Intergouvernemental d'experts sur les évolutions du climat), c'est l'homme qui est le principal responsable du réchauffement actuel de la planète, par ses activités et ses rejets de gaz à effet de serre. Les scientifiques tirent la sonnette d'alarme depuis plus de 20 ans et affinent leurs recherches. Ils expliquent que la rapidité de ce changement climatique de grande ampleur est inédite et fait peser des menaces lourdes sur tout ce qui dépend des conditions climatiques : la qualité de vie de nombreuses populations, la diversité biologique, les récoltes, les glaciers et banquises, le niveau des mers, la fréquence et l'intensité des catastrophes météorologiques (tempêtes, inondations, etc.) (Base carbone, 2007)

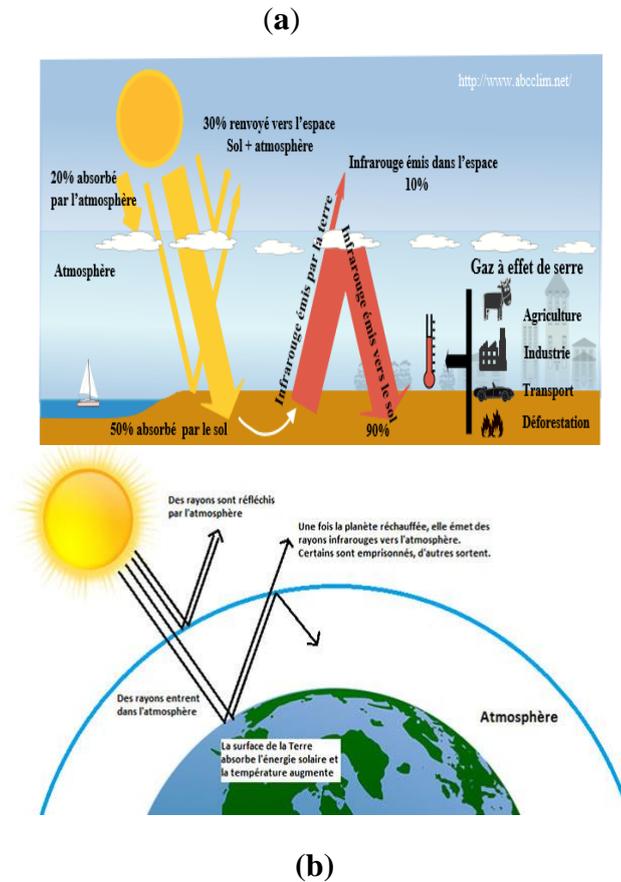
Depuis l'ère industrielle, l'humanité brûle de plus en plus de pétrole, de charbon et de gaz naturel, elle étend ses pratiques agricoles intensives et multiplie ses procédés industriels. Tout cela conduit au rejet massif de CO<sub>2</sub> (dioxyde de carbone), de CH<sub>4</sub> (méthane), de N<sub>2</sub>O (protoxyde d'azote) et de gaz fluorés. Ces gaz appelés gaz à effet de serre (GES) s'accumulent dans l'atmosphère et y piègent la chaleur (effet de serre).

#### ***1.1.1 Effet de serre et les gaz à effet de serre (GES)***

Le phénomène de l'effet de serre rappelle celui de la serre du jardinier : l'atmosphère terrestre laisse passer la lumière du soleil mais emprisonne la chaleur. Il y a deux phénomènes :

- Les rayons ultraviolets du soleil se jettent sur le sol terrestre et la terre en renvoie une partie de cette énergie vers le ciel.
- Or, une couche de vapeur d'eau et de gaz empêche une partie de cette chaleur de repartir dans l'espace, d'où réchauffement de la planète. Parmi les gaz concernés, la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone et d'autres gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère. Une grande partie de l'effet de serre nous est nécessaire pour garder la terre à une température vivable : si cet effet de serre n'était pas créé, la température moyenne du globe serait de -18 ° C alors qu'elle est aujourd'hui de

15°C (<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/voir>). Le phénomène de l'effet de serre représenté dans la figure I.1.



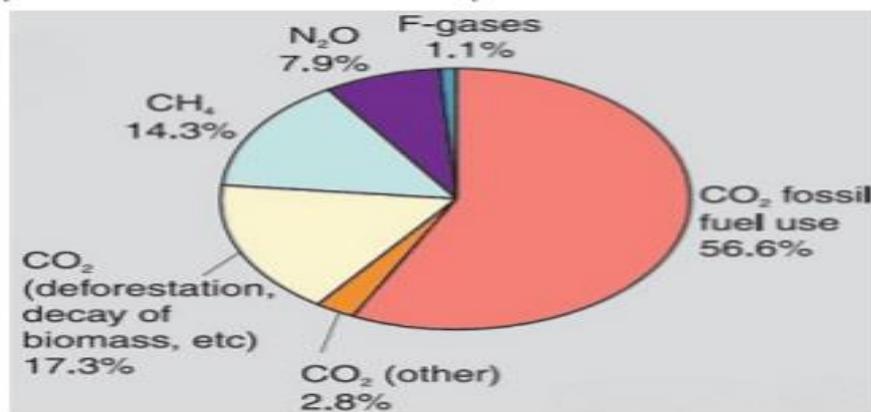
**Figure I.1 - Mécanisme de l'effet de serre a et b (abc clim)**

Les principaux GES sont :

- Le  $\text{CO}_2$  qui est généré par la combustion des combustibles fossiles (charbon, pétrole et ses dérivés, gaz) par certains procédés industriels, la déforestation. Les secteurs émetteurs sont les transports, les bâtiments et la consommation des ménages, la production d'énergie et l'industrie.
- Le méthane  $\text{CH}_4$  émis par l'élevage des bovins, les déjections animales et les cultures agricoles (riz), par la mise en décharges des déchets organiques. Son pouvoir sur l'effet de serre est de 21 fois celui du  $\text{CO}_2$ .
- Le protoxyde d'azote  $\text{N}_2\text{O}$  est le résultat de pratiques agricoles intensives (engrais, déjections) et peut être émis à l'occasion de procédés industriels, principalement dans les industries chimiques qui fabriquent les engrais. Son pouvoir sur l'effet de serre est de 310 fois celui du  $\text{CO}_2$ .
- Les gaz fluorés (HFC, PFC et  $\text{SF}_6$ ) sont utilisés dans la réfrigération et l'air conditionné, dans les mousses isolantes et les aérosols, l'industrie des semi-conducteurs et les appareils de transport d'électricité. Leur pouvoir de

réchauffement va de 1300 fois à 23 000 fois celui du CO<sub>2</sub> (<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/voir>).

On parlera de GES anthropiques qui sont les gaz dont l'émission est influencée par les activités humaines. La vapeur d'eau (dont la durée de vie dans l'atmosphère est très courte) n'est pas directement influencée par les émissions humaines. De plus, l'ozone troposphérique n'est pas émis directement par l'homme, mais est le résultat de la décomposition d'autres gaz dans l'atmosphère. Ces deux GES (H<sub>2</sub>O et O<sub>3</sub>) sont exclus du champ de la comptabilité carbone. (ADEME 2013) Ces GES anthropiques sont présentés dans la figure I.2.



**Figure I.2 - Répartition des émissions annuelles mondiales de GES en 2004 (rapport du GIEC)**

Dans ce graphique ci-dessus, les émissions de CO<sub>2</sub> sont réparties selon 3 origines :

- La combustion des énergies fossiles : pétroles, gaz et charbons (56,6%) ;
- Les process générant du CO<sub>2</sub> minéral : décarbonatation dans les cimenteries notamment (2,8%) ;
- La déforestation et le déstockage de carbone des sols dû à des changements d'affectation des sols (17,3%).

Le CO<sub>2</sub> est le GES anthropique ayant le plus d'impact sur le climat. Sa participation au réchauffement climatique est d'environ 70%.

Les gaz à effet de serre ne captent pas tous les infrarouges de la même manière, de plus leur durée de vie dans l'atmosphère peut varier de quelques heures à plusieurs milliers d'années. Leur pouvoir de réchauffement global (PRG), c'est-à-dire leur influence sur l'effet de serre, peut ainsi varier largement (ADEME 2018).

Afin d'être comparé les uns avec les autres, les émissions des différents GES peuvent être exprimés en CO<sub>2</sub>e (équivalent CO<sub>2</sub>). « L'outil » retenu dans la Base Carbone<sup>®</sup> permettant de convertir les émissions d'un GES en CO<sub>2</sub>e est son PRG (relatif) à 100 ans. Il s'agit de l'indicateur classique retenu dans la plupart des rapports/traités internationaux.

### ***1.1.2 Potentiel de réchauffement global***

L'effet du relâchement dans l'atmosphère d'un kilo de gaz à effet de serre dépend de la nature du gaz émis. Pour un gaz donné, le pouvoir de réchauffement global d'un gaz se définit comme le « forçage radiatif », c'est à dire la puissance radiative renvoyée au sol et cumulée sur une durée qui est généralement fixée à 100 ans.

Chacun des gaz à effet de serre possède un « potentiel de réchauffement global », noté PRG, qui quantifie son impact sur le climat.

Le gaz servant de référence est le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). Son potentiel de réchauffement global, nommé PRG, est fixé à 1.

Pour les autres substances, leur PRG exprime leur effet radiatif relatif en comparaison à celui du gaz carbonique.

Autrement dit, le PRG désigne l'effet de serre estimé d'un GES.

Par exemple, le GIEC considère qu'une tonne de méthane (CH<sub>4</sub>) a un pouvoir de réchauffement global 28 fois plus élevé en moyenne qu'une tonne de CO<sub>2</sub> sur une période de temps de 100 ans.

Ainsi, chaque tonne de méthane est Comptabilisée comme 28 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> dans les bilans des émissions de GES. Cela signifie que, si l'on émet 1 tonne de méthane dans l'atmosphère aujourd'hui, on produira le même effet, sur le siècle, que si on émet 28 tonnes de gaz carbonique au même moment.

Une des complexités de cet équivalent provient des durées de vie dans l'atmosphère très différentes pour chacun des gaz à effet de serre. Leur PRG doit toujours être apprécié par rapport à une échelle de temps donné : une tonne de méthane a un PRG de 28 sur une échelle de 100 ans mais de 84 sur une échelle de 20 ans, compte tenu de sa plus courte durée de vie estimée dans l'atmosphère par rapport au CO<sub>2</sub>. Si l'échelle de temps considérée n'est pas précisée dans les bilans d'émissions, elle est fixée par défaut à 100 ans (GIEC 2007). Les détails sont présentés dans le tableau I.1.

L'équivalent CO<sub>2</sub> d'une quantité de gaz à effet de serre émise se calcule de la façon suivante :

$$\text{Poids du gaz (kg)} \times \text{PRG (100ans)} = \text{Equivalent CO}_2 \text{ du gaz} \quad (\text{I.1})$$

**Tableau I.1- Valeurs conventionnelles de GES en équivalent CO<sub>2</sub> d'après 5<sup>em</sup> rapport du GIEC)**

GES et leurs formules	PRG l'équivalent CO <sub>2</sub> Sur une période de 20 ans	PRG l'équivalent CO <sub>2</sub> Sur une période de 100 ans	Durée de séjour approximative dans l'atmosphère
CO <sub>2</sub> (dioxyde de carbone)	1	1	100 ans
CH <sub>4</sub> (Méthane)	84	28	12 ans
N <sub>2</sub> O (protoxyde d'azote)	264	265	120 ans
CF <sub>4</sub> (tetrafluorure de carbone)	4880	6630	-----
HFC (hydrofluorocarbure)	506	138	50 000
SF <sub>6</sub> (hexafluorure de soufre)	-	22800	-----

### *1.1.3 Evolution mondiale des émissions de CO<sub>2</sub>*

D'après le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat (GIEC), qui est en quelque sorte le porte-parole mondial de l'explication de ce réchauffement de la Terre, ce réchauffement est causé par l'augmentation des concentrations atmosphériques mondiales de gaz à effet de serre depuis l'ère industrielle. (GIEC, 2007).

**Tableau I.2 - Evolution des concentrations atmosphériques mondiales pour quelques gaz à effet de serre (GIEC, 2007)**

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Avant la révolution industrielle (1750)	280 ppm	715ppb	270ppb
En 2005	379 ppm	1774ppb	319ppb
En 2015	400 ppm	1793ppb	325ppb
En 2016	403,3 ppm	1853ppb	328,9ppb
En 2018	407,8 ppm	1869ppb	331,1ppb
En 2019	410,2ppm	1874ppb	332,8ppb

CO<sub>2</sub>: Dioxyde de carbone ; CH<sub>4</sub>: Méthane ; N<sub>2</sub>O :protoxyde d'azote.

ppm: Partie par million ; ppb : partie par billion.

Cette augmentation des concentrations atmosphériques des gaz à effet de serre est attribuée à l'accroissement continu des émissions de gaz issus d'activités économiques, agricoles et industrielles. Il s'agit donc d'émissions essentiellement d'origine anthropique qui renforcent l'effet de serre. C'est surtout l'augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> qui est mise en cause ; elle contribue pour 52% à l'augmentation de l'effet de serre (GIEC, 2001). L'augmentation de l'effet de serre est considérée comme la cause principale du réchauffement climatique actuel car elle entraîne une hausse des températures moyennes à la surface de la Terre. Les données de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) montrent que les années les plus chaudes sont les plus récentes. Le GIEC (2007) indique que « l'essentiel de l'accroissement observé sur la température moyenne globale depuis le milieu du 20ème siècle est très vraisemblablement dû à l'augmentation observée des gaz à effet de serre anthropiques ». Les facteurs humains du réchauffement, qui interfèrent avec les facteurs naturels, ne sont plus vigoureusement discutés. Plusieurs activités anthropiques sont mises en cause : combustion du charbon, du gaz naturel et du pétrole, industries, transports, urbanisation, élevage, déforestation, etc.

Le dernier rapport du GIEC (2007) fait état d'une augmentation de la température moyenne de la Terre de l'ordre de 0,74°C durant le 20ème siècle (d'après les enregistrements effectués dans les stations météorologiques entre 1906 et 2005). Les simulations suggèrent une hausse supplémentaire de 0,6°C à la fin du 21ème siècle (2090-

2099) dans l'hypothèse du maintien du niveau de concentration atmosphérique des gaz à effet de serre de l'année 2000. D'autres scénarios indiquent une hausse entre 1,8°C et 4°C, avec un intervalle de confiance qui varie entre 1,1°C et 6,4°C (GIEC, 2007).

#### ***1.1.4 Sources et puits***

##### **a. Sources : oxydation de la matière carbonée**

La principale source de CO<sub>2</sub> est l'oxydation de la matière organique sous toutes ses formes ou de composés inorganiques comme les charbons. C'est un produit fatal de cette transformation, c'est-à-dire que thermodynamiquement le plus stable, il reste le produit ultime de réaction. Cette oxydation peut être due à un effet thermique (combustion, incinération), chimique (réaction avec un oxydant) ou biologique (biodégradation principalement par des micro-organismes aérobies). En effet, toute matière organique, définie par une formule brute du type CmHnOp, réagit pour donner du dioxyde de carbone et de l'eau suivant une réaction générale de la forme :



Dans le cas de la matière minérale carbonée, on obtient une réaction qui peut être symbolisée par :



Il est évident que des impuretés présentes dans des charbons ou des fuels, comme le soufre très présent sous la forme de SO<sub>2</sub>, de mercaptans ou de sulfures, vont produire des oxydes de soufre (SO<sub>x</sub>).

##### **b. Puits de carbone : océans – photosynthèse**

On a estimé qu'environ 25 millions de tonnes de gaz carbonique sont transférées dans l'eau de mer par jour. Après dissolution et en fonction du pH, se forment alors des hydrogénocarbonates et des carbonates peu solubles. Cela représente environ 30 % du CO<sub>2</sub> émis, tandis que 30 % sont absorbés par la biosphère terrestre et 40 % demeurent dans l'atmosphère, cette statistique qui date de 2006.

Un autre puits important pour le CO<sub>2</sub> est la photosynthèse dont le processus transforme l'eau et le gaz carbonique en molécules biologiques élaborées, sous l'action de l'énergie lumineuse, par des végétaux (plantes et algues) et certaines bactéries. Ces réactions se déroulent dans les chloroplastes où se trouve la chlorophylle. Ce pigment est sensible aux rayonnements bleus et rouges. Il capte l'énergie lumineuse et la transforme en énergie chimique.

Après fixation du carbone du CO<sub>2</sub> atmosphérique, cette énergie est utilisée pour la synthèse de molécules organiques comme les sucres, acides aminés ou lipides et pour l'oxydation de l'eau, produisant du dioxygène (O<sub>2</sub>). (Le Cloirec, 2008)

### **c. Emission du CO<sub>2</sub>**

On distingue : 2 types

#### **- Les émissions naturelles**

Elles peuvent être d'origine volcanique ou liées aux incendies de forêts, et plus largement sont dues à la respiration animale et végétale et à celle des organismes du sol (bactéries, protozoaires, etc.). Ce CO<sub>2</sub> ne pose normalement pas de problème majeur de toxicité, hormis dans quelques cas très particuliers : accumulation de poche de CO<sub>2</sub> dans des creux, par exemple lors d'émissions brutales de CO<sub>2</sub> d'origine géologique.

#### **- Les émissions anthropogéniques (anthropiques)**

Ce sont celles liées aux activités humaines : les chauffages, les véhicules, les unités d'incinération et divers types de combustion ou de fermentation. Les moteurs et unités de combustion normaux émettent des effluents gazeux (cheminées, pots d'échappement, réacteurs d'avions...) contenant en moyenne 20 % de CO<sub>2</sub>, qui, sans capture, se diluent rapidement dans l'air, sont aussi à prendre en compte dans les bilans carbonés, les émissions des « procédés » qui sont les émissions résultant de la mise en œuvre d'un procédé (par exemple, un procédé chimique : la décarbonatation), en incluant celles liées aux apports d'énergie nécessaires.

À noter que, bien que les réactions nucléaires n'émettent pas directement des gaz à effet de serre, le bilan carbone de l'énergie nucléaire (chaleur / électricité) n'est pas strictement nul du fait de celles induites par l'ensemble du cycle du combustible nucléaire (extraction et préparation des minerais, gestion des stériles, déconstruction et fin de vie, etc.) (<http://typesdemissionsco2>).

### ***1.1.5 Réchauffement climatique***

Le réchauffement climatique est un phénomène d'augmentation de la température moyenne des océans et de l'atmosphère qui se produit dans le monde entier et sur plusieurs années. On utilise le plus souvent ce terme pour parler du réchauffement climatique touchant actuellement notre planète et c'est depuis la fin du XX<sup>e</sup> siècle. Ce phénomène est

causé par l'augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère comme le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), ...

De nombreux scientifiques étudient ce phénomène et tentent de comprendre comment les activités des sociétés humaines provoquent ce réchauffement. Ces scientifiques sont regroupés au sein du GIEC (Groupe International d'Experts sur le climat), et ils publient régulièrement des rapports étudiant l'évolution du réchauffement climatique (E-RSE ,2017).

### ***1.1.6 Causes et les conséquences du réchauffement climatique***

#### **a. Causes**

Une forte augmentation des gaz à effet de serre suite aux activités humaines (homme) piège une partie de ce rayonnement, ce qui provoque une hausse de la température moyenne des surfaces jusqu'à trouver un nouvel équilibre (Wikipédia, 2020).

#### **b. Conséquences**

En voici quelques conséquences :

- Une forte augmentation du nombre de cyclones et ouragans, tant en quantité qu'en intensité ;
- Des records de chaleur
- Une forte diminution des rendements agricoles, et donc une rareté alimentaire ;
- Des sécheresses et inondations plus nombreuses ;
- Des dizaines de millions de réfugiés climatiques à l'horizon 2050 ;
- L'engloutissement de nombreux territoires situés à moins d'un mètre au-dessus du niveau de la mer ;
- Le risque d'une disparition massive d'espèces (50% des espèces menacées d'extinction) ;
- La réapparition de maladie ;
- Des épisodes de canicule bien plus fréquents ;
- Des feux de forêts plus fréquents, à cause des canicules (Wikipédia, 2020)

La réduction de ces émissions est une nécessité pour limiter le plus possible le dérèglement climatique et ses conséquences (Blais, 2004).

### *1.1.7 Quelques solutions techniques de traitement*

On citera quelques-unes :

#### **a. Capture et stockage du CO<sub>2</sub>**

La capture est une étape nécessaire pour au moins deux raisons :

- Les fumées de combustion contiennent en moyenne entre 3 et 15 % de dioxyde de carbone. En séparant le CO<sub>2</sub>, il y a réduction des volumes à transporter et donc des coûts ;
- Les sites de stockage géologiques, adaptés au stockage de CO<sub>2</sub>, nécessitent un certain nombre de caractéristiques, ils sont donc limités. Il faut alors stocker le dioxyde de carbone seul afin d'optimiser les capacités de stockage existantes.

En raison de leur coût d'investissement élevé, les techniques de captage du CO<sub>2</sub> sont plus adaptées aux sources d'émissions importantes et concentrées qu'aux sources de faible flux. Les centrales électriques (et notamment celles fonctionnant à partir de charbon) ainsi que, dans une moindre mesure, quelques autres installations industrielles (cimenteries, raffineries, installations de production d'engrais, de la sidérurgie et de la pétrochimie) sont à ce jour celles pour lesquelles la capture du CO<sub>2</sub> apparaît la plus intéressante.

Le captage du CO<sub>2</sub> peut être réalisé suivant trois procédés dépendants du type d'installation : la postcombustion, la précombustion et l'oxycombustion

- **Postcombustion** : est la méthode la mieux maîtrisée mais aussi la plus coûteuse. Elle est appliquée généralement aux installations industrielles déjà existantes ou récentes. En particulier, le piégeage par absorption dans un solvant organique basique (mono éthylamine, MEA) pourrait être utilisé dans les centrales récentes à charbon pulvérisé ou dans les centrales au gaz naturel à cycle combiné. (Le Cloirec, 2008).  
Le CO<sub>2</sub> est capté dans les fumées à basse pression (1 bar) avec une faible concentration (3 à 20 %) en général. L'opération de captage consistera donc à extraire le CO<sub>2</sub> d'un mélange gazeux composé principalement de CO<sub>2</sub>, d'azote et d'oxygène. (Baby, 2010).
- **La précombustion** : La précombustion permet de transformer le CO<sub>2</sub> à la source (charbon, biomasse...) en un gaz de synthèse contenant essentiellement du monoxyde de carbone (CO) et de l'hydrogène (H<sub>2</sub>) grâce à une étape de reformage en présence de vapeur ou par oxydation partielle avec de l'oxygène.

- **L'oxycombustion** : L'oxycombustion est une technique encore au stade de la démonstration qui pourrait être adaptée aux installations existantes. Le procédé va consister à produire un flux gazeux à très haute teneur en oxygène obtenu à partir de la séparation de l'air en oxygène et azote avant de l'introduire dans le foyer. (Baby, 2010)

Il s'agit de produire une fumée très concentrée en CO<sub>2</sub> (de 80 à 90 % en volume). Pour cela, la combustion doit avoir lieu avec de l'oxygène pur à la place de l'air habituellement utilisé. Cela permet d'éviter la présence d'azote à forte teneur dans les fumées. La principale difficulté de cette technique est d'obtenir la production d'oxygène par séparation d'air, ce qui est particulièrement coûteux. (Le Cloirec, 2008)

#### **b. Stockage du CO<sub>2</sub>**

Une voie possible de contrôler de la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère est, après l'avoir séparé ou enrichi dans les rejets gazeux, de le stocker soit dans les formations géologiques profondes soit au fond des océans. Des études techniques sont entreprises afin de liquéfier le gaz carbonique directement à la sortie des usines puis de l'envoyer par tuyaux afin de le stocker soit sous terre soit au fond des océans à plus de 1500 mètres de profondeur. (Le Cloirec, 2008)

#### **c. Valorisation**

Du fait des flux massiques importants de CO émis dans les fumées, on ne peut espérer, à l'heure actuelle, en valoriser qu'une faible quantité. Il est possible de citer par exemple :

- Dans l'**industrie alimentaire** ;
- Dans l'**industrie des engrais** par production d'urée ((NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO) ou de bicarbonate d'ammonium (NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub>) obtenu par la réaction suivante, réalisée sur les lieux mêmes de la production de CO<sub>2</sub> :



Quelques pistes de valorisation en recherche – développement peuvent être aussi proposées

- La production de carbonate de fer (FeCO<sub>3</sub>) pour les matériaux de construction ;
- La carbochimie ;
- La conversion catalytique ou électrochimique du CO<sub>2</sub> en CO, en hydrocarbure ou encore en alcools. (Le Cloirec, 2008)

### ***1.1.8 Protocole de Kyoto et ses conséquences***

Pour lutter contre le changement climatique, lors de la convention-cadre des nations unies sur les changements climatiques (CCNCC) à Rio en 1992, les pays industrialisés se sont fixés de stabiliser leurs émissions de gaz à effet de serre et l'ensemble des pays signataires ont décidé de réaliser un inventaire de leurs émissions. Le protocole de Kyoto de 1997 prévoit une réduction des émissions de gaz carbonique. Une diminution globale de 5,2% des émissions de CO<sub>2</sub> en 2012 a été décidée en prenant l'année 1990 comme référence. Pour faciliter la réalisation de ce programme ambitieux, trois mécanismes dits de « flexibilité » sont proposés en complément des mesures prises au niveau national :

- Les permis d'émission qui autorisent la vente et /ou le rachat des droits à émettre des gaz à effet de serre entre les pays industrialisés ;
- Des applications conjointes qui donnent aux pays industrialisés la possibilité d'investir hors de leur territoire pour réduire les émissions à effet de serre et d'obtenir ainsi des permis d'émission.
- Le développement propre, qui est similaire au système précédent, excepté que les investissements doivent être effectués dans un pays émergent, autrement dit un pays absent de l'annexe de la convention-cadre des Nations Unies (Le Cloirec, 2008).

## CHAPITRE II. BILAN CARBONE

### II.1 Généralités sur le bilan carbone

Le bilan carbone est un outil de comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre émises directement ou indirectement par une activité sur une période donnée. On l'appelle aussi « audit CO<sub>2</sub> ».

Cette démarche peut s'appliquer à une entreprise (industrielle), à une entité publique (administration, hôpital, école, etc.), une collectivité (commune, région, etc.) voire même à un événement (colloque, fête du personnel, événement sportif, etc.).

Ce diagnostic va permettre de mettre en évidence les postes responsables des plus importantes émissions et d'identifier des actions à mener pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> et diminuer la consommation énergétique, principale source d'émissions. La mise en œuvre des actions pourra être classée selon certains critères comme la simplicité de réalisation, l'efficacité climatique, le temps de retour sur investissement, etc.

Il comptabilisera les émissions de CO<sub>2</sub> de la fabrication des matières premières, de leur transport, du processus de fabrication du produit, du transport du personnel et du produit fini, de la gestion des déchets, de la consommation d'énergie du produit chez le consommateur final, etc. (DELMAS et FLORES, 2004)

La méthode de comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre prend en compte 6 gaz identifiés par le protocole de Kyoto : CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC, SF<sub>6</sub>. Le bilan carbone est obligatoire depuis 2012 pour les entreprises de plus de 500 salariés, les établissements publics de plus de 250 personnes et les collectivités territoriales de plus de 50 000 habitants.

Le bilan carbone est opérationnel pour les entreprises, les activités du tertiaire et les particuliers. Il permet d'évaluer les dépendances aux énergies fossiles, d'anticiper les fluctuations du prix de l'énergie et, plus largement, de limiter les émissions de dioxyde de carbone dues à l'activité humaine.

#### *II.1.1 Objectif du bilan carbone*

L'objectif principal du bilan carbone est d'estimer les émissions de gaz à effet de serre et donc de lutter contre le réchauffement climatique. Il sert également à évaluer la dépendance aux énergies fossiles, notamment le pétrole, et de déboucher sur un plan d'action pour réduire les émissions. Le bilan carbone s'inscrit dans une démarche environnementale et de développement durable pour les entreprises.

Le bilan carbone consiste à déterminer, à l'aide de tableaux de calcul, le poids (en tonnes d'équivalent carbone) des émissions de gaz à effet de serre poste par poste. Il convient d'entrer dans des feuilles de calculs les données d'activités disponibles (factures d'énergie, flux de matières premières, distances parcourues par les véhicules...). (Ademe, 2012)

### ***II.1.2 Importance du bilan carbone***

Dans le cadre d'une démarche de contribution à la lutte contre le changement climatique, il est important que chaque acteur puisse être responsabilisé et puisse agir sur les niveaux d'émissions de gaz à effet de serre (essentiellement CO<sub>2</sub>) dont il est responsable.

En ce sens, les industries les plus émettrices doivent se voir fixer des objectifs de réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre. Pour cela, l'objectif global de réduction doit être réparti entre les différents acteurs et tenir compte de l'évolution prévisionnelle de la production.

Une fois les objectifs fixés, les industries peuvent mettre en place un plan de réduction de leurs émissions pour les atteindre. L'établissement d'un tel plan de réduction passe, en premier lieu, par la réalisation d'un bilan des émissions sur l'ensemble de l'activité des industries métallurgiques et pas seulement sur leur procédé industriel. (Ademe, 2012)

Le bilan des émissions constitue un moyen pour les industries de structurer leur politique environnementale, d'identifier les postes d'émissions où la contrainte carbone est la plus forte et d'identifier des actions permettant de réduire leur impact global pour un développement durable.

### ***II.1.3 Etape du bilan carbone***

Le bilan carbone se fait sur une démarche qui comporte 6 phases ou étapes :

- Sensibilisation au réchauffement climatique et ses effets ;
- Etablissement du périmètre d'analyse ;
- Collecte des informations à prendre en compte ;
- Exploitation des données collectées ;
- Définition du plan d'action en vue de la réduction des émissions ;
- Mise en pratique des mesures décidées. (E-RSE, 2018).

## ***II.2 Cadre juridique du bilan carbone***

Ils existent plusieurs organisations (réglementations) nationale et internationale qui veillent sur le contrôle de l'environnement durable.

### ***II.2.1 Réglementation nationale***

En RDC, il y a des normes (principes) à respecter :

- Le principe d'action préventive et de correction par priorité à la source ;
- Le droit de chacun à un environnement sain (Kitobo, 2016).

### ***II.2.2 Réglementation internationale***

A l'échelle internationale il y a peu de normes sur les émissions de gaz à effet de serre.

La norme ISO 14064, qui a été publiée en 2006 afin d'apporter aux pouvoirs publics des outils à utiliser dans le cadre de la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>.

## ***II.3 Méthode générale du bilan carbone***

### ***II.3.1 Méthode de comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre***

La méthodologie d'évaluation ne nécessite pas de mesure directe des émissions, elle s'apparente à une démarche comptable. Une série de données de base doivent être collectées pour ensuite être associées à des facteurs d'émission, qui permettent de les traduire en tonne équivalent CO<sub>2</sub>. (Fourmeaux, 2013)

Elle est utilisée pour l'estimation des émissions liées à chacun des procédés industriels et le produit de la donnée d'activité, c'est-à-dire la quantité produite ou consommée de matériau, et d'un facteur d'émission par unité de consommation/production associé exprimé dans la manière suivante :

$$\text{Émission de GES} = \text{Donnée d'activité} \times \text{Facteur d'émission} \quad (\text{II.1})$$

### ***II.3.2 Unités du bilan carbone***

Par convention dans la méthode, c'est le kilogramme équivalent CO<sub>2</sub> (abréviation : kg eqCO<sub>2</sub>) et la tonne équivalent CO<sub>2</sub> (abréviation : t eqCO<sub>2</sub>) qui sont systématiquement utilisés pour compter les émissions.

En l'occurrence, les formulations explicites figurant dans cette note font toujours référence à des émissions comptées en équivalent CO<sub>2</sub>.

Notons que la méthode Bilan des émissions de GES de l'ADEME utilise le kilogramme équivalent carbone (abréviation : kg eq C) qui se déduit de l'équivalent CO<sub>2</sub> en isolant la masse de l'atome de carbone dans la molécule de dioxyde de carbone. Ainsi, nous avons la relation suivante :

$$1\text{kg eq CO}_2 = \frac{\text{masse}(c)}{\text{masse}(\text{CO}_2)} = \frac{12}{44} = 0,2727 \text{ eqC} \quad (\text{II.2})$$

### ***II.3.3 Incertitudes du bilan carbone***

Toute comptabilité carbone comporte des incertitudes (ou marges d'erreur), à travers l'imprécision inévitable des données d'activité d'une part et celle des facteurs d'émissions d'autre part. Le but ultime d'une comptabilité carbone étant de révéler des liens de dépendance et des points de vulnérabilité face à la contrainte carbone, une vision même floue sur un champ d'observation très large (autre manière de traduire l'incertitude du résultat) ne compromet pas cet objectif. (FNAM, 2012)

La présente méthode développée par la Fondation Nationale de l'Aviation Marchande (FNAM), qui s'inspire du Bilan des émissions de GES de l'ADEME, permet de calculer les incertitudes associées au bilan, par poste d'émissions.

Ainsi, dans l'outil de calcul Excel associé à la méthode, chaque calcul élémentaire est associé à une incertitude (un calcul élémentaire est une donnée d'activité multipliée par un facteur d'émission).

### ***II.3.4 Limites de la méthode***

Bien que ce soit un outil très permanent, le bilan carbone présente un certain nombre de limites. Elles sont donc à prendre en compte avant de se lancer : des données nombreuses parfois complexes à collecter (wikipedia,2020). Ces limites se situent principalement dans l'incertitude liée à la capacité à collecter des données de qualité pouvant impliquer certaines approximations. Des précautions importantes concernant la collecte de données précises, par exemple : comment collecter précisément le nombre de kilomètres parcourus entre le domicile et travail de chaque employé d'une usine de 600 personnes ? Comment savoir avec précision le type de véhicule qu'ils utilisent (récent ou ancien, etc.) ? Nous voyons au travers de ces quelques exemples que la collecte de données est un point névralgique du Bilan Carbone et peut constituer une limite à son interprétation.

Par ailleurs, c'est une évaluation qui porte sur un critère environnemental unique : l'impact sur l'effet de serre. Il n'y a pas d'autres critères pris en compte comme par exemple les déchets, la pollution de l'eau ou de l'air, la pollution des sols, la biodiversité, etc.

Autre limite du bilan carbone est qu'est pas possible de le comparer à un autre. En effet, un bilan carbone se réalise pour une structure donnée dans un périmètre bien défini (produit, site de production ou groupe entier, etc.).

Comme nous pouvons le voir, le bilan carbone mesure principalement et avec une bonne précision les émissions de GES directes. Pour ce qui est des émissions indirectes, la mesure est plus difficile par le fait que ce n'est pas la structure audité qui en est responsable (Delmas et flores, 2005).

## CHAPITRE III. PRESENTATION DU MILIEU, ET METHODOLOGIE

### III .1. Présentation de l'entreprise Somika

La Société Minière du Katanga Sarl, en abrégé SOMIKA, est installée dans la province du Haut-Katanga, l'une des régions les plus riches en cuivre et en cobalt. Créée par acte notarié à Lubumbashi en décembre 2001.

Depuis ses débuts, la SOMIKA a concentré ses activités sur le traitement de l'hétérogénéité, qui contient du cuivre et du cobalt. Ne possédant aucun gisement minier, la SOMIKA traite les minerais qu'elle achète des différents sites régionaux. L'extraction y est effectuée en « sous-traitance » par les mineurs artisanaux engagés à titre journalier par un entrepreneur local.

Le site de la SOMIKA est constitué d'une installation d'hydrométallurgie. Après réception des minerais, un échantillon par sac est prélevé et envoyé au laboratoire pour analyse. Les résultats de ces tests décideront de la destination du minerai, soit l'exportation directe, soit la transformation par hydrométallurgie.

Plus récemment, la SOMIKA a entrepris l'exploitation de quelques sites miniers notamment celui de Lupoto et Kimpé en « partenariat » avec la GECAMINES, mais cette exploitation a toujours été assurée par les artisans.

La SOMIKA est attachée à la production du cuivre et du cobalt et s'est progressivement distinguée en tant que compagnie d'exploitation de qualité et de traitement minéral en fabriquant des produits à haute teneur. Cette compagnie est bien connectée avec ses associés commis d'affaires basées à travers les continents : Afrique du sud, Zambie, Tanzanie, Chine, Dubaï et Inde.

La SOMIKA emploie environ 70 expatriés et 1000 nationaux. Ces employés sont fournis et pris en charge par l'entreprise partenaire, le courtier en main-d'œuvre présent sur le site de l'usine de transformation.

Le secteur minier de Somika alimenté de 512 tonnes de minerai, s'assigne aux objectifs suivants :

- La production journalière moyenne de 69 tonnes de cuivre cathodique à 99,99 % de pureté,
- La production de 15 tonnes de Cobalt absolu sous forme d'hydroxydes titrant 33 à 35 % de Cobalt pure.

### *III.2. Situation géographique*

La SOMIKA SARL est situé sur la route Kipushi au numéro 588 au quartier Kisanga de la commune Annexe dans la ville de Lubumbashi en République Démocratique du Congo.



**Figure III. 1- Localisation du site de SOMIKA (google maps)**

### *III.3. Activité principale*

Comme nous l'avons effleuré ci-haut, la SOMIKA SARL a pour activité principale le traitement de l'hétérogénéité dont les produits finis sont le cuivre cathodique à 99,99 % et de l'hydroxyde de cobalt à 35% destinés à la commercialisation.

### III.4. Structure de la somika

Afin d'atteindre son objectif, la SOMIKA organise le travail à travers différents départements chapeautés chacun par un responsable et tous sous la gestion d'un comité qui coordonne les activités sous l'impulsion de l'Administrateur Directeur General et dont la liste est reprise ci-dessous :

- Département de Sécurité ;
- Département de Labo, recherche et développement ;
- Département de Trading ;
- Département de Process Plant ;
- Département de Projet Génie Civil ;
- Département de Projet Electrique.

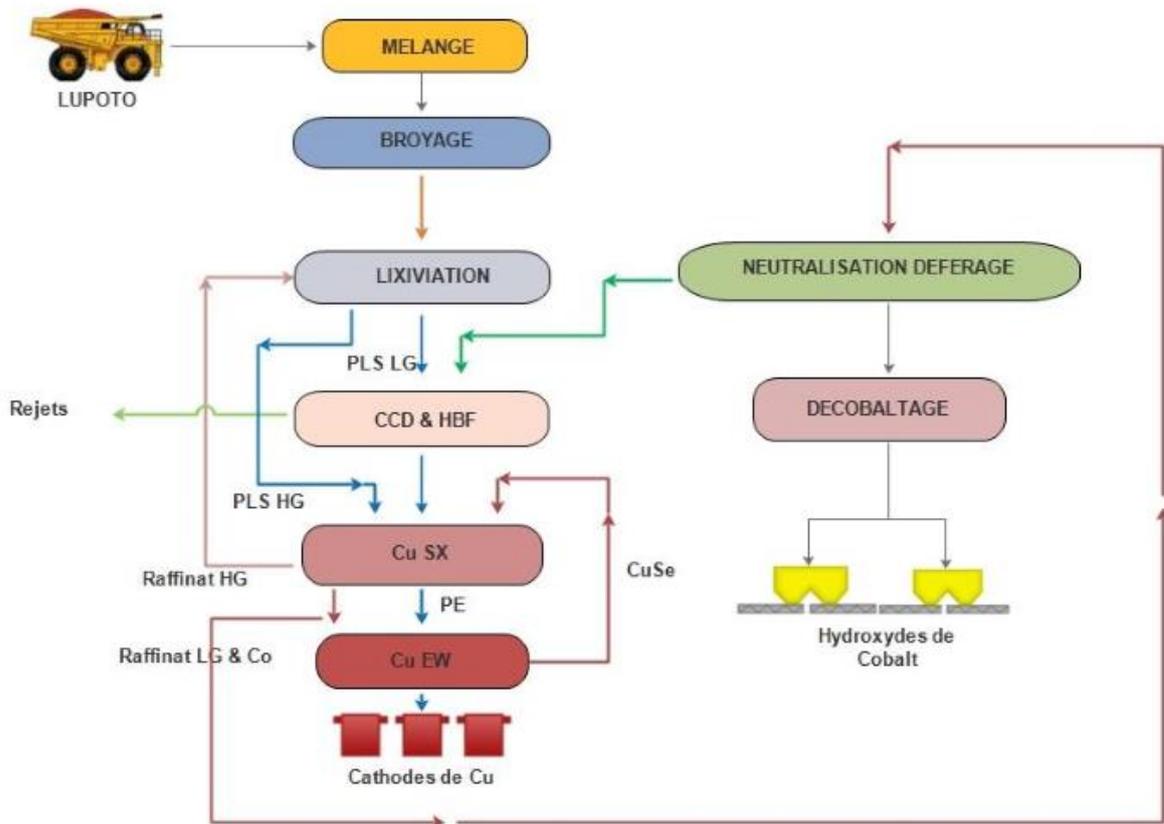


Figure III.2 - Flow sheet de l'usine SOMIKA

### ***III.5. Description des opérations métallurgiques à Somika***

La Société Minière du Katanga, SOMIKA, reçoit les minerais venant des diverses mines, carrières et fournisseurs. Cette section a pour objectif de faire un mélange de minerai selon une teneur de coupure correspondant à la demande de l'usine.

L'usine de SOMIKA fonctionne le jour comme la nuit avec un système de 2 postes et une alimentation de 2 circuits en parallèle portant respectivement les noms de circuit cuivre et circuit cobalt.

#### ***III .5.1 Section de stockage de minerais / raw material***

Les différents minerais arrivent à l'alimentation, notamment les HMS, High grade et Low grade provenant de la carrière de Somika/ Lupoto (Iverland) ; le spirale High grade et Low grade ; le cuivre High grade ; le cobalt Low grade ainsi que les stones provenant de Kimpé, des différents fournisseurs et vendeurs.

Les informations recueillies sur les minerais traités par SOMIKA nous renseignent que le cuivre et le cobalt sont portés par des minéraux oxydés dont la gangue est constituée principalement des minéraux siliceux.

Une fois à l'usine, les différents minerais sont stockés sur un espace identifié sous le nom de Raw material selon leur provenance et leurs teneurs respectives ; il s'y produit un Blending ou un mélange qui permet d'ajuster la teneur de coupure dans l'alimentation afin de répondre à la demande en Cu et Co de l'usine.

#### ***III.5.2 Sous – Section de broyage***

Le broyage libère les particules des minéraux et augmente leur surface spécifique. L'objectif recherché à ce stade consiste à obtenir des particules des minéraux aux dimensions inférieures à 150  $\mu\text{m}$ .

La section de broyage reçoit les minerais entreposés sous l'aire de stockage et alimente une trémie vibrante de 5 tonnes capacité ; grâce à un système de deux convoyeurs à bande, le minerai est envoyé dans un silo de stockage d'une capacité de 75  $\text{m}^3$  ; qui à son tour alimente le Broyeur à boulets cylindrique.

### ***III.5.3. Sous-section décantation – épaulement***

L'épaulement est utilisé pour augmenter la teneur en solide de la suspension, éliminer le liquide de la suspension de sorte que les particules décantées aient une concentration en solides plus élevée et aussi pour éviter une grande volumétrie.

L'épaulement est obtenu dans des conditions calmes par le processus de sédimentation sous la force de la gravité. Ici, on ajoute un flocculant obtenu par préparation de 2 kg de sunfloc dans un volume de 6 m<sup>3</sup>, en vue de fixer plus de particules solides et augmenter ainsi la productivité.

### ***III.5.4. Section de lixiviation, CCD ET HBF***

Cette section regroupe les opérations suivantes : une lixiviation acide réductrice suivie d'une décantation à contre-courant couplé aux filtres à bande horizontal.

#### ***III.5.4.1. Sous-section lixiviation***

##### **Objectif et description du Process**

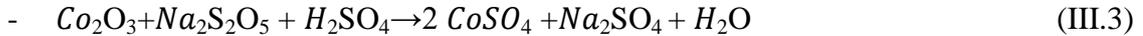
La lixiviation acide a pour objectif de dissoudre sélectivement le cuivre et le cobalt présents dans la pulpe au moyen d'un lixiviat acide.

La pulpe issue du décanteur (HRT-1) est envoyée au premier réacteur de lixiviation via deux pompes couplées au réacteurs 410 qui est disposée en cascade avec 7 autres réacteurs de lixiviation muni d'un agitateur dont les 4 premiers sont d'une capacité de 150 m<sup>3</sup> et 4 autres d'une capacité de 100 m<sup>3</sup>.

Notons par ailleurs que cette disposition en cascade des tanks de lixiviation permet une alimentation par débordement en partant du tank 410 qui alimente le 411 jusqu'au 413 ensuite par l'intermédiaire de deux pompes couplées au réacteur 413, nous alimentons le 414 qui à son tour alimente par débordement le 415 ainsi de suite jusqu'au 417.

Cette section dispose au total de 8 réacteurs agités de lixiviation ; il y est réalisé une lixiviation à l'acide qui provient d'un tank de stockage et du méta bisulfite de sodium SMBS (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) préparé en raison de 20% de SMBS et 80% d'eau, qui assure la réduction du Cobalt trivalent Co<sup>3+</sup> en Cobalt bivalent Co<sup>2+</sup> qui est facilement lixiviable.

### Rections chimiques principales



#### *III.5.4.2 Décantation à contre-courant et Filtration*

La lixiviation par agitation donne une liqueur PLS contenant une quantité substantielle de solides en suspension d'où la nécessité de procéder à une décantation visant à éliminer les particules solides dans la liqueur PLS se déroulant dans une série de décanteurs à contre-courant et une filtration sur les filtres à bande horizontale (HBF).

#### *III.5.5. Section d'extraction et électrolyse d'extraction*

La production du cuivre cathodique requiert des méthodes de purification de la solution LG PLS avant d'atteindre le résultat escompté. C'est de cette manière que la section effectue en son sein l'extraction par solvant et l'électrolyse d'extraction.

##### *III.5.5.1. Extraction par solvant (SX)*

##### *III.5.5.2. Objectifs de la section*

Les objectifs de la section SX de cuivre se résument en une purification, une concentration et une conversion qui consiste en un changement de la matrice.

Le but de l'extraction par solvant est de purifier et concentrer le cuivre contenu dans la solution imprégnante d'une manière sélective dans une autre solution aqueuse. Cette section comprend trois circuits à savoir : le circuit SX HG, le circuit SX LG et le circuit SX Cobalt.

Ces trois circuits sont quasiment identiques à la seule différence que le circuit SX HG traite l'HG PLS et renvoie son raffinat à la lixiviation alors que les deux autres circuits SX LG et SX Co traite du LG PLS.

Une partie du raffinat est renvoyée au niveau de la section de lixiviation et une autre partie constitue l'alimentation de la section de décobaltage.

Après extraction, les phases aqueuses chargées provenant des trois circuits SX mises ensemble constituent l'électrolyte chargé qui alimente la salle d'électrolyse d'extraction

Le principe d'extraction et de stripage s'effectue selon la réaction :



### III.5.5.3 Electrolyse d'extraction

L'objectif poursuivi dans cette section est la récupération du cuivre contenu dans la solution d'électrolyte chargé PE et de le déposer sur des cathodes.

SOMIKA possède une salle d'électrolyse divisé en deux parties dont EW1 et EW2. EW1 comprend 60 cellules dont 10 cellules pour le polissage (scavage cells) où s'effectue un nettoyage en vue d'éliminer la phase organique entraînée jusqu'à l'électrolyse et 50 cellules pour la section commerciale.

Chaque cellule contient 36 cathodes et 37 anodes (parce que les cathodes doivent toujours être entre 2 anodes pour que la déposition se fasse sur les deux faces).

Après le polissage, l'électrolyte est pompé vers un bassin A, le tank house, avant l'alimentation à la section commerciale. Dans ce compartiment, l'électrolyte issu du polissage est mélangé à l'électrolyte épuisé de la salle d'électrolyse (Cu Se) pour le réglage de la concentration et l'acidité. Il est constitué de 180 g/l d'acide sulfurique contenant une teneur en cuivre de 35 à 55 g/l.

Les électrodes utilisées présentent les caractéristiques suivantes :

- Les cathodes sont des feuilles d'aciers inoxydables de dimension 1,20 x 90 m ;
- Les anodes sont en plomb ; la distance anode – cathode est de 5 cm ; plongeant dans une des cuves de capacité de 7 kl.

➤ A l'anode se passe l'oxydation :



➤ La cathode est le siège de la réduction :



Le débit d'entrée à la section de polissage est de 90 à 100 m<sup>3</sup>/h (il est dicté par la section d'extraction par solvant) ; pendant que celui alimentant la section commerciale est répartie en deux de la manière suivante :

- De 11<sup>eme</sup> – 30<sup>eme</sup> cellules : un débit de 150 m<sup>3</sup>/h
- De 31<sup>eme</sup> – 60<sup>eme</sup> cellules : un débit de 216 m<sup>3</sup>/h

### III.5.6. Section des hydroxydes de Cobalt

Cette section s'occupe de la production des concentrés de cobalt sous forme d'hydroxydes à partir du raffinat Low Grade et Co venant de SX, en éliminant d'abord les impuretés dont

le fer, le cuivre résiduel, le manganèse et l'aluminium, par précipitation sélective. Cette purification se fait en deux étapes : la neutralisation déferrage en utilisant la chaux éteinte produite à base de la castine à la section cobalt.

### ***III.5.6.1. Neutralisation-déferrage***

Dans cette section on vise à neutraliser l'acide et éliminer le fer, l'aluminium et autres sous forme des composés insolubles par ajout d'un agent précipitant dans le raffinat Low Grade et Cobalt issu de l'extraction par solvant suivant la réaction :



Dans cette section, le raffinat provenant de SX passe par une série de 5 réacteurs ouvert, dont le premier est le 501, qui communique par débordement, d'une capacité de 50 m<sup>3</sup> chacun et chacun deux avec ses paramètres de consignes.

Le paramètre important reste le pH et il est réglé par ajout de chaux préparée à partir de la castine dans 2 réacteurs de 25 m<sup>3</sup> chacun. Outre le lait de chaux, la section utilise de l'air provenant d'un compresseur et est alimenté dans les quatre premiers réacteurs dans le but de pourvoir oxyder le Fe<sup>2+</sup> en Fe<sup>3+</sup> qui précipite sous une forme insoluble.

### ***III.5.6.2 Décobaltage***

Le décobaltage comme le déferrage se déroule en deux étapes dans huit réacteurs ouverts dont chacun avec ses paramètres de consigne. Le but du décobaltage est d'extraire le cobalt de la Solution en le précipitant sous forme d'hydrates et éliminer le Mg, le Mn et autres impuretés ayant le même pH de précipitation que le cobalt (Kahet 2020).

## **III .6 Méthodologie du travail**

La méthodologie utilisée pour effectuer un bilan carbone d'une usine hydrométallurgique consiste à faire une identification des tous les postes émetteurs directs ou indirects dans la production du métal allant de l'extraction des minerais jusqu'au produit fini, avec les émissions directes celles issues directement du procédé et les émissions indirectes provenant des activités connexes.

Ensuite recueillir toutes les données d'activités liées aux postes identifiés (quantité d'acide sulfurique consommée, quantité des minerais consommés, énergie électrique consommée, ...) par mois ou pour toute une année. Ensuite faire une multiplication des

différentes données d'activités par des facteurs d'émissions associés respectivement et enfin faire une sommation de toutes les quantités de CO<sub>2</sub> émises (Muderhwa 2018).

Le bilan de l'usine peut être effectué suivant différentes méthodes suivant les données qui sont à notre disposition.

### ***III.6.1. Méthodes utilisées***

On a deux méthodes qui peuvent être appliquées en suivant les données obtenues, une première appelée par la méthode de niveau 1 qui se base sur la production totale, cette méthode est simple, elle peut mener à des erreurs dues à sa dépendance sur des suppositions plutôt que sur des données réelles et ensuite une deuxième méthode appelée par la méthode de niveau 2 qui se base sur la consommation des matières premières entrant dans la production du cuivre et du cobalt ;

#### **Méthode de niveau 1 : facteurs d'émission basés sur la production**

La méthode d'estimation la plus simple est de multiplier les facteurs d'émission par défaut ou les facteurs d'émission généraux par le nombre de tonnes de cuivre produit dans la formule suivante :

$$\mathbf{Eco_2 = MP \times FE} \quad \text{(III.9)}$$

Avec

**Eco<sub>2</sub>** : émissions de CO<sub>2</sub> en tonnes eqCO<sub>2</sub>

**MP** : masse de cuivre produite en tonne

**FE** ; facteur d'émission

#### **Méthode de niveau 2 : basée sur les matières premières**

Certains des minerais utilisés pour la production des métaux peuvent posséder du carbone ; comme le cas des carbonates notamment du carbonate de calcium ou le calcaire (CaCO<sub>3</sub>), le carbonate de zinc (ZnCO<sub>3</sub>), la sidérite (FeCO<sub>3</sub>), la malachite (Cu<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(OH)<sub>2</sub>). Pour accéder au métal correspondant, ces minerais passent par des traitements thermiques ou des traitements par voie aqueuse. Il en résulte des émissions de dioxyde de carbone (Kabongo 2017). Et cette méthode se base sur des facteurs d'émission spécifiques aux usines. (Faerden et al, 2006)

Ces émissions peuvent être calculées de la manière suivante où :

$$E_{CO_2} = \sum TM \times CC_{\text{Minerai}} \times 44/12 \quad (\text{III.10})$$

Où

$E_{CO_2}$  : émissions de CO<sub>2</sub> en tonnes (kilogrammes) éq CO<sub>2</sub>

TM : tonnage du minerai traité

CC : contenu carbonique du minerai traité

44/12 : la constante est le facteur de multiplication par la masse de CO<sub>2</sub> émise de chaque masse d'unité de carbone utilisée.

Le contenu carbonique du minerai signifie la masse de carbone contenu dans le minerai en pourcentage.

### ***III.6.2 Inventaire des données et calcul des émissions par poste***

Nous avons retenu trois postes d'émissions comme émetteurs, dans la production du cuivre et du cobalt dans l'entreprise SOMIKA, c'est notamment le process, l'énergie électrique et le transport.

En effet toutes les données (d'activités et celles qui concernent les analyses chimiques,) étaient prises dans les rapports annuels dans les différents départements de l'usine à l'instar du département de process, au store et à la logistique.

L'année que les données ont collecté est l'année 2019. Ces calculs sont effectués au logiciel Excel.

#### **1. Process**

C'est un poste de production (usine). Alors ici les émissions directes en CO<sub>2</sub> sont liées principalement à la neutralisation, les émissions indirectes à la consommation de quelques matières (diluants, extrayant, acide) et à l'énergie électrique avec force détails au poste 2. Par manque de certains facteurs d'émissions, les données retenues pour ce poste sont :

- Le tonnage annuel des minerais qui nous servira dans le calcul en suivant la méthode de niveau 2.

- La consommation annuelle en acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) qui est multipliée par un facteur d'émission pour savoir la quantité d'émission.

## 2. Energie électrique

Les consommations en énergie électrique sont liées à deux secteurs : l'usine qui est un grand consommateur d'énergie notamment à section de HBF (filtration à bande horizontale), à la section d'électrolyse, à la sous-section SFD (filtre presse) et comme le deuxième secteur c'est le site qui consomme assez moins d'énergie, où l'énergie est fournie et utilisée pour différents usages à savoir le fonctionnement des machines, l'éclairage et la climatisation des bureaux avec 50 A environ par mois.

$$\text{Puissance (watt)} P = U.I \cos\alpha \quad \text{avec } \alpha = 0,85 \quad (\text{III.11})$$

$$P = 415 \text{ volt} \cdot 50 \text{ A} \cdot \cos(0,85) = 20747,71665 \text{ watt /mois et } P = 248\,972,5998 \text{ watts /an}$$

La Somika consomme l'énergie électrique dans son site provenant généralement de la société nationale d'électricité (SNEL) secondée par une série de deux générateurs électriques installée sur le site en cas d'interruption.

Comme données d'activités prises en compte pour ce poste :

- Consommation d'énergie de la SNEL (kWh) ;
- Consommation en combustible des générateurs électriques ;

Alors ces émissions sont calculées conformément avec la source de provenance et les données récoltées.

- Pour la SNEL, la consommation d'énergie est multipliée par un facteur d'émission par défaut fourni par l'ADEME (voir le détail dans les annexes). Il faut signaler que l'énergie qui provient de la SNEL est une énergie hydroélectrique, cette énergie génère des quantités de  $CO_2$ .
- Pour la série des générateurs, la consommation annuelle de combustible est multipliée par le facteur d'émission associé au type de combustible utilisé fourni à l'annexe avec comme combustible utilisé ici est le diesel.

La consommation totale d'énergie électrique dans la section d'électrolyse est obtenue en appliquant la formule 17.

$$W = \frac{26,8 \times n \times E}{\rho \times M} \quad (\text{III.12})$$

Avec

W : consommation spécifique d'énergie (kWh/kg de métal produit) ;

E : différence de potentiels aux bornes des électrodes ;

n : valence de l'ion déposé (nombre électrons échangés) ;

$\rho$  : Rendement faradique ;

M : masse molaire.

### 3. Transport

Le transport est un poste important dans le bilan du fait de ses fortes consommations en combustible. Il est composé de :

- Transport du personnel de domicile au site et du site au domicile assuré par six bus.
- Déplacement des feuilles de cathode du cuivre par 10 élévateurs.
- Acheminement des cakes (rejets) et des minerais à alimenter par 21 camions et 4 chargeuses.

Les données d'activités prises en compte de ce poste :

- La consommation en combustible des six bus ;
- La consommation en combustible des 10 élévateurs ;
- La consommation en combustible des 21 camions et 4 chargeurs.

On va calculer les émissions en CO<sub>2</sub> en multipliant les consommations annuelles en combustible des six bus, des 10 élévateurs ,21 camions et 4 chargeurs par le facteur d'émission qui est 2,52 correspondants au combustible(gasoil).

#### ***III.6.3 Calcul suivant les méthodes***

Toutes les deux méthodes de calcul seront appliquées dans ce travail.

#### **Calcul suivant la méthode de niveau 1**

Par rapport à la méthode de niveau 1, les émissions qui doivent être prises sont les émissions issues de la production de la quantité totale du cuivre.

Pour éviter le double comptage, toutes les activités rentrant directement dans la production du cuivre et cobalt ne sont pas prises en compte dans le niveau 1. Celles-ci sont considérées comme incluses lors de l'élaboration des facteurs d'émission.

Les émissions liées à la production du cuivre seront calculées en multipliant la quantité totale de cuivre produite pour l'année 2019 par un facteur d'émission par défaut fourni par l'ADEME, voir l'annexe.

### **Calcul suivant la méthode de niveau 2**

Suivant la méthode de niveau 2 on tiendra compte des émissions provenant de décobaltage (section d'hydroxyde de cobalt) des minerais, cela veut dire les émissions liées à la consommation des minerais (castine). Tous les postes sont comptabilisés avec cette méthode. Contrairement à la méthode du niveau 1 qui est générale et rapide.

Ainsi, les émissions totales suivant la méthode 2 sont obtenues en effectuant la somme des émissions des différents postes.

### ***III.6.4 Incertitudes***

Les incertitudes de la production de cuivre et cobalt résultent avant tout des incertitudes associées aux facteurs d'émissions et dans une moindre mesure des incertitudes associées aux données sur les activités. Les incertitudes sur les données ne sont pas aussi considérables parce que ces dernières ont été directement récoltées à partir de l'usine, elles peuvent être dues au mode de collecte. Ces dernières incertitudes ont une marge de moins de 5%. Quant aux facteurs d'émission utilisés dans le présent bilan des émissions de gaz à effet de serre possèdent tous une incertitude renseignée de manière standard dans les calculs du fait de l'intégration automatique de ces incertitudes dans la méthodologie (Muderhwa, 2018).

## CHAPITRE IV. PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS

### IV.1 Présentation des résultats

Les données collectées et calculées en ce qui concerne le bilan carbone pour l'entreprise Somika sont présentées dans les lignes qui suivent.

L'année de reporting est l'année sur laquelle les données d'activités sont collectées pour établir le bilan.

L'année de reporting de ce bilan est l'année 2019 (du 1er janvier au 31 décembre).

Comme c'est la première fois de faire le bilan carbone à Somika, l'année de reporting a été considérée comme année de référence.

L'usine Somika est alimentée par les minerais oxydés, des carbonates de cuivre, des carbonates de cobalt d'après l'analyse minéralogique. Le tableau IV.1 montre la composition chimique du minerai alimenté à l'usine Somika.

**Tableau IV.1 - Composition chimique du minerai alimenté à l'usine de Somika**

Elément	Cu	Co	Mn	Fe	Zn
Teneur en %	3,4	0,17	0,20	4,39	0,02

Légende :

Cu : Cuivre

Co : Cobalt

Mn : Manganèse

Fe : Fer

Zn : Zinc

#### IV.1.1 Résultats relatifs à l'inventaire des émissions poste par poste

Comme on a retenu les émissions provenant de trois postes :

##### 1. Process

Pour ce poste on aura à calculer les émissions liées aux consommations de l'acide sulfurique et la consommation de la castine ( $\text{CaCO}_3$ ) utilisée lors de la production de la pulpe sous forme de la chaux éteinte au niveau de la section cobalt, en multipliant la quantité utilisée durant une année par leurs facteurs d'émission, voir le tableau IV.2 émission du poste 1 liée à la consommation de l'acide sulfurique.

Connaissant le tonnage et le contenu carbonique voir l'annexe 5 on peut calculer les émissions de la castine en appliquant :  $E_{\text{CO}_2} = \sum \text{TM} \times \text{CC}_{\text{Minerai}} \times 44/12$ , avec  $\text{CC}_{\text{Minerai}} \times 44/12 = 0,096 \times 44/12 = 0,352$  comme une constante d'émission. Les émissions liées à la consommation de castine (production de la chaux éteinte par un broyage humide) sont présentées dans le tableau IV.2.

**Tableau IV.2 - Emission du poste 1 liée à la consommation de l'acide sulfurique.**

Poste	Produit	Consommation annuelle (kg)	Facteur d'émission (kg) éq $\text{CO}_2$ /kg	Quantité totale de $\text{CO}_2$ /an (kg)
Process	Acide sulfurique	30 240 000	0,2077	6280848
Total				6 280 848

**Tableau IV.3 - Emission liée à la consommation de castine**

Poste	Tonnage annuel de minerai (tonnes sèches)	Constante d'émission (kg) éq $\text{CO}_2$ /kg	Quantité totale de $\text{CO}_2$ émises (kg éq $\text{CO}_2$ /an)
-------	---	--	---

Process	26 280 000	0,352	9 250 560
	Total		9 250 560

La somme totale des émissions du poste 1 est de **15 531 408** kg éq CO<sub>2</sub>/an ou **15 531, 408** t éq CO<sub>2</sub>/an.

## 2. Energie électrique

Dans ce poste les émissions sont liées à l'énergie de la SNEL et celle des générateurs à diesel en cas d'interruption du courant. L'énergie de la SNEL étant une énergie verte, qui ne dégage pas beaucoup d'émissions CO<sub>2</sub>, cependant les émissions CO<sub>2</sub> de l'énergie verte est de 4g/1KWh (Wikipédia, 2020). D'après l'Ademe le facteur d'émission de l'énergie verte de 4/300kW, run-of –river est de 13gCO<sub>2</sub>e/kWh) voir l'annexe 4. Ces émissions sont représentées dans les tableaux IV.4 et IV.5.

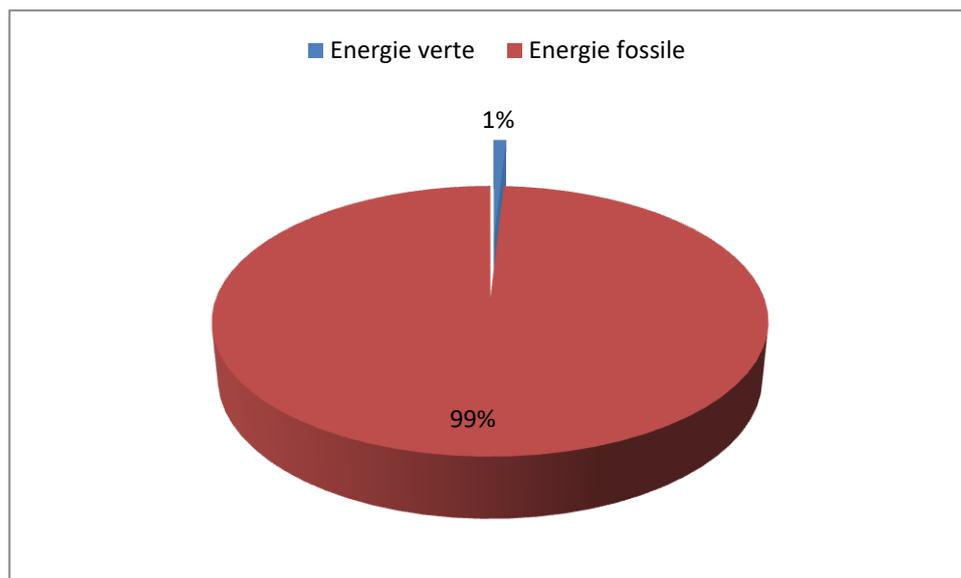
**Tableau IV.4 - Emissions au poste 2 liées à l'énergie de la SNEL**

Poste	Source	Consommation en énergie (kwh)	Facteur d'émission en kg éq CO <sub>2</sub> /kwh	Quantité de CO <sub>2</sub> émise (kg éq CO <sub>2</sub> /an)
Energie électrique	SNEL	172 800	0,013	22 464
	Total d'émission			22 464

**Tableau IV.5- Emission liée à l'énergie des générateurs**

Poste	Source	Type de combustible	Consommation en combustible	facteur d'émission kgCO <sub>2</sub> /l	Quantité de CO <sub>2</sub> (kg éqCO <sub>2</sub> /an)
Energie élect.	Générateurs	Diesel	976205	2 ,52	2 460 036,6
Total d'émission					2 460 036,6

La somme des émissions des deux sources est de **2 482 500,6 kg éq CO<sub>2</sub>/an (2 482, 5006 téq CO<sub>2</sub>/an)**. L'énergie des générateurs est une énergie fossile qui émet plus d'émissions CO<sub>2</sub> que l'énergie verte (SNEL) comme la figure IV.1 montre.



**Figure IV.1 - Comparaison des émissions CO<sub>2</sub> de l'énergie verte (SNEL) et l'énergie fossile**

La figure IV.1 nous prouve que l'utilisation de l'énergie verte (SNEL) émet peu de gaz à effet de serre qui représentent 1% des émissions CO<sub>2</sub> par rapport à l'utilisation de l'énergie fossile (qui brûle du carburant) qui a 99% des émissions pour ce poste.

### 3. Transport

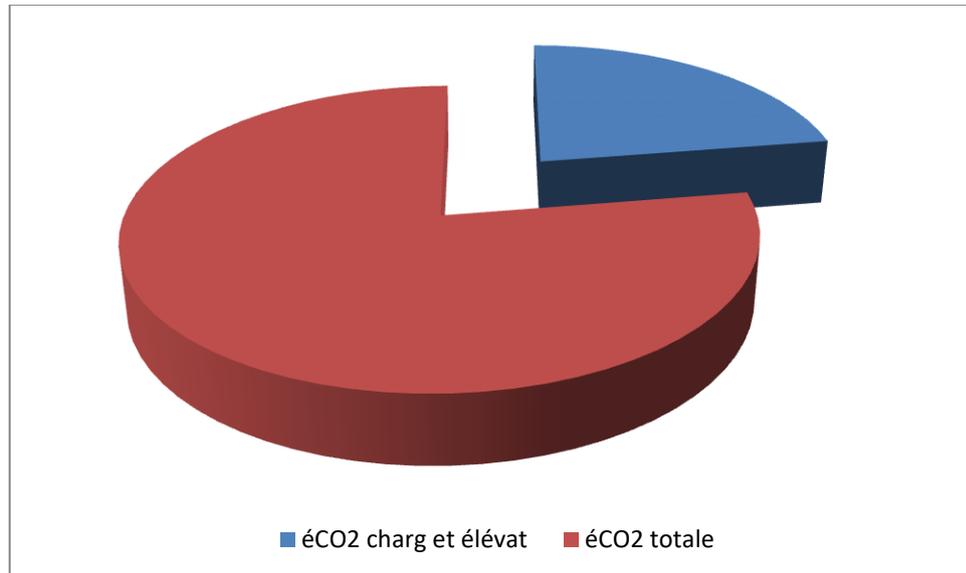
Pour le poste de transport on va calculer les émissions provenant des combustibles utilisés dans les bus, les camions, les élévateurs et les chargeurs par le facteur d'émission.

Les résultats de ce poste sont représentés dans le tableau IV.6.

**Tableau IV.6 - Emissions au poste 3**

Poste	Engins	Type de combustible utilisé	Qté totale de combustible/an (litre)	Facteurs d'émission en kg	Qté totale de CO <sub>2</sub> émise (kg éq CO <sub>2</sub> /an)
Transport	Caminions	Gasoil	6 349 520	2,52	16 000 790,4
	Bus,				
	chargeurs				
	Elévateurs				
Emissions totales					16 000 790,4

Les émissions totales de ce poste sont de **16 000 790,4 kg éq CO<sub>2</sub>/an** ou **16 000 ,7904 t éq CO<sub>2</sub>/an**, La quantité du gasoil consommée par les élévateurs et les chargeurs est de 1 841 360 litres /an, qui correspond à une quantité d'émission estimée de : **4 640 227,2 kg éq CO<sub>2</sub>/an**. Les émissions des élévateurs et chargeurs sont indiquées dans la figure IV.2.



**Figure IV.2- Emissions CO<sub>2</sub> des élévateurs et des chargeurs pour ce poste**

Dans la figure IV.2, les émissions CO<sub>2</sub> des élévateurs et chargeurs représentent. 28,9% des émissions totales de ce poste et 71,1% pour les bus et camions.

#### ***IV.1.2 Résultats des calculs suivant les méthodes***

##### **Méthode Niveau 1**

Les résultats du calcul des émissions sont représentés dans le tableau IV.7.

**Tableau IV.7 - Résultats du calcul des émissions à la production du cuivre**

Poste	Qté de métal produite en kg	Facteur d'émission en kg éq CO <sub>2</sub> /kg	Emission totale en kg éq CO <sub>2</sub> /an
Production	25 185 000	2,9 3	73 792 050

La production du cuivre représente un grand émetteur de dioxyde de carbone de valeurs : **73 792 050 kg éq CO<sub>2</sub>** avec une grande incertitude.

La production journalière de cuivre est de 69 tonnes de cathode de cuivre à 99,996%.

Tonnage : 186 880 000 kg ou 186 880 t des minerais alimentés

Rendement de lixiviation : 95 %

Rendement d'extraction : 96,4%

Rendement de stripage : 93%

Rendement d'électrolyse ; 88,9%

##### **Méthode de niveau 2**

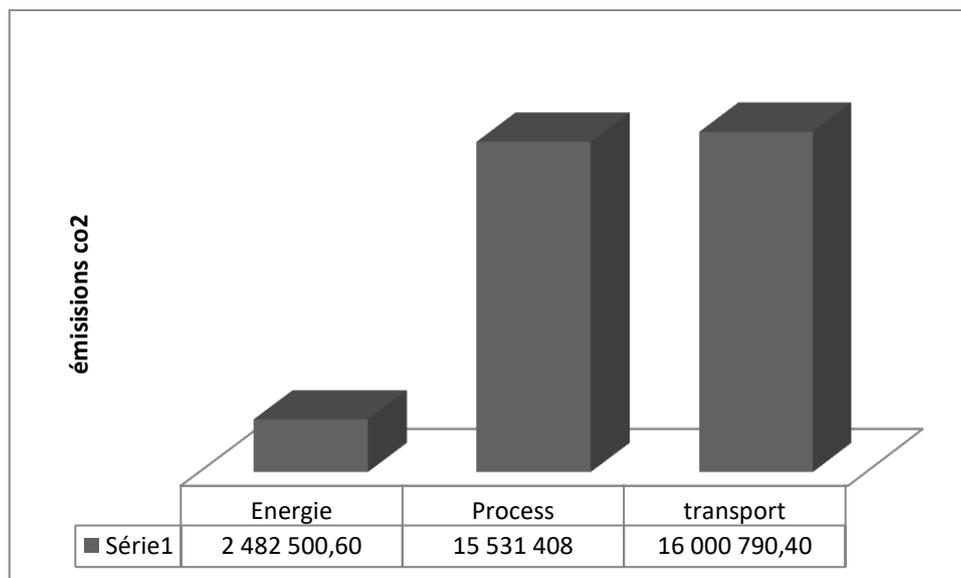
Les résultats de cette méthode de niveau sont présentés dans le tableau IV.8.

**Tableau IV.8 - Résultats du calcul par la méthode de niveau 2**

Postes	Emissions en kg éq CO <sub>2</sub> /an
Energie	2 482 500,6
Process	15 531 408
Transport	16 000 790,4
<b>Total</b>	<b>34 014 699</b>

Le poids total des émissions en kilogrammes équivalent CO<sub>2</sub> suivant la méthode de niveau 2 est de **34 014 699** kg éq CO<sub>2</sub>/an.

Comme l'on indique dans le tableau IV.8, le poste transport représente une grande quantité d'émissions CO<sub>2</sub> dans la méthode de niveau 2. Dans la figure IV.3 la répartition des émissions CO<sub>2</sub>, la grande quantité se trouve au poste de transport, suivi de celui du process, et d'énergie.

**Figure IV.3- Répartition des émissions en suivant la méthode de niveau 2**

La figure IV.3 nous montre la répartition des émissions CO<sub>2</sub> en suivant la méthode de niveau 2. Le transport est le poste qui produit plus d'émissions de CO<sub>2</sub> que les autres postes ; cela est certainement dus aux camions qui font des longues distances pour l'entreposage des rejets loin de l'usine, les bus, les élévateurs et les chargeurs qui font beaucoup de courses par jour sur le site et hors site ; le poste process vient en second et le poste énergie en dernier vu que la grande partie d'énergie utilisée à SOMIKA a pour source l'énergie hydroélectrique moins émettrice.

## **IV.2 Discussion des résultats**

Pour une comptabilisation rapide de la quantité totale d'émissions CO<sub>2</sub> de l'usine SOMIKA, la méthode de niveau 1 a été appliquée et révèle que cette usine pour la production du cuivre émet **73 792,050** t éq CO<sub>2</sub> par an. Cette méthode générique et assez imprécise, a permis d'avoir une idée rapide des émissions du procédé mais, le facteur d'émission de la production du cuivre utilisé a une incertitude de 50 % selon l'ADEME. Cependant, dans la proposition des plans d'actions de réduction des émissions des gaz à effet de serre, les résultats issus de la méthode de niveau 2 ont été considérés.

La méthode du niveau 2 reprenant les émissions du poste 1 (process), poste 2 (énergie) et poste 3 (transport), a permis d'obtenir **34 014,699** téq CO<sub>2</sub> dégagées par an. En comparant les quantités en tonnes éq CO<sub>2</sub> dégagées pour ces postes, le poste 3 (transport) est le plus émetteur.

Par comparaison avec les résultats des travaux antérieurs obtenus par Muderhwa (2018) pour une usine hydrométallurgique (80 187 tonnes) et par Kalombo (2017) pour une usine pyrométallurgique (33600 tonnes), nous pouvons constater que les résultats issus de l'usine pyrométallurgique trônent en tête vu l'usage des combustibles fossiles même au process.

**Tableau IV.9 – Comparaison de nos résultats avec ceux de travaux antérieurs**

N°	Travaux	Poste choisie	Quantité totale téq CO <sub>2</sub> obtenu
1	Kalombo	Approvisionnement scorie et coke	175 472,88
		Four électrique et à induction	
		Séchage et préchauffage	
2	Muderwa	Administration	91371,719
		Energie	
		Mine	
		Process	
3	Kahet	Transport	34 014,699
		Energie	
		Process	
		Transport	

Le tableau IV.9 indique que nos résultats sont 5 fois inférieur à ceux obtenus par Kalombo pour une usine pyrométallurgique et environ 3 fois inférieur à ceux obtenus par Muderhwa pour usine hydrométallurgique. Les fortes émissions dans la production des ferroalliages peuvent s'expliquer par le fait qu'on utilise des énergies fossiles dont le fuel, GPL pour le séchage et le coke comme agents réducteurs pour la fusion au four ; et en ce qui concerne Muderhwa (2018) qui a obtenu des résultats environ 3 fois supérieur aux nôtres, cela peut être dû aux nombres des poste choisis et au tonnage annuel de production , parce que d'une part nous n'avons pas eu accès à plus données pour étendre les postes et d'autres part le tonnage annuel sur notre site est aussi environ 3 fois inférieur à celui de Muderhwa.

Après cette petite comparaison, nous pouvons confirmer les procédés par voie sèche (usine pyrométallurgique) émettent plus de CO<sub>2</sub> que celles par voie humide (usine hydrométallurgique).

Cependant, bien que les émissions de CO<sub>2</sub> des usines hydrométallurgique soient faibles par rapport à celles des usines pyrométallurgiques, elles sont tenues d'être réduites.

### **IV.3 Etude des possibilités pour réduire les émissions GES**

Pour la réduction des émissions des gaz à effet de serre, il est important au préalable d'initier la sensibilisation à l'effet de serre au sein de l'entreprise ou auprès de chaque

acteur jouant un rôle, concourant à la production d'un produit ou d'un service important. Cependant nos perspectives de réduction ont été tournées vers le transport et l'énergie.

#### **a. Transport**

Pour ce poste, il est envisageable de substituer le mode de transport du minerai du raw material (hall de stockage) jusqu'à l'alimentation souvent opéré à l'aide des chargeurs par le transporteur à bande, une délocalisation du lieu de stockage (dépôt) des cathodes de cuivre qui est loin de la salle d'électrolyse, permettra de réduire le nombre des courses effectuées par les élévateurs qui diminuent la consommation en carburant, par conséquent l'estimation de la quantité d'émission est de : **4 640 227,2 kg** éq CO<sub>2</sub>/an pour la consommation du gasoil par les élévateurs et les chargeurs.

#### **b. Energie**

Pour ce poste l'utilisation des énergies fossiles, est un des problèmes majeurs qui produit les émissions CO<sub>2</sub> en brûlant du carburant, il sera préférable d'utiliser les énergies propres (énergie verte) notamment les panneaux solaires pour diminuer ou supprimer la consommation de quantité des carburants utilisés dans les générateurs électriques, ce qui réduira les émissions CO<sub>2</sub>.

## CONCLUSION

En conclusion, l'objectif de ce travail était de faire une comptabilisation des quantités en tonne équivalent CO<sub>2</sub> produites par an par l'usine SOMIKA et proposer des possibilités de réduction de ce gaz à effet de serre.

La méthodologie appliquée dans ce travail, a consisté à effectuer un inventaire des émissions CO<sub>2</sub> par calcul, sur base des données collectées à l'usine poste par poste. Les données qui ont permis de faire le calcul ont été collectées dans 3 postes (transport, process et énergie) ; il s'agit des données sur la consommation de l'acide sulfurique, quantité de minerai (castine), quantité des combustibles (carburant) des différents engins, et quantité d'énergie électrique consommée, qui sont utilisées pour la production du cuivre et cobalt. Ces données, ont été multipliées par les facteurs d'émissions spécifiques pour certaines données et contenu carboniques pour d'autres.

A l'issu de notre étude, les résultats obtenus indiquent que le poids d'émissions de ces trois postes dégage une quantité totale d'émission de **34 014 699** kg éq CO<sub>2</sub>/an ou **34 014, 699** téq CO<sub>2</sub>/an dominé par le poste de transport.

Ainsi pour réduire cette quantité, nous proposerons :

- ✓ La substitution du moyen de transport des minerais au niveau du raw material jusqu'à l'alimentation par un transporteur à bande au lieu des chargeurs ;
- ✓ La délocalisation du dépôt des cathodes de cuivre vers un emplacement près de la salle d'électrolyse, pouvant réduire le nombre des courses (distance), la consommation en carburant des élévateurs, qui génèrent des gaz à effet de serre ;
- ✓ L'utilisation de l'énergie renouvelable (panneau solaire) en cas d'interruption du courant de la SNEL.

Ces stratégies de réduction réduiraient des émissions CO<sub>2</sub> de **20,87%**

Comme perspective future, nous pensons qu'une étude incluant les données sur la consommation de diluant (Kérosène), carburant pour les autres véhicules qui circulent sur site non considérés dans ce travail, les contenus carboniques des différents minerais alimentés au process et dans les produits pourra être prise en compte et aussi enquêter sur d'autres GES (méthane, protoxyde d'azote).

## REFERENCES

**Ademe** (Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie), (2007). *Guide des facteurs d'émissions : Calcul de facteurs d'émissions et sources bibliographiques utilisées*. Bilan Carbone® Entreprises et collectivités. Paris.

**Baby P., Couteron, Most J.M., Riedacker A.** (2010) : *Les émissions et les réductions d'émissions de GES en Nouvelle-Calédonie*. Edition IRD, Marseille. 108 pages.

**Blais P.** (2004) *La réduction des émissions de gaz à effet de serre et l'aménagement de territoire : guide de bonnes pratiques*. Québec. ISBN 2-550-4317-X. pp7.

**CITEPA** (2012) rapport : *Inventaire des émissions de gaz à effet de serre, rapport annuel 2012*

**Delmas M.C.et Flores T.**, (2005). *Fiche Technique le Bilan Carbone© en entreprise*.21 pages.

**E-R.S.E**, (2018). *Bilan Carbone ® : définition*. [En ligne]. <https://e-rse.net/definitions/definition-bilan-carbone/#gs.j8FmZ0w>. [page consultée le 02/03/2020].

**Fédération Nationale de l'Aviation Marchande** (2012) - *Guide méthodologique de calcul de bilan des émissions de GES*.

**Guesnerie, R.** (2003) *Kyoto et l'économie de l'effet de serre : rapport*. Les rapports du conseil d'Analyse Economique 39. Paris : Documentation Française, 265 pages.

**GIEC**,( 2007). *Changements climatiques 2007*. Rapport de synthèse. Résumé à l'attention des décideurs, 114 p. ([http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_fr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_fr.pdf)).

**Kabongo H.** (2017) *Rapport de stage fait à la société minière du Katanga*. Inédit. Université de Lubumbashi, Faculté polytechnique, Lubumbashi, R.D. Congo.

**Kahet D. (2020)** *Rapport de stage fait à la société minière du Katanga*. Inédit. Université de Lubumbashi, Faculté polytechnique, Lubumbashi, R.D. Congo.

**Kalombo F. (2017)** : *Calcul du bilan carbone d'usine métallurgique et évaluation des possibilités de réduction des gaz à effet de serre (application à l'usine STL)*. Inédit, Mémoire de fin d'étude. Université de Lubumbashi, Faculté polytechnique. Lubumbashi, R.D. Congo.

**Kaniki A., (2018)**. *Environnement et développement durable*. Inédit, notes de cours. Université de Lubumbashi, Faculté polytechnique, Lubumbashi, R.D. Congo.

**Kaniki A., (2019)**. *Conception environnementale et analyse du cycle de vie*. Inédit, notes de cours. Université de Lubumbashi, Faculté polytechnique, Lubumbashi, R.D. Congo.

**Kitobo W. (2016)**, *Gestion environnementale et législation*. Inédit, notes de cours. Université de Lubumbashi, Faculté polytechnique, Lubumbashi, R.D. Congo.

**Labeyrie J., (1985)**. *L'homme et le climat*, Nouvelle édition science, Denoël, 88 pages.

**LE CLOIREC P. (2008)** : *Emissions du dioxyde de carbone, Technique de l'ingénieur/base-documentaire/environnement et sécurité G1 815*, Ecole nationale supérieure de chimie de Rennes.

**Neeft J, (2013)** *Calculs harmonisés d'émissions de gaz à effet de serre des biocarburants dans l'Union européenne*. Biograce.n° : IEE/09/736/S12 .558249.

**Votreimpact, (2017)**. *Quelles sont les sources principales d'émissions de dioxyde de carbone ?* [En ligne] <https://votreimpact.org/gaz-a-effet-de-serre/sources-de-co2>. [page consultée le 24/04/2020].

## ANNEXES

## Annexe1 - Facteurs d'émission pour le CO2 issu de différents combustibles (source : ADEME et Base Carbone)

Intitulé du facteur d'émission	Valeur (kgCO2e)	Unité	Incertitude
<b>Energie</b>			
Kérosène - combustion - Jet A1 et Jet A	3150	kg eq CO2 / tonne	5%
Kérosène - combustion - Jet B	3100	kg eq CO2 / tonne	5%
Kérosène - combustion - Jet AvGas	3100	kg eq CO2 / tonne	5%
Kérosène - amont - Jet A1 et Jet A	274	kg eq CO2 / tonne	5%
Kérosène - amont - Jet B	270	kg eq CO2 / tonne	5%
Kérosène - amont - Jet AvGas	270	kg eq CO2 / tonne	5%
Electricité - mix français - production	0,056	kg eq CO2 / kWh	10%
Electricité - mix français - pertes en ligne	0,006	kg eq CO2 / kWh	10%
Electricité - mix français - amont	0,017	kg eq CO2 / kWh	10%
Electricité - mix français - production + amont	0,073	kg eq CO2 / kWh	10%
Gaz naturel - combustion kWh / an	0,20	kg eq CO2 / kWh	5%
Gaz naturel - amont kWh / an	0,04	kg eq CO2 / kWh	5%
Gaz naturel - combustion m3 / an	1,91	kg eq CO2 / m3	5%
Gaz naturel - amont m3 / an	0,35	kg eq CO2 / m3	5%
Gaz naturel - amont + combustion m3	2,27	kg eq CO2 / m3	5%
Fioul domestique - combustion - litres / an	2,68	kg eq CO2 / litre	5%
Fioul domestique - amont - litres / an	0,56	kg eq CO2 / litre	5%
Fioul domestique - combustion - kWh / an	0,27	kg eq CO2 / kWh	5%
Fioul domestique - amont - kWh / an	0,06	kg eq CO2 / kWh	5%
Essence - combustion litres / an	2,46	kg eq CO2 / litre	5%
Essence - amont litres / an	0,47	kg eq CO2 / litre	5%
Essence - combustion kWh / an	0,27	kg eq CO2 / kWh	5%
Essence - amont kWh / an	0,05	kg eq CO2 / kWh	5%
Gazole - combustion litres / an	2,52	kg eq CO2 / litre	5%
Gazole - amont litres / an	0,65	kg eq CO2 / litre	5%
Gazole - combustion kWh / an	0,27	kg eq CO2 / kWh	5%
Gazole - amont kWh / an	0,06	kg eq CO2 / kWh	5%
GPL (propane, butane) - combustion litres / an	1,60	kg eq CO2 / litre	5%

Activer Windows  
Accédez aux paramètres  
Windows

**Annexe 2 - Facteurs d'émissions liés à la production de quelques métaux.****(Ademe,2007)**

Métaux	Valeur retenue (kg CO <sub>2</sub> /kg de métal)	Incertitude retenue
Cuivre (Cu)	2,93	50%
Nickel (Ni)	9,17	30%
Plomb (Pb)	2,09	30%
Zinc (Zn)	2,93	20%

**Annexe 3 - Facteurs d'émissions de produits chimiques (Neeft,2013).**

Produits chimiques	Facteurs de conversion
n-Hexane	80,5 g CO <sub>2</sub> éq /MJ
Acide phosphorique (H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> )	3011,7 g CO <sub>2</sub> éq/kg
Montmorillonite	199,7 g CO <sub>2</sub> éq /kg
Acide chlorhydrique (HCl)	750,9 g CO <sub>2</sub> éq /kg
Carbonate de sodium (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	1190,2 g CO <sub>2</sub> éq /kg
Hydroxyde de sodium (NaOH)	469,3 g CO <sub>2</sub> éq /kg
Hydrogène (pour hydrotraitement)	87,32 g CO <sub>2</sub> éq /MJ
CaO pur pour process	1030 g CO <sub>2</sub> éq /kg
Acide sulfurique (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	<b>207,7 g CO<sub>2</sub>éq /kg</b>

**Annexe 4 Facteur d'émission d'énergie électrique suivant la source (Ademe,2007).**

<b>Technology</b>	<b>Capacity/configuration/fuel</b>	<b>Estimate (gCO<sub>2</sub>é/KWh)</b>
Wind	2,5 MW,offshore	9
Wind	1,5 MW, offshore	10
Biogas	Anaerobic digestion	11
<b>Hydroelectric</b>	<b>300 kW,run-of-river</b>	<b>13</b>
Solar thermal	80MW,parabolic trough	13
Biomass	Forest wood steam turbine	22
Nuclear	Various reactor types	66
Natural gas	Various combined cycle turbine	443
Diesel	Various generator and turbine types	778
Coal	Various generator without scrubbing	1050

**Annexe 5 calcul du contenu carbonique dans le minerai**

Le contenu carbonique est la proportion en carbone contenu dans le minerai ; il est calculé comme suit ;

$$CC : C_{\text{mineral}} \times \%_{\text{minerai}}$$

Avec

CC : contenu carbonique

$C_{\text{mineral}}$  : proportion de carbone dans le minéral (calcaire)

$\%_{\text{minerai}}$  : proportion du minéral dans le minerai (castine).

La composition de la castine est de : 80% de calcaire.

La proportion de carbone est trouvée dans le calcaire en multipliant la masse molaire du carbone (12,011g/mol) par 100, le tout divisé par la masse molaire du calcaire (100,0875g/mol). On obtient après calcul : 12,0004995%.

$$CC = 0,120004995 \times 0,80 = 0,0960039$$

Le contenu carbonique est donc de 9,60039%.