

## Application de l'Analyse de cycle de vie dans l'évaluation des impacts environnementaux –Cas de l'Industrie du Ciment

\* **S. BOUGHERARA, M. BELKHIR, F. LECHEB, F. MEDJDOUB, K. DELLECI.**

Laboratoire de Recherche en Technologie Alimentaire (LRTA), Université M'Hamed Bougara, Boumerdès  
Département du Génie des Procédés, Faculté de Technologie, Université M'Hamed Bougara, Boumerdès, Algérie

\*Corresponding author: sbougherara2019@gmail.com

### RÉSUMÉ

L'industrie algérienne des ciments est sensée faire des progrès pour vaincre les défis qu'elle rencontre et suivre les développements scientifiques, technologiques et environnementaux du siècle. La maîtrise de l'impact environnemental, la réduction de la pollution par la mise en œuvre des technologies plus propres, en suivant la démarche d'éco-conception, d'analyse de cycle vie, et en bénéficiant des principes de l'économie circulaire, permet de réduire les émissions nocives rejetées suite au processus de fabrication.

Dans cette perspective, nous avons choisi deux voies de production du ciment, auxquelles nous avons appliqué la démarche Analyse de cycle de vie et l'économie circulaire afin de vaincre les problèmes environnementaux générés par cette industrie.

**Mots clés :** ACV, industrie cimentière, économie circulaire, impacts environnementaux, éco-conception.

### Introduction

La prise en compte de l'environnement a été traditionnellement déclinée soit par l'impact environnemental (déchets, pollutions, consommation d'énergie...), soit par secteur d'activités (Industries, transports...), des approches qui se sont souvent révélées trop parcellaires pour justifier du bien-fondé environnemental des efforts à réaliser.

La maîtrise de l'impact environnemental, la réduction de la pollution par la mise en œuvre des technologies plus propres, en suivant la démarche d'éco-conception, d'analyse de cycle vie, et en bénéficiant des principes de l'économie circulaire, permet de réduire les émissions nocives rejetées suite au processus de fabrication.

L'industrie algérienne des ciments est sensée faire des progrès pour vaincre les défis qu'elle rencontre et suivre les développements scientifiques, technologiques et environnementaux du siècle. Et ce afin de faire face à l'exigence du consommateur actuel et s'opposer à la concurrence internationale, améliorer la qualité et baisser le coût du produit tout en respectant l'environnement. Ceci ne peut se réaliser que par l'application d'une politique de gestion très stricte qui permet la maîtrise de la production et le respect de l'environnement.

Dans cette étude, nous nous sommes basés sur deux voies de production du ciment, auxquelles nous avons appliqué la démarche Analyse de cycle de vie et l'économie circulaire afin de vaincre les problèmes environnementaux générés par cette industrie.

### 2. Modèle d'étude

#### 2.1 Objectifs de l'étude

Ce présent modèle d'étude définit le cadre méthodologie auquel doivent se conformer les phases subséquentes de l'évaluation de l'analyse de cycle de vie. Et ce en réalisant une analyse simplifiée des impacts environnementaux de deux procédés de fabrication du

ciment: voie humide et voie sèche et réduire leurs impacts en bénéficiant des biens faits de l'économie circulaire.

Plus spécifiquement, les objectifs de l'étude étaient de:

1. Identifier et quantifier les impacts environnementaux potentiels.
2. Déterminer les paramètres contribuant aux impacts déterminés.
3. Implication de l'économie circulaire dans la réduction et l'atténuation des impacts sur l'environnement.

Cette démarche est appliquée dans ce cas uniquement au processus de fabrication depuis l'utilisation des matières premières jusqu'à l'obtention du produit fini, sans tenir compte du transport, d'utilisation, de traitement, ce qui est compatible avec les objectifs visés tous en ayant recours au logiciel SimaPro 7.1 (Pré consultant 2008) en utilisant l'EDIP 2003 comme méthode d'évaluation.

Les résultats de cette étude préliminaires ont vocation à un usage interne par les cimenteries Algériennes, afin d'arbitrer les déplacements de pollutions liés aux différentes alternatives envisagées et d'améliorer la performance des processus utilisés, d'identifier les problèmes potentiels liés à leur cycle de vie et de déterminer les possibilités d'amélioration. Ce genre d'étude facilite la communication des résultats et augmente la crédibilité de l'analyse.

## 2.2 Description du système étudié

La démarche ACV a été appliquée pour deux voies de production du ciment l'une est sèche et l'autre est humide:

### 2.2.1 La voie sèche (Sour El Ghozlane)

La cimenterie possède une concession d'exploitation des carrières calcaire, argile et gypse.

La consommation des matières de base pour la production d'une tonne de clinker est déterminée sur la base des rations.

Le tableau ci-dessous résume les besoins de consommation de matière de base pour la production du ciment [1].

**Tableau.1** Taux de consommation de matières de base pour la production du ciment

Matières	Normes admises par le groupe de cimenteries	
	Taux / clinker (%)	Tonne / tonne de clinker
Calcaire	78 – 80	0,78 – 0,8
Argile	16 – 17	0,16 – 0,17
Sable	2	0,02
Minerai de fer	01-1	0,01

### 2.2.2 La voie humide (Cimenterie de Rais Hamidou)

La cimenterie de Rais Hamidou possède aussi une concession d'exploitation des carrières calcaires, argile et le gypse.

Pour l'application de cette démarche, il faut suivre certaines étapes primordiales à savoir: l'unité fonctionnelle, les frontières du système, l'inventaire et l'évaluation des impacts et interprétations...

### 2.3 Unité fonctionnelle

C'est un élément de mesure qui permet de quantifier la fonction remplie par le produit étudié. Dans ce cas elle est rapportée à une production d'une tonne de ciment.

### 2.4 Réalisation de l'inventaire

Afin d'exploiter les avantages de l'ACV, nous avons choisi deux voies distinctes de production du ciment ;il s'agit essentiellement de la voie sèche utilisée par la cimenterie de Sour El Ghozlane et la voie humide utilisée par la cimenterie de Rais Hamidou. Pour ce faire un bilan de consommation des matières premières, des énergies et des émissions doit être réalisé, ce bilan est appelé dans l'ACV inventaire de cycle de vie (IACV), ce dernier est illustré dans le tableau 02.

Les données utilisées dans ce cas, sont issues des deux usines en faisant la collection de toutes les données disponibles par analyses, par calcul, et en exploitant la base de données de ce logiciel notamment pour le gaz et

l'électricité. Les données collectées nous ont permis d'établir l'inventaire, présenté dans le tableau N°02).

Selon les données collectées illustrées dans l'inventaire ci-dessous, pour les différentes étapes de fabrication des deux processus de fabrication, on constate qu'il y a une consommation importante de matières premières, des énergies, notamment d'électricité, de gaz et de l'eau.

Ces derniers sont plus significatifs dans le cas de la voie humide par rapport à la voie sèche. La consommation des matières premières et le passage par différentes phases de fabrication, s'accompagne d'une émission assez importante de gaz à effet de serre notamment le CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et de poussières avec des pertes de chaleurs à l'évaporation de l'eau ajoutée. Le dégagement gazeux est à l'origine de la combustion du fuel utilisé lors de l'étape de « cuisson » au niveau du four.

**Tableau.2** : Données entrants et sortants des cimenteries – inventaire des données

Matières premières et énergie	Voie sèche (cimenterie de Sour El Ghozlane)	Voie humide (cimenterie RaisHamidou)
Minerais de fer (T/Ton Ciment)	0,016	0.037
Sable (T/T Ciment)	0,044	0.65
Calcaire (T/Ciment)	1,069	1.254
Argile (T/T Ciment)	0,078	0.044
Gypse (T/ T Ciment)	0,062	0.059
Tuf (T/ T Ciment)	0,150	0.150
Eau (m <sup>3</sup> / T Ciment)	0,259	0.924
Electricité (KWh/ T Ciment)	103,362	121.038
Gaz (m <sup>3</sup> / T Ciment)	75,897	212.906
Gaz – oil (Litre / T Ciment)	1,071	1.735
Huile (Litre/ T Ciment)	0,122	0.217
Graisse (Litre / T Ciment)	0,101	0.053
CO (g / T Ciment)	1,540	0.192
CO <sub>2</sub> (g / T Ciment)	797,00	850
NO <sub>x</sub> (Kg / T Ciment)	0,430	0.712
Poussières (Kg /T Ciment)	0,155	0.089

**Tableau 3** impacts environnementaux générés par les deux procédés VS/VH

Catégories d'impact	Unité	Voie humide	Voie sèche
Réchauffement global	Eq kg CO <sub>2</sub>	850	651
Formation d'ozone (végétation)	m <sup>2</sup> .ppm.h	10.6	1.56E4
Formation d'ozone (humaine)	Persan.pp m.h	0.00085	1.26
Acidification	m <sup>2</sup>	6.12	568
Eutrophisation aquatique EP(N)	Kg N	0.0684	6.34
Toxicité humaine (air)	m <sup>3</sup>	9.12E3	1.35 E7
Toxicité humaine (eau)	m <sup>3</sup>	0.00528	0.49
Toxicité humaine (sol)	m <sup>3</sup>	2.08	194
(Ressources)	Kg	0.00315	0.573

**Tableau 3** contribution des éléments aux impacts environnementaux VS/VH

Impacts	Elements contributeurs	Unité	Voie humide	Voie sèche
Réchauffement global	Dioxyde de carbone	Eq kg CO <sub>2</sub>	850	83.3
	Monoxyde de carbone	Eq kg CO <sub>2</sub>	0.384	567
Formation d'ozone végétation	Dioxyde de carbone	m <sup>2</sup> .ppm.h	10.6	1.56E-4
Formation d'ozone humaine	Dioxyde de carbone	personne.ppm.h	0.00085	1.26
Acidification	Dioxyde d'azote	m <sup>2</sup>	6.12	568
Eutrophisation aquatique	Dioxyde d'azote	KgN	0.0684	6.34
	monoxyde de carbone	m <sup>3</sup>	9.12E3	1.35E7
Toxicité humaine (air)	Dioxyde d'azote	m <sup>3</sup>	0.00528	0.49
Toxicité humaine (eau)	Dioxyde d'azote	m <sup>3</sup>	2.08	194
Toxicité humaine (sol)	Dioxyde d'azote	m <sup>3</sup>	2.08	194
Resources	Fer 46%		0.00315	0.00151
	Huile brute, 41MJ per kg		7.81E-6	0.571

## 2.5 Evaluation des impacts

Les impacts engendrés par les deux processus de fabrication du ciment; la voie humide et la voie sèche sont rapportés dans le tableau ci-dessous: Selon les résultats obtenus, on constate que la voie sèche génère plus d'impacts par rapport à la voie humide, sauf la catégorie effet de serre (réchauffement global). Ceci est dû aux émissions importantes des gaz à effet de serre notamment le dioxyde de carbone, qui est le résultat de la combustion du gaz naturel et l'utilisation d'une quantité importante à la fois du gaz et d'électricité, c'est le cas de la voie humide où elle consomme plus d'énergie et d'électricité par rapport à la voie sèche, cette énergie est nécessaire pour évaporer la quantité d'eau ajoutée pour avoir le slurry dans le cas de la voie humide [02].

Selon une étude réalisée sur la conservation d'énergie et l'utilisation des déchets dans le four rotatif humide utilisé pour l'industrie du ciment, ils ont constaté que le majeur problème de l'industrie du ciment est la conservation d'énergie, notamment pour la voie humide, où il y a ajout environ 25 à 50% d'eau ajoutée aux matières premières afin de former le slurry (mixture)[03]. Dans le four ces matières subissent une succession de réactions voire la déshydratation, calcination et dégazéification lors de processus de clinkérisation. Cette succession de réaction, permet de réduire la quantité de l'énergie perdue, par la transformation de la chaleur du système de sortie de l'air, aux matières premières jusqu'à l'obtention du produit fini, et par voie de conséquence la réduction des pertes d'énergie et de quantité de déchets formée.

La quantité des déchets produite par le processus, varie de 0,05 à 0,5 / poids de clinker. Ces derniers sont collectés par précipitation électrostatique qui consomme environ 0,4% d'énergie utilisée pour la production du ciment et qui répond au principe de l'économie circulaire [04].

La formation des déchets, notamment la poussière, est considérée comme pollution particulaire contribuant à un impact appelé respiration inorganique.

Par cette étude, il a été aussi constaté, qu'il y a une relation importante entre la quantité d'eau ajoutée pour la formation du slurry et la consommation d'énergie ainsi que la quantité de déchets produite par kilogramme de clinker.

Par la suite, il a été constaté que l'augmentation de la quantité d'eau, permet de réduire la quantité de déchets

produite, d'où un effet considérable sur la conservation d'énergie. Comme il a été estimé que pour une consommation de 1,6 MJ / Kg de clinker, il y a réduction d'environ 10% de quantité de déchets, de même pour 4,6 MJ par Kg de clinker il y a réduction de 40% de déchets [04].

## 3. Conclusion

Cette étude a permis de répondre aux objectifs établis au départ, à savoir de réaliser une analyse simplifiée des impacts environnementaux de deux voies de production du ciment à savoir la voie sèche et la voie humide, par l'application de la démarche ACV et la contribution de l'économie circulaire dans leur réduction par le recyclage de déchets (de poussière dans notre cas) et réduction de la consommation de l'eau des impacts environnementaux de production d'un produit ou d'un service, elle quantifie les énergies, les matières premières ainsi que les déchets et les émissions relatives à une activité donnée. Les résultats obtenus par la démarche ACV, à l'instar des autres méthodes d'évaluation utilisées dans notre cas, sont trop crédible.

L'analyse de cycle de vie est une technique appropriée pour l'évaluation. Dans la partie; évaluation environnementale de l'industrie cimentière, l'ACV nous a permis de déterminer et quantifier toutes les catégories d'impacts pouvant être générées par cette activité et de :

- Identifier la contribution des éléments constituants (matières premières et énergie) ou émis à ces catégories d'impacts
- Déterminer la contribution des émissions gazeuses aux catégories d'impacts
- Contribution de l'économie circulaire dans la réduction des impacts environnementaux.

## Références

1. J. H. DeLong, R.C. Aitken, Factorial analysis of cement kiln, Portland cement Company of Utah 84104 USA February 1981
2. Tahsin Engin, Vedat Ari, Energy auditing and recovery for dry cement rotary kiln systems a case study, Energy conservation and management 46 (2005) 551 – 562
3. N.A. Madloul, R.Saidutr, M.S Hossain, NA Rahim, A critical review on energy use and saving in the cement industries. Renewable and Sustainable energy reviews 15 (2011) 2042 – 2060
4. MB. Ali, R. Saidur, MS. Hossain. A review on emission analysis in cement industries. Renewable and a sustainable energy reviews 15(2011) 2251 - 2261