

Analyse de la consommation de l'énergie et des émissions de gaz à effet de serre associées à la production du fromage fondu par l'approche analyse de cycle de vie

F. Younsi^{*1, 2}, K. Louhab¹

¹Laboratoire de Recherche Technologie Alimentaire, Université M'hamed Bougara, Boumerdes, Algérie.

²Laboratoire des Technologies Douces, Valorisation, Physico-Chimie des Matériaux Biologiques et Biodiversité, Université M'hamed Bougara, Boumerdes, Algérie.

*Corresponding author: younsi_umbb@yahoo.fr

ARTICLE INFO

Article History:

Received : 01/01/2017

Accepted : 11/05/2017

Key Words / Mots clés:

Analyse de cycle de vie (ACV), fromage fondu, gaz à effet de serre, énergie non renouvelable.

Life cycle assessment (LCA), processed cheese, greenhouse gas emission, non renewable energy

ABSTRACT/RESUME

Résumé: La fabrication du fromage est un processus complexe où une multitude d'opérations ont lieu et dont l'évaluation des impacts environnementaux s'avère nécessaire. Dans cette étude réalisée au niveau de la laiterie et fromagerie de Boudouaou (LFB), une analyse environnementale a été effectuée afin de déterminer les impacts liés au Procédé de fabrication du fromage fondu en termes de consommation de l'énergie non renouvelable (ENR) et des émissions de gaz à effet de serre (GES). L'approche utilisée est l'analyse de cycle de vie (ACV), qui est une méthode normalisée (normes ISO 14040 à 14044). Les résultats obtenus montrent que pour 1 kg de fromage fondu les émissions de GES sont de l'ordre de 4.25 kgCO₂eq et la consommation de l'ENR est de l'ordre de 38 MJ et que le cheddar est le contributeur principal aux deux catégories d'impact de l'ordre de 61% et 47% respectivement.

Abstract: Cheese production is a complex process where a multitude of operations take place and whose environmental impact assessment is required.

In this study carried out in a dairy processing situated in Boudouaou (LFB), an environmental analysis was performed to determine the impacts related to the manufacture of processed cheese in terms of consumption of non-renewable energy (NRE) and greenhouse gas emissions (GHG). The approach used is based on life cycle assessment (LCA), which is a standardized method (ISO 14040-14044). Results showed that for 1 kg of processed cheese GHG emissions were 4.25 kgCO₂eq and the energy consumption was 38 MJ. Cheddar is the main contributor to both categories impact of the order of 61% and 47% respectively.

I. Introduction

Le fromage a été l'un des premiers moyens de conservation du lait, matière première rapidement

périssable, c'est un aliment énergétique riche en protéines et en minéraux, il est le second produit laitier consommé en Algérie. Cependant, sa fabrication est un processus complexe où une

multitude d'opérations ont lieu et qui nécessitent des quantités considérables d'énergie. Environ 80% des besoins énergétiques d'une usine de transformation est sous forme de combustion de combustibles fossiles (gaz, pétrole, etc.). Cette énergie est utilisée pour la production de l'eau chaude et de la vapeur nécessaires pour les différentes opérations de traitement (la pasteurisation, l'évaporation, le séchage du lait....etc.) ainsi que le nettoyage ; tandis que les 20% restants sont utilisés sous forme d'électricité pour le fonctionnement des machines, la réfrigération, la ventilation et l'éclairage [1]. La consommation de l'ENR provoque non seulement une déplétion des ressources, mais également des émissions de polluants atmosphériques et de GES. Dans son rapport intitulé «émissions de gaz à effet de serre du secteur laitier», l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) conclut que le secteur mondial des produits laitiers contribue à 2,7% ($\approx 2,4 \text{ kg CO}_2\text{eq} / \text{kg de lait}$) avec une certitude estimée à $\pm 26\%$ des émissions totales de GES d'origine anthropique [2], d'où l'émergence de plusieurs études ACV du secteur laitier au cours des dernières années [3-9]. Le potentiel de réchauffement global, l'acidification et l'eutrophisation sont les indicateurs les plus considérés dans la plupart des études précitées. Cependant, de nombreuses études sont axées sur les émissions de GES [10-17]. En effet, au cours des dernières années, la lutte contre le changement climatique est devenue l'un des principaux sujets de débat international; elle est désormais identifiée comme l'un des plus grands défis que l'humanité n'a jamais rencontrés, et les émissions de GES liées aux activités humaines ont été identifiées comme étant la cause principale de ce problème [18]. En Algérie, il y a un manque considérable d'études ACV de la transformation laitière d'où l'intérêt de la présente étude qui fait partie d'une série d'ACV dédiée aux produits laitiers. Nous allons donc étudier les différentes étapes de fabrication du fromage fondu ; identifier les principaux flux entrants/sortants dans le système étudié et présenter quelques résultats obtenus lors de l'analyse environnementale du Procédé en particulier la consommation d'ENR et les émissions de GES.

II. Matériels et méthodes

Dans cette étude, nous avons appliqué la méthodologie ACV selon les directives de l'Organisation Internationale de Standardisation (ISO): ISO 14040 [19] et ISO 14044 [20]. Il s'agit d'une méthode qui permet l'évaluation des impacts environnementaux potentiels associés à un produit ou à une activité à travers l'identification et la quantification de la consommation de matières premières, l'énergie et les émissions dans l'environnement en considérant toutes les étapes de

son cycle de vie. Elle permet d'identifier tous les points sur lesquels un produit peut être amélioré et elle contribue au développement de nouveaux produits. L'ACV se déroule en quatre phases : définition des objectifs et du champ de l'étude, analyse de l'inventaire du cycle de vie, évaluation des impacts et l'interprétation des résultats.

II.1. Objectifs et champ de l'étude

La définition des objectifs comprend les raisons pour lesquelles l'étude est réalisée, l'application envisagée et le public visé [19]. C'est également l'étape où les limites du système sont décrites et l'unité fonctionnelle est définie. Cette dernière est une mesure quantitative des fonctions que les produits (ou services) fournissent.

II.1.1. Objectifs de l'étude

L'objectif principal de notre démarche est de fournir une analyse environnementale du Procédé de fabrication du fromage fondu en termes de consommation d'ENR et des émissions de GES. Ce qui nous permettra de déterminer la contribution des différents éléments de base de fabrication du fromage.

II.1.2. Champ de l'étude

- *Description du système étudié*

Les principales étapes de la fabrication du fromage fondu sont représentées sur la figure1.

La première étape consiste en la préparation des matières premières. Le cheddar est d'abord débarrassé de sa croûte ensuite broyé pour éviter les grumeaux et faciliter le mélange avec les autres ingrédients et réduire ainsi le temps de fonte. On y ajoute ensuite la poudre de lait, l'eau et les sels de fonte puis un pré-broyage de l'ensemble est effectué pendant quelques minutes pour obtenir un mélange prêt à être fondu.

La deuxième étape du Procédé est l'opération clé de la fabrication du fromage fondu. Il s'agit du traitement thermique du mélange à $85^{\circ}/90^{\circ}\text{C}$ pendant 5 à 10 mn.

Pour éviter des contaminations lors du conditionnement, le transfert du fromage se fait par des tuyauteries en acier inoxydables. Le conditionnement est effectué dans des boîtes rondes de 8 à 16 portions qui, après étiquetage, seront déposées dans des caisses en carton qui seront ensuite mises dans des chambres froides sous une température de 4°C . La durée de fonctionnement quotidienne de l'atelier fromagerie est de 12 heures par jour; à la fin de la journée, on procède au nettoyage et désinfection des équipements en

utilisant une solution basique puis un produit désinfectant.

- **Les étapes de cycle de vie considérées**

Les étapes prises en compte dans cette étude sont : la production des matières premières (poudre de lait, cheddar, sels de fonte); la production de l'emballage (cartons, papier, aluminium); la production des différents produits de nettoyage (l'acide nitrique, la soude et les détergents); l'acheminement des matières premières, de l'emballage et des produits de nettoyage vers l'entreprise; la production de l'énergie (électricité et vapeur) et le Procédé de fabrication du fromage

- **Les étapes de cycle de vie exclues**

En théorie, seuls des prélèvements de ressources ou des émissions de polluants devraient être présents aux frontières du système complet. Cependant, pour toute Analyse de Cycle de Vie, il s'avère nécessaire d'exclure certaines catégories d'opérations dont la contribution au bilan complet est jugée mineure. Les étapes négligées dans cette étude sont : la production et la maintenance des infrastructures et biens d'équipements; le transport vers le consommateur; l'étape de la consommation du produit; les lubrifiants utilisés pour l'entretien des équipements (huile et graisse) et la gestion des déchets. Les limites du système étudié sont présentées sur la figure 1.

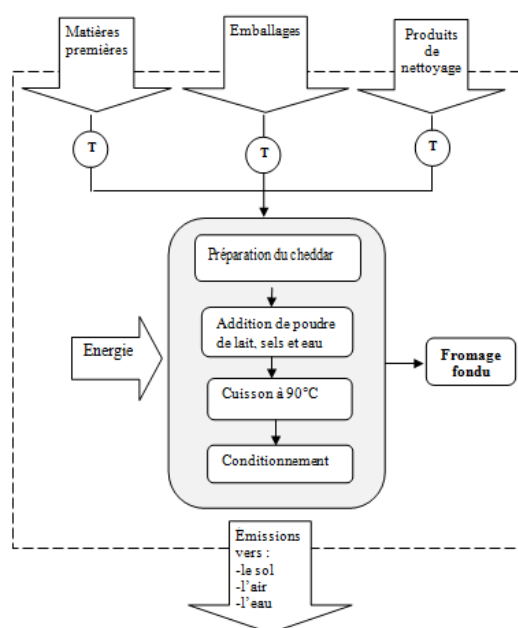


Figure1. Frontières du système et Procédé de fabrication de fromage fondu pasteurisé

II.1.3. Fonction et unité fonctionnelle

Le «fromage fondu» est obtenu par broyage, mélange, fonte et émulsification, sous l'action de la chaleur et d'agents émulsifiants, d'une ou plusieurs variétés de fromage, avec ou sans adjonction de constituants laitiers et/ou d'autres denrées alimentaires [21].

Sa teneur minimale en matière sèche est de 43 g pour 100 g de produit fini, et sa teneur minimale en gras sur sec (masse en grammes de matière grasse pour 100 g de produit après complète dessiccation) est de 40 g. Il est présenté soit en barquettes d'un kg ou dans des boîtes rondes de 8 à 16 portions.

L'unité fonctionnelle choisie dans la présente étude est 1 kg de fromage fondu emballé prêt à être livré.

II.2. Analyse de l'inventaire

L'analyse de l'inventaire consiste en la collecte de données concernant les consommations de matières premières, les ressources énergétiques, les emballages, les rejets liquides, les déchets liés au Procédé de fabrication, les modes de transport, etc. ces données ont été collectées sur site (LFB) et auprès des différents fournisseurs. Elles sont relatives à l'unité fonctionnelle (1kg de fromage fondu).

II.2.1. Matières premières

Les données de bases pour la production des matières premières (poudre de lait et sels de fonte) sont prises dans la base de données LCA Food [22]. Les données concernant la fabrication du cheddar sont tirées de la littérature [23].

II.2.2. Ressources énergétiques

- **Production et distribution de l'électricité**

La production et la distribution de l'électricité nécessitent des ressources (charbon, gaz naturel, uranium,...) et génèrent des émissions polluantes. Les bases de données de SimaPro comportent un module de production et de distribution de l'électricité répertoriés par voltage (Basse, moyenne ou haute tension) et par type du carburant (gaz naturel, charbon, fuel, ...). On peut trouver également des productions électriques répertoriées par pays. Dans cette étude, on considère que la production et la distribution de l'électricité utilisée est évaluée selon le modèle Algérien (gaz turbine).

- **Production et distribution de la chaleur**

La transformation laitière consomme une grande quantité de chaleur (au cours de la pasteurisation notamment). L'apport de cette chaleur (sous forme

de vapeur et de l'eau chaude) est assuré par une chaudière fonctionnant avec du gaz naturel de rendement thermique 80% consommant ainsi des ressources et générant des émissions.

Le Tableau 1 présente les données de consommation de matières premières et de ressources énergétiques de notre système relatif à l'unité fonctionnelle.

II.2.2. Transport

Pour bien se rendre compte des impacts environnementaux de tous les types de transport du

système étudié, on les a regroupés dans un même module appelé « Transport ». L'impact environnemental d'un véhicule de transport dépend essentiellement des émissions lors de la combustion de carburants. Ces impacts dépendent de trois paramètres :

- Type de véhicule,
- Quantité du produit transporté,
- Distance parcourue.

Table 1. Consommation de matières premières et ressources énergétiques
(pour 1 kg de fromage)

Matières premières	Unité	Quantité
Cheddar	kg	0.400
Poudre de lait 26%	kg	0.180
Sels de fonte	kg	0.100
Polyéthylène	kg	0.016
Papier	kg	0.008
Carton	kg	0.118
Aluminium	kg	0.028
Acide nitrique	kg	0.002
Soude	kg	0.003
Ressources énergétiques et naturelles		
Electricité	kWh	0.393
Vapeur	kg	0.480
Eau	m ³	140

Ces deux derniers paramètres sont regroupés dans un seul indicateur, le nombre de tonnes kilomètre (t.km), qui est le produit de la masse transporté en (t) par le nombre de kilomètres parcourus (km). Dans notre système, les valeurs des distances du transport sont présentées comme suit :

Le cheddar est fabriqué en Nouvelle Zélande et livré par bateau jusqu'au port d'Alger et puis livré par un porte container directement à l'entreprise. **La poudre de lait** est produite également en Nouvelle Zélande et livrée par bateau jusqu'au port d'Alger puis en camion (20t). **Les sels de fonte** sont produits en Allemagne et livrés par bateau jusqu'au port d'Alger puis en porte-container jusqu'au fournisseur, puis livrés à l'entreprise par un véhicule commercial. **Le conditionnement**

primaire qui consiste en emballage aluminium est fabriqué en Allemagne et livré par bateau jusqu'au port d'Alger puis acheminé vers l'entreprise par un porte-container (20t). **L'emballage en papier** regroupe les étiquettes et les banderoles ; elles sont fabriquées localement et livrées à l'entreprise par un véhicule commercial. **Le conditionnement secondaire** consiste en des boîtes rondes en cartons. Elles sont fabriquées localement et livrées par camion (6t). **Les produits chimiques** utilisés dans les opérations de nettoyages regroupent l'acide nitrique, la soude, les détergents et les désinfectants. Ceux-ci sont fabriqués localement et livrés par camion (20t). Le Tableau 2 ci-dessous récapitule les données relatives au module « transport ».

Tableau 2 – Approvisionnement en matières premières et en matériaux de conditionnement

Matières premières	Origine	Distance (km)	Moyen de transport
Cheddar	NZ	19400	Bateau + camion 20t
Poudre de lait 26%	NZ	19400	Bateau + camion 20t
Sels de fonte	Allemagne	1500	Bateau + camion 20t
Soude et Acide nitrique	Reghaia	07	Camion 20t
Désinfectant et Détergent	Alger	46	Véhicule commercial
Matériaux de conditionnement			
Aluminium	Allemagne	1500	Bateau + camion 20t
Papier	Blida	60	Véhicule commercial
Carton	Tlemcen	550	Camion <10t

II.3. Résultats et discussion

Le tableau 3 présente les résultats de l'analyse des deux catégories d'impact étudiées. On remarque que pour la fabrication d'1 kg de fromage fondu, 38 MJ d'énergie sont nécessaires et les émissions de GES sont de l'ordre de 4.25 kgCO₂eq. Afin de

déterminer l'origine de ces impacts, nous allons discuter la contribution des différents éléments de base de fabrication du fromage aux impacts étudiés.

Tableau 3. Analyse de l'ENR et des émissions de GES

Flux	ENR (MJ)	GES (kg CO₂ eq)
Cheddar	1.79E+01	2.60E+00
Poudre de lait	5.21E+00	8.66E-01
Sels de fonte	2.15E+00	1.47E-01
PE	1.47E+00	4.63E-02
Papier	9.26E-02	2.93E-03
Carton	1.61E+00	-1.27E-01
Aluminium	4.81E+00	3.95E-01
Acide nitrique	2.34E-02	1.18E-03
Soude	5.69E-02	3.42E-03
Electricité	1.42E+00	8.53E-02
Vapeur	1.80E+00	1.25E-01
Transport bateau	1.40E+00	9.88E-02
Transport camion	1.50E-01	0.00E+00
Déchets aluminium	3.40E-03	1.81E-04
Déchets papier	-1.28E-01	-7.52E-04
Déchets PE	-3.09E-02	-3.35E-04
DCO	1.88E-07	1.42E-08
DBO5	6.58E-02	4.98E-03
Total	38E+00	4.25E+00

II.3.1. Consommation d'énergie non renouvelable

Les besoins en énergie sont présents dans toutes les étapes de fabrication même celles liées à l'extraction et à la production des différentes sources d'énergie. La production des ingrédients, les détergents, le plastique, l'aluminium, le papier et le carton, la fabrication du fromage, la reconstitution du lait, le traitement des déchets, et le transport de tous les produits à chaque étape du cycle de vie nécessite au total 38 MJ.

La figure 2 montre que le cheddar est le contributeur principal à cet impact (47%) suivi de loin par la poudre de lait (14%). L'aluminium intervient à hauteur de 13% de cet impact à cause de l'énergie nécessaire pour sa production où la production d'1kg d'aluminium nécessite 211MJ [24]. La production des sels de fonte, le PE, le carton, le transport en bateau, l'électricité et la vapeur interviennent en moyenne de 5%.

On peut conclure alors que la phase de fabrication du cheddar est plus énergivore que le reste de la chaîne de production et que la plus grande consommation d'énergie a eu lieu lors de la production de lait c.-à-d. l'étape agricole. La source la plus importante regroupe les combustibles fossiles, notamment le gaz naturel utilisé pour la production d'engrais de synthèse qui représente 36% du combustible fossile utilisé à la l'étape agricole, le reste est représenté par le diesel consommé par les tracteurs et les matériels agricoles[23].

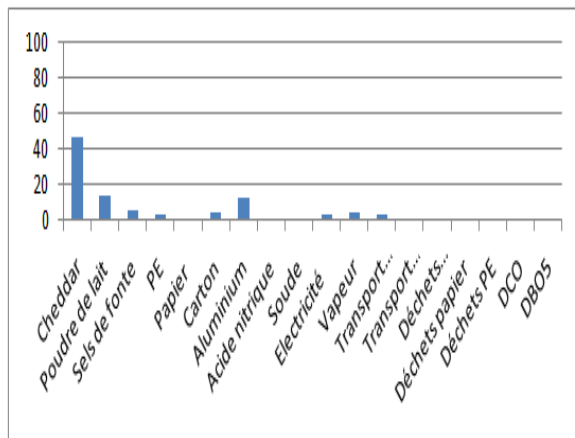


Figure 2. Contribution à l'énergie non renouvelable

2.3.2. Changement climatique

L'indicateur « changement climatique » choisi est celui de l'IPCC 2007 [25]. Le changement climatique est évalué à partir de la quantité de GES émis dans l'atmosphère. Cette méthode de calcul, proposée par le Groupe d'Experts Intergouvernemental pour l'Etude du Changement

Climatique (GIEC), fait consensus au niveau international. L'indicateur est calculé sur la base d'un horizon fixé à 100 ans (PRG 100 ans), afin de tenir compte de la durée de séjour des différentes substances dans l'atmosphère.

On constate sur la figure 3 que les émissions de GES sont attribuées principalement au cheddar (61%) et à la poudre de lait (≈20%). Ceci est s'explique par la grande quantité de lait nécessaire pour la production de ces deux matières. En effet, il faut environ 10 kg de lait pour fabriquer 1 kg de cheddar [23] et 7,8 kg de lait pour fabriquer 1 kg de poudre de lait [22]. Lors de la production de ces grandes quantités de lait, les différentes opérations agricoles contribuent d'une manière importante à l'impact global [23, 26, 27] et les trois GES responsables de cet impact sont: le dioxyde de carbone (55%), le protoxyde d'azote (27%) et le méthane (18%). L'aluminium intervient à hauteur de 9% de cet impact, vu que la production d'1kg l'aluminium génère 22,4 kg CO₂eq [24]. La contribution du carton est négative (-3%), cela signifie que sa production présente un bénéfice environnemental grâce au recyclage des déchets qui permet un gain de la matière vierge. l'énergie thermique contribue à 3%, la pasteurisation du lait demande une quantité énorme de vapeur, aussi la production de cette dernière nécessite du gaz naturel qui génère des GES aussi bien à sa production qu'à sa consommation (chaudière). l'impact des autres Procédés est considéré négligeable (<1% de l'impact global).

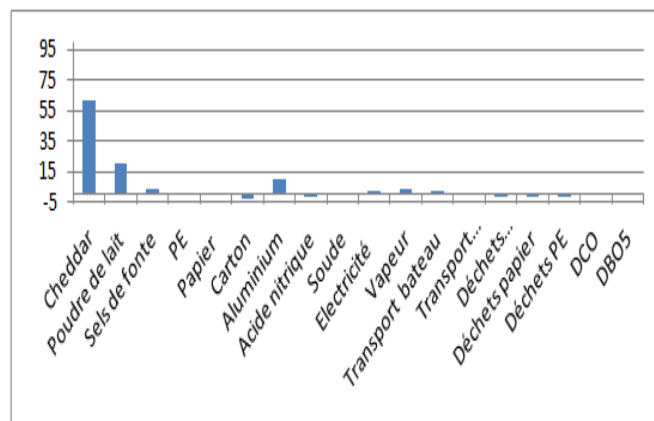


Figure 3. Contribution au réchauffement climatique

III. Conclusion

Une analyse de cycle de vie a été appliquée au Procédé de fabrication du fromage fondu, les résultats ont montré que le cheddar et la poudre de lait sont les deux principaux contributeurs aux deux catégories d'impact étudiées. Bien que le fromage est un produit laitier qui est hautement

transformé industriellement, la conclusion de cette étude est que l'activité qui contribue le plus à l'impact environnemental est la phase agricole, à savoir, la production de lait cru. Ceci est en accord avec d'autres études concernant l'analyse de cycle de vie de divers produits laitiers.

A ce jour aucune ACV de la transformation laitière en Algérie n'a été effectuée d'où l'intérêt de cette étude, dont les résultats pourraient servir de référence pour l'industrie laitière algérienne.

IV. Références

1. United Nations Environment Program and Danish Environmental Protection Agency (2000). Cleaner Production Assessment in Dairy Processing.
2. Gerber, P., Vellinga, T., Opio, C., Henderson, B. and Steinfeld, H. (2010) : Greenhouse gas emissions from the dairy sector: A life cycle assessment. Food and Agriculture Organization of the United Nations Animal Production and Health Division. Rome, Italy.
3. Bartl, K., Gómez, C.A. and Nemecek, T. (2011) : Life cycle assessment of milk produced in two smallholder dairy systems in the highlands and the coast of Peru. *Journal of Cleaner Production* 19: 1494-1505.
4. Castanheira, E.G., Dias, A.C., Arroja, L. and Amaro, R. (2010) : The environmental performance of milk production on a typical Portuguese dairy farm. *Agricultural Systems* 103: 498-507.
5. Fantin, V., Buttol, P., Pergreffi, R. and Masoi, P. (2012) : Life cycle assessment of Italian high quality milk production. A comparison with an EPD study. *Journal of Cleaner Production* 28: 150-159.
6. Flysjö, A., Henriksson, M., Cederberg, C., Ledgarde, L. and Englund, J.E. (2011) : The impact of various parameters on the carbon footprint of milk production in New Zealand and Sweden. *Agricultural Systems* 104: 459- 469.
7. Meneses, M., Pasqualino, J. and Castells, F. (2012) : Environmental assessment of the milk life cycle: The effect of packaging selection and the variability of milk production data. *Journal of Environmental Management* 107: 76-83.
8. Thomassen, M.A., Van Calster, K.J., Smits, M.C.J., Iepema, G.L. and de Boer, I.J.M. (2008) : Life Cycle Assessment of conventional and organic milk production in The Netherlands. *Agricultural Systems* 96: 95-107.
9. van der Werf, H.M.G., Kanyarushoki, C. and Corson, M.S. (2009) : An operational method for the evaluation of resource use and environmental impacts of dairy farms by life cycle assessment. *Journal of Environmental Management*. 90: 3643-3652.
10. Casey, J.W. and Holden, N.M. (2005) : Analysis of greenhouse gas emissions from the average Irish milk production system. *Agricultural Systems* 86: 97-114.
11. Daneshi, A., Esmaili-sari, A., Daneshi, M. and Baumann, H. (2014): Greenhouse gas emissions of packaged fluid milk production in Tehran. *Journal of Cleaner Production* 80:150-158
12. Finnegan, W., Goggins, J. Clifford, E. and Zhan. X. (2015) : Global warming potential associated with dairy products in the Republic of Ireland. *Journal of Cleaner Production*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.025>.
13. Gollnow, S., Lundie, S., Moore, A.D., McLaren, J., van Buuren, N., Stahle, P., Christie, K., Thylmann, D. and Rehl, T. (2014) : Carbon footprint of milk production from dairy cows in Australia. *International Dairy Journal* 37: 31- 38
14. Nutter, D.W., Kim, D.S., Ulrich, R. and Thoma, G. (2013) : Greenhouse gas emission analysis for USA fluid milk processing plants: Processing, packaging, and distribution. *International Dairy Journal* 31: S57-S64
15. Schader, C., Jud, K., Meier, M.S., Kuhn, T., Oehen, B. and Gattinger, A. (2014) : Quantification of the effectiveness of greenhouse gas mitigation measures in Swiss organic milk production using a life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production* 73 :227- 235.
16. Scipioni, A., Mastrobuono, M., Mazzi, A. and Manzardo, A. (2010) : Voluntary GHG management using a life cycle approach. A case study. *Journal of Cleaner Production* 18: 299-306.
17. Thoma, G., Popp, J., Nutter, D., Shonnard, D., Ulrich, R., Matlock, M., Kim, D.S., Neiderman, Z., Kemper, N., East, C. and Adomd, F. (2013) : Greenhouse gas emissions from milk production and consumption in the United States: A cradle-to-grave life cycle assessment circa 2008. *International Dairy Journal* 31: S3-S14
18. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. and Miller, H.L (2007) : Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, 996 pp.
19. International Organization for Standardization (2006a). ISO 14040: Environment Management- Life Cycle Assessment- Principles and Framework.
20. International Organization for Standardization (2006b). ISO 14044: Environmental Management- Life Cycle Assessment- Requirements and Guidelines.
21. Codex alimentarius. (2007). Lait et produits laitiers, première édition. Organisation Mondiale de la Santé, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. Rome, Italy.
22. Nielsen, P.H., Nielsen, A.M., Weidema, B.P., Dalgaard, R., Halberg, N., 2003. LCA Food Database. www.lcafood.dk
23. Berlin, J., (2002) : Environmental life cycle assessment (LCA) of Swedish semi-hard cheese. *International Dairy Journal* 12: 939-953.
24. Norgate, T.E., Jahanshahi, S. Rankin, W.J. 2007. Assessing the environmental impact of metal production processes. *Journal of Cleaner Production* 15: 838-848.

25. International Panel on Climate Change 2007: IPCC Fourth Assessment Report. Cambridge. University Press, UK
26. van Middelaar, C.E., P.B.M. Berentsen, M.A. Dolman, and I.J.M. de Boer. 2011. Eco- efficiency in the production chain of Dutch semi-hard cheese. *Livestock Science* 139: 91-99.
27. González-García, S., Castanheira, E.G., Dias, A.C. and Arroja, L. (2013): Environmental performance of a Portuguese mature cheese-making dairy mill. *Journal of Cleaner Production* 41: 65-73.

Please cite this Article as:

Younsi F., Louhab K., *Analyse de la consommation de l'énergie et des émissions de gaz à effet de serre associées à la production du fromage fondu par l'approche analyse de cycle de vie, Algerian J. Env. Sc. Technology, 3:2 (2017) 38-45*