



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT
ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE

Centre International des Technologies de l'Environnement de Tunis



Domaine d'action «Analyse du Cycle de Vie»



**Rapport technique d'évaluation de l'impact
environnemental d'un produit de conserve
alimentaire « HARISSA » de l'entreprise SICAM
Secteur industriel : Agro-alimentaire**

Décembre 2015

Tables des matières

1 INTRODUCTION	6
1.1 Contexte PPPT	6
1.2 Objectif pour le secteur agroalimentaire choisi	6
1.3 La production du conserve de harissa	7
1.4 Objectifs de cette analyse du cycle de vie	10
2 METHODES- FONCTION DE L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE	11
2.1 Outils utilisés	11
2.2 Méthodologie générale selon la norme ISO 14040	12
2.3 Méthode d'analyse des impacts environnementaux choisis	13
3 DEFINITION DES OBJECTIFS ET DU CHAMP DE L'ETUDE	17
3.1 Objectifs de l'étude	17
3.2 Unité fonctionnelle	17
3.3 Frontières et étapes du système	17
3.4 Représentation schématique du système étudié:	21
3.5 Différents scénarios étudiés	23
3.6 Les déchets générés et la valorisation des coproduits	23
4 ANALYSE DE L'INVENTAIRE DU CYCLE DE VIE	25
4.1 La production agricole	25
4.2 Transformation de piment conventionnel et pilote	27
5 PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE DE CONSERVE DE HARISSA	30
5.1 Vue d'ensemble du scénario 1 : harissa conventionnelle	30
5.2 Vue d'ensemble - Harissa production pilote	42
6 ANALYSE COMPARATIVE	46
6.1 Comparaison entre les deux modes de production de harissa conventionnelle et harissa pilote	46
7 CONCLUSION	48
8 RECOMMANDATIONS	50
9 ANNEXES	54
9.1 Inventaire de cycle de vie détaillé – Production agricole	54
9.2 Inventaire de cycle de vie détaillé – Transformation	61
9.3 Compléments d'informations – Outils de l'ACV	65

Liste des tableaux

Tableau 1:les hypothèses de l'étape production agricole conventionnelle de piment.....	25
Tableau 2:les hypothèses de l'étape production agricole de piment "projet pilote"	26
Tableau 3:les hypothèses de l'étape transformation de piment conventionnel et pilote	27
Tableau 4:Détail des résultats pour la phase repiquage et croissance selon les catégories d'impacts	33
Tableau 5 : Détail des résultats pour la partie utilisation des fertilisants selon les catégories d'impacts.....	34
Tableau 6:Détail des résultats pour l'activité irrigation selon les catégories d'impacts	35
Tableau 7 : Détail des résultats pour l'activité de concentration et le conditionnement selon les catégories d'impacts.....	37
Tableau 8 : Détails pour l'activité repiquage et croissance de la phase agricole selon les catégories d'impacts : projet pilote.....	45
Tableau 9: Résultats pour les scénarios« harissa conventionnelle » & « harissa issue du projet pilote » pour les différentes catégories d'impacts	46
Tableau 10 : Données sur la phase agricole conventionnelle et pilote -Préparation du sol	54
Tableau 11 : Données sur la phase agricole (Projet Pilote & production harissa conventionnelle)- production de piment	55
Tableau 12 : Emissions des fertilisants et des produits de traitement	59
Tableau 13 : Inventaire de la phase de transformation (phase commune entre Harissa Conventionnelle et Harissa Projet Pilote	61
Tableau 14 : Mix tunisien.....	65
Tableau 15 : Catégories intermédiaires d'impacts et substances de référence.....	66
Tableau 17 : Facteurs et unités de dommages	66

Liste des figures

Figure 1 : Relation entre les différentes étapes du processus (ISO 14040)	12
Figure 2: Schéma général du cadre d'IMPACT 2002 +, reliant les résultats de l'inventaire du cycle de vie aux catégories de dommages (Jolliet et al. 2003)	14
Figure 3: Définitions des origines et des usages de l'eau dans un système de production (à partir de Mila i Canals et al 2009)	15
Figure 4 : Limites du système étudié pour la production de conserve de harissa.....	18
Figure 5 : Procédé de production de conserve de harissa	22
Figure 6 : Diagramme des flux de la transformation de piment conventionnel et pilote en conserve de harissa.....	29
Figure 7 : vue d'ensemble de l'analyse environnementale de la production d'un kg de conserve de harissa conventionnelle	30
Figure 8 : Analyse des détails de la production agricole (harissa conventionnelle)	31
Figure 9 : Analyse des détails de la phase repiquage et croissance : Harissa Conventionnelle	32
Figure 10 : Analyse détaillée de l'activité utilisation des fertilisants dans la phase Agricole	33
Figure 11 : Analyse détaillée de l'Irrigation pour la production agricole conventionnelle	35
Figure 12 : Analyse des détails de l'étape du transport entre les centres de collecte et l'usine de tyransformation	36
Figure 13 : Analyse détaillée de la phase de transformation de piment	37
Figure 14 : Analyse des détails de la phase de Concentration de jus de piment.....	38
Figure 15 : Analyse des détails de l'étape préchauffage.....	39
Figure 16 : Analyse des détails de la phase stérilisation des boites de conserve de harissa	39
Figure 17 : Analyse des détails de l'étape conditionnement	40
Figure 18 : Analyse des détails de la phase d'emballage	41
Figure 19 : Vue générale de la production de conserve de harissa projet pilote	42
Figure 20 : Analyse des détails de l'étape production agricole de piment «projet pilote »	43
Figure 21 : Analyse des détails de l'activité repiquage et croissance de piment	44
Figure 22 : Analyse des détails de l'utilisation des produits de croissance (Fertilisants et produits de traitement).....	45
Figure 23 : Analyse des détails de l'étude comparative entre la harissa conventionnelle et harissa pilote	47

LISTE DES ABREVIATIONS

ACV	:	Analyse du Cycle de Vie
CE	:	Commission Européenne
SICAM	:	La Société Industrielle de Conserves Alimentaires
MEDD	:	Ministère de l'Environnement et du Développement Durable
CITET	:	Centre International des Technologies de l'Environnement de Tunis
ONUDI	:	Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel
PPPT	:	Projet de Production Propre Tunisien
Q	:	Quantis
SECO	:	Secrétariat d'Etat à l'Economie (Suisse)
SOFIES	:	Solutions for Industrial Ecosystems
PPH	:	Projet Pilote de production de harissa
HC	:	harissa conventionnelle
GIL	:	Le groupement interprofessionnel des légumes (Tunisie)
GICA	:	Groupement des Industries de conserves alimentaires (Tunisie)
CO ₂	:	Dioxyde de Carbone
DALY	:	Disability Adjusted Life Years
DGPA	:	Direction Générale de Production Agricole
DT	:	Dinar Tunisien
eq	:	Equivalent
GES	:	Gaz à Effet de Serre
GIEC	:	Groupement International d'Experts sur l'évolution du Climat
H	:	Humidité
ha	:	hectare
IPPC	:	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	:	International Organization for Standardization
kg	:	Kilogramme
kWh	:	Kilo-Watt-heure
L	:	Litre
m ²	:	mètre carré
m ³	:	mètre cube
MJ	:	Méga-Joule
PDF	:	Potentially Disappeared Fraction
WSI	:	Water Stress Index

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte PPPT

Cette étude s'inscrit dans le cadre du Projet de Production Propre Tunisien (PPPT), un projet mené par l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel (ONUDI), financé par le Secrétariat d'Etat à l'Economie (SECO, Suisse) et mis en œuvre par le Centre International des Technologies de l'Environnement de Tunis (CITET) en partenariat avec le bureau de conseil en écologie industrielle (SOFIES, Suisse).

Le domaine d'action «Analyse du Cycle de Vie» est une composante importante du projet PPPT. Ce domaine d'action vise la réalisation de 5 études ACV pour des produits phares tunisiens du secteur agro-alimentaire (huile d'olive, dattes, conserve de harissa). Les études réalisées seront des cas pilotes qui vont servir de base pour alimenter des réflexions à l'échelle nationale sur l'élaboration et/ou l'actualisation de cahiers de charge pour la labellisation écologique de ces produits selon un standard national «Ecolabel Tunisien», ainsi que la révision des réglementations et politiques sectorielles existantes.

Ainsi, l'entreprise qui bénéficie d'une ACV pour un de ses produits pourra anticiper les changements réglementaires et bénéficier d'une longueur d'avance en vue d'une éventuelle écolabellisation.

S'appuyant sur la méthodologie d'analyse du cycle de vie (ACV), cette étude s'intéresse à l'évaluation des performances environnementales de la conserve de harissa, produite par l'entreprise SICAM, une entreprise implantée à Medjez-El-Bab, Béja, et ce, en tenant compte du mode de conduite culturale du piment, et de l'ensemble des opérations, c'est à dire du lavage, de la transformation, du traitement et de l'emballage ainsi que du mode de gestion des sous-produits de transformation (pépin et déchets verts).

En acquérant une meilleure connaissance des impacts environnementaux liés à son activité, l'entreprise SICAM aura la possibilité d'exploiter les résultats de cette étude pour communiquer sur les avantages environnementaux de son mode de production et d'améliorer les performances environnementales de son produit.

1.2 Objectif pour le secteur agroalimentaire choisi

1.2.1 Mise en place d'un Ecolabel Tunisien

De par sa définition par le décret n°1355-2007 du 04 juin 2007, l'Ecolabel Tunisien est accordé aux produits qui justifient des plus hauts niveaux de qualification du point de vue de la protection de l'environnement, aux produits qui font preuve d'efforts remarquables

dans l'utilisation des technologies propres et qui présentent, le cas échéant, les plus larges opportunités de durée dans leur cycle de vie, et ce, sous réserve de la réglementation en vigueur en matière de normalisation et de qualité. C'est un système de certification facultatif délivré suite à la vérification de la conformité du produit à un ensemble de critères techniques et écologiques pendant tout son cycle de vie.

Le CITET a commencé depuis l'année 2009 à élaborer les critères techniques et écologiques de la catégorie « conserves alimentaires ».

1.2.2 La communication environnementale d'entreprise

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est un outil primordial pour évaluer les impacts environnementaux d'un produit au cours de sa vie, ses résultats peuvent être utilisés par l'entreprise afin de mettre en place des moyens d'affichage et de communication sur les performances environnementales.

Les orientations possibles de communication environnementale par l'entreprise sont les suivantes :

1. l'entreprise parle d'elle-même dans le cadre de son engagement pour l'environnement, ce qui correspond à la communication institutionnelle ou corporate (image verte et reporting environnemental ou socio-environnemental) ;
2. l'entreprise utilise l'environnement comme argument de vente, ce qui correspond à la notion de « marketing vert » ;
3. l'entreprise sensibilise ses publics en matière d'environnement, ce qui correspond à la notion de « marketing social » (éducation environnementale) (1).

1.3 La production du conserve de harissa

1.3.1 La culture de piment en Tunisie

Le piment est un légume qui se cultive dans les régions chaudes de la Méditerranée, particulièrement en Tunisie où sa culture s'est répandue en raison de sa forte utilisation dans la cuisine Tunisienne.

En Tunisie, la culture de piment occupe le 4^{ème} rang des surfaces cultivées par la culture maraîchère, soit 19 milles ha, avec une moyenne de production de l'ordre de 280 milles tonnes annuellement, dont 25-30% sont traitées au niveau des 25 unités industrielles représentant cette branche.

¹ Guide –acv- Un outil de quantification environnementale au service de votre stratégie

En effet, une partie de cette quantité est consommée en vert, une autre est acheminée vers les usines de conserve pour sa transformation en harissa et une troisième est séchée en vue d'être transformée en harissa « traditionnel » ou en poudre d'assaisonnement⁽²⁾.

Les principales zones productives se trouvent au Nord Est de la Tunisie, dans la région du Cap Bon, et au centre du pays (Kairouan et Sidi Bouzid). Le piment frais de saison et de et de saison tardive est cultivé en plein champ alors que le produit de contre-saison est cultivé sous abri. Ces deux modes de culture (plein champ et sous abri) assurent un approvisionnement continu du marché en piment frais. La période de production de piment de saison s'étale du mois de juin au mois d'octobre alors que la récolte de piment de contre-saison s'étale sur le reste de l'année. Près de 34 variétés sont inscrites au catalogue officiel de type hybride et variété fixée, les plus connues sont les variétés Baklouti, Beldi et Starter. Cette large gamme de variété permet de fournir tant pour l'export que pour le marché local des fruits aromatisés, de plusieurs formes et de plusieurs couleurs : les piments fort, dont la couleur va du vert au rouge, à la saveur brûlante, et les poivrons de saveur douce, de couleur verte, jaune ou orange.

Les exportations de ce produit sont en augmentation ces dix dernières années ils ont passé de 53 tonne en 2005 à 471 tonnes en 2014. Les principaux importateurs la Lybie, la France et les pays du Golf⁽²⁾.

1.3.2 Caractéristique du produit « conserve de harissa »

Le produit harissa est un produit tunisien et possède des caractéristiques organoleptiques spécifiques. En effet, la harissa est une conserve de purée de pulpe de piment rouge « piquant » frais concentré, additionnée de condiments et conservée exclusivement par un procédé physique (**NT 52.07***).

La conserve de harissa peut être conservé assez longtemps dans des tubes et des boîtes métalliques.

Liste des ingrédients : Conformément à la norme tunisienne NT 52.07*

1. Purée de piment: 87%
2. Ail: 4%
3. Coriandre: 4%
4. Sel: 3%
5. Carvi: 2%

² http://www.gil.com.tn/fr/article?label=piment_16

1.3.3 Enoncé des particularités du produit conserve de harissa sur le marché tunisien

L'industrie des conserves alimentaires constitue l'une des branches les plus importantes des industries agroalimentaires en Tunisie, compte tenu de l'important rôle qu'elle joue dans la valorisation de la production agricole nationale, mais également grâce à son concours pour assurer la sécurité alimentaire du pays.

L'harissa en conserves est considérée parmi les produits les plus appréciés de la gastronomie tunisienne et sa popularité a depuis longtemps dépassé les frontières. En effet, testé et estimé par les millions de touristes, ce produit devient de plus en plus prisé sur le marché international.

La Tunisie est le premier exportateur en valeur de conserve harissa dans le monde, et le deuxième producteur après l'Algérie. Ces dernières années, les exportations d'harissa ont connu un net progrès reflété par le tonnage réalisé et le nombre de pays importateurs de ce produit. En effet, l'année 2011 a connu un chiffre record d'exportation d'harissa avec 15 mille tonnes expédiées vers plus de 20 pays partout à travers le monde ⁽³⁾.

La société SICAM exporte le conserve harissa en Europe et dans les pays arabes puis en Amérique de nord, l'Australie, la Russie .

1.3.4 Choix du produit conserve de harissa

L'industrie de production de l'harissa est définie comme étant l'ensemble des opérations de lavage, de triage, de transformation, traitement et d'emballage qui permettent de présenter un produit fini « conserve de harissa » dans différents emballages(4/4, ½, 1/6, tubes), prêt à la commercialisation et la consommation .

Les problèmes d'environnement liés à l'industrie de conserve de harissa sont complexes et très variés. En effet les quantités d'eau consommées sont énormes et les déchets sont essentiellement organiques. En plus de ces deux nuisances principales, l'industrie de conserve est souvent confrontée aux problèmes que posent des odeurs désagréables et les emballages non biodégradables. En outre, les opérations de transformation des matières premières entraînent une importante consommation d'énergie.

³ <http://www.gica.ind.tn/fr/index.php?rub=27&srub=61>

L'approche préventive revêt aujourd'hui une importance capitale dans les secteurs des industries manufacturières en général et dans celui des industries agro-alimentaires en particulier, aussi bien du point de vue environnemental qu'économique.

1.4 Objectifs de cette analyse du cycle de vie

L'objectif de cette ACV est d'évaluer les potentiels impacts environnementaux générés par la production, le transport et la transformation de piment rouge en produit « conserve de harissa ».

Il sera également question de comparer deux modes de production agricole de piment avec la même méthode de transformation en s'intéressant à la conserve de harissa de production conventionnelle d'une part et à la conserve de harissa production pilote d'autre part.

L'évaluation des impacts permettra notamment de situer le produit sur le marché international et d'améliorer sa compétitivité économique. L'entreprise aura la possibilité de communiquer sur ses performances environnementales et de valoriser son produit à différentes échelles (business to business ou business to consumer).

De plus, les résultats de l'ACV peuvent également être utilisés comme un excellent outil pour la mise en place d'un système de management environnemental SME (ISO 14001, ISO 50001, etc.) et/ou l'entretien des indicateurs de performance environnementale de l'entreprise si le SME est déjà existant.

Enfin et à l'échelle nationale, les résultats des ACV pourraient accompagner la définition des critères techniques et écologiques des écolabels et/ou de les affiner afin de les adapter au mieux aux enjeux et au contexte tunisiens, ainsi que la révision des réglementations et politiques sectorielles existantes. Ainsi, l'entreprise qui bénéficie d'une ACV pour un de ses produits pourra donc anticiper les changements réglementaires et bénéficier d'une longueur d'avance en vue d'une écolabellisation.

2 METHODES- FONCTION DE L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV), également appelée écobilan, est une méthodologie permettant d'analyser l'impact environnemental d'un produit, d'un service ou d'un système en relation avec une fonction particulière, et ceci en considérant toutes les étapes de son cycle de vie, c'est à dire depuis l'extraction des matières premières pour sa fabrication jusqu'à sa gestion finale en tant que déchet, en passant par toutes les étapes intermédiaires de transformation, production, transport, consommation, etc.

L'ACV permet de transformer les flux de matière et d'énergie consommés et émis à chaque étape du cycle de vie d'un produit (ou d'un service) en impacts environnementaux potentiels.

Si les applications de l'ACV sont multiples, elles permettent toutes de déterminer, face à un problème donné, les priorités d'action parmi l'ensemble des mesures possibles, en tenant à la fois compte de leur efficacité environnementale, de leurs coûts et des contraintes qu'elles impliquent sur le plan économique. Ainsi, l'ACV est généralement appliquée pour:

- Comparer des produits, des services ou des procédés industriels;
- Améliorer la conception et le développement de produits;
- Développer des stratégies et des politiques publiques/d'entreprise.
- Exploiter les résultats de l'étude afin d'élaborer les critères techniques et écologiques de l'Ecolabel tunisien spécifique pour la catégorie des produits «conserves alimentaires».

2.1 Outils utilisés

Le logiciel utilisé pour réaliser cette ACV est Quantis SUITE 2.0. Ce dernier génère des indicateurs multiples, tels le carbone, mais aussi la qualité des écosystèmes, l'utilisation des ressources, la santé, l'empreinte eau et les coûts. Evolutif et basé sur les méthodologies validées, ce logiciel intègre les bases de données internationalement reconnues (ecoinvent, Bilan Carbone ADEME, etc.) et les standards en vigueur dans les différents pays.

La base de données utilisée est ecoinvent v.2.2. Elle contient des données industrielles d'inventaire du cycle de vie concernant les ressources énergétiques, l'extraction des ressources, l'approvisionnement en matériaux, la chimie, les métaux, l'agriculture, la

gestion des déchets et le transport (ecoinvent.com). Cette base de données est actuellement en cours de révision pour intégrer des jeux de données nationaux relatifs, entre autres, à la gestion des déchets, la gestion des eaux usées, le mix énergétique et le transport ainsi que les 5 produits pilotes qui seront étudiés dans le cadre du projet PPPT.

2.2 Méthodologie générale selon la norme ISO 14040

La méthodologie de l'ACV est standardisée à l'échelle internationale. Le standard choisi dans le cadre de cette étude est celui fixé dans la série des normes ISO 14'040. Celles-ci définissent 4 phases d'analyse:

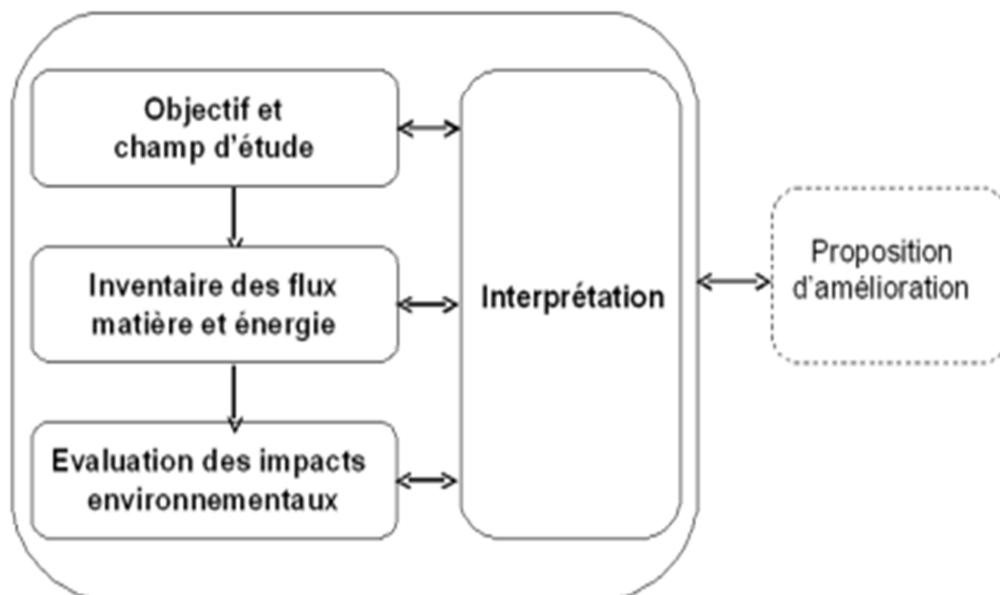


Figure 1 : Relation entre les différentes étapes du processus (ISO 14040)

L'ACV est une procédure standardisée, qui se base sur les quatre étapes définies dans les normes ISO 14'040:

- 1. La définition des objectifs et de la portée de l'étude.** Il s'agit de clairement définir quelle est la problématique étudiée, quels scénarios sont considérés et les limites du système étudié. La fonction étudiée est définie au moyen de l'unité fonctionnelle, qui permet de comparer différents scénarios.
- 2. L'analyse de l'inventaire des émissions et des ressources utilisées,** qui permet de quantifier tous les intrants du système étudié (par exemple l'eau, l'énergie, les engrais, les pesticides, etc.), ainsi que les sortants (CO₂, eaux usées, déchets de production, etc.).
- 3. L'évaluation de l'impact environnemental** qui permet de traduire l'inventaire en catégories d'impacts (par exemple changement climatique, écosystèmes, santé

humaine, usage de ressources), voire même d'agréger l'impact en un score unique moyennant une pondération des catégories d'impacts. Les facteurs d'impacts ainsi que les catégories d'impacts dépendent de la méthode d'ACV choisie.

4. L'interprétation des résultats qui traduit des résultats provenant d'une démarche scientifique rigoureuse en langage commun. Elle permet de mettre en évidence quels sont les paramètres environnementaux clés de la problématique étudiée, de formuler des recommandations et d'établir une stratégie d'amélioration.

Cette étape permet également d'affirmer certaines conclusions et de mettre en évidence les limites de l'analyse réalisée ⁽⁴⁾.

D'autre part, l'ACV est un outil élaboré principalement pour l'industrie, bien que de nombreuses recherches aient été effectuées, un bon nombre d'aspects environnementaux liés à l'agriculture font encore défaut dans cette approche» (Sofies, 2009).

2.3 Méthode d'analyse des impacts environnementaux choisis

En matière d'ACV, une multitude d'impacts environnementaux peuvent être évalués par des indicateurs (effets sur l'acidification de l'atmosphère, effets sur la disparition de la couche d'ozone, etc.). Pour chaque impact environnemental, il existe plusieurs méthodes de calcul qui permettent de traduire les informations collectées lors de l'inventaire du cycle de vie en impacts sur l'environnement.

La méthode d'impact utilisée dans notre étude, pour évaluer les impacts environnementaux, est IMPACT 2002+. La figure ci-dessous, donne une idée globale des étapes reliant les ICV aux catégories de dommage.

⁴La norme ISO 14040

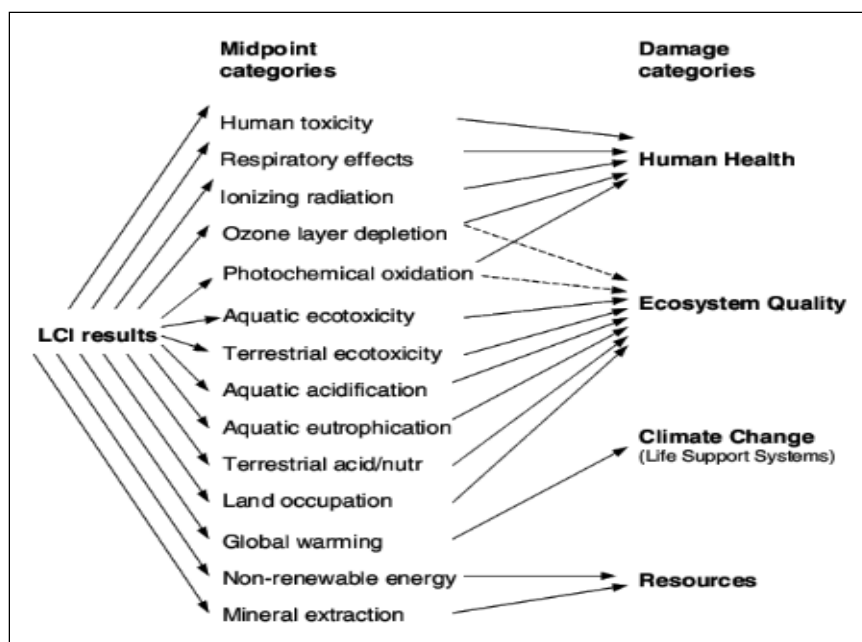


Figure 2: Schéma général du cadre d'IMPACT 2002 +, reliant les résultats de l'inventaire du cycle de vie aux catégories de dommages (Jolliet et al. 2003)

Cette méthode d'impact permet de répartir les impacts intermédiaires dans quatre catégories de dommages (tableau 4):

- **La santé humaine**, exprimée en DALY (Disability Adjusted Life Years ou années équivalentes de vie perdue). Il s'agit du décompte des années de vie perdues en raison de l'exposition à des polluants et produits toxiques;
- **La qualité des écosystèmes**, exprimée en PDF.m².an (Potentially Disappeared Fraction) qui correspond à la fraction d'espèce disparue sur un mètre carré sur un an;
- **Le changement climatique**, exprimé en kg CO₂-eq émis. Il s'agit de la somme des gaz à effet de serre (GES) ramenés à du CO₂;
- **L'utilisation des ressources**, qui regroupe les catégories intermédiaires de la consommation d'énergie primaire non renouvelable et des extractions de minerais et qui s'exprime en MJ (Mégajoule d'énergie utilisée). Cette catégorie représente la quantité d'énergie extraite ou nécessaire pour l'extraction des ressources en tenant compte de la diminution de celles-ci (toujours plus d'énergie pour moins d'extraction pour les ressources non-renouvelables).

IMPACT2002+ permet d'agréger et de classer un nombre important de données d'inventaire pour en faciliter l'analyse, sans utiliser de pondération non scientifique, d'où

une identification et une quantification plus aisée des différents impacts environnementaux.

Dans cette étude, nous considérons les trois (3) catégories de dommages suivantes:

- Santé humaine (DALY);
- Qualité des écosystèmes (PDF.m2.an);
- Changement climatique (kg CO2-eq).

Les aspects qualitatifs des usages de l'eau sont déjà couverts dans la méthodologie IMPACT2002+ ((éco) toxicité, eutrophisation, acidification), mais la prise en compte de l'impact lié au stress hydrique n'est pas incluse dans cette méthodologie et a donc été évalué en complément (cf. figure 3). Pour cela, un inventaire détaillé des usages de l'eau a été d'abord effectué, incluant:

- ✓ Les prélèvements et rejets des eaux au sein du même bassin versant (qualité des eaux plus ou moins altérée);
- ✓ Eau consommée : pas de rejets de l'eau utilisée au sein de son bassin versant d'origine (eau évaporée, intégrée dans les produits finaux, ou eau transférée vers d'autres bassins versants ou vers la mer).

Dans cette étude, l'eau consommée a été quantifiée pour tous les processus inclus dans notre système, basée sur la base de données Quantis Water Database pour les processus génériques et sur des estimations de la quantité d'eau d'irrigation consommée pour les usages directs lors de l'étape de production agricole.

La prise en compte de l'usage de l'eau en ACV est illustrée par la figure ci-dessous (figure 3).

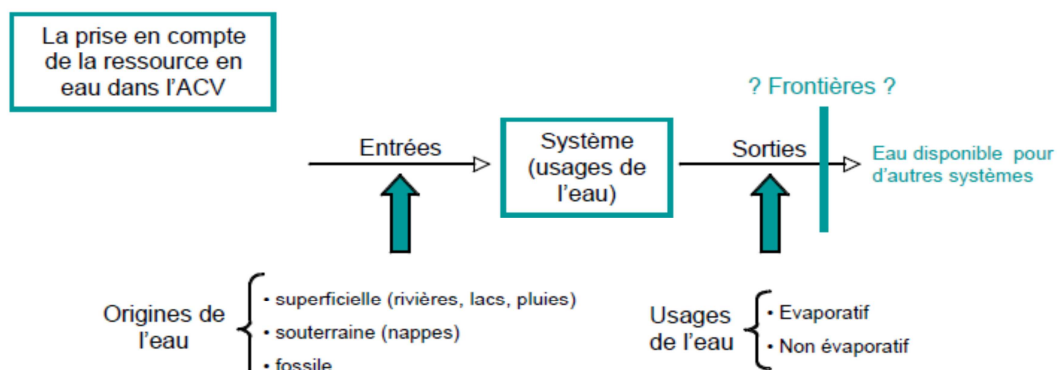


Figure 3: Définitions des origines et des usages de l'eau dans un système de production (à partir de Mila i Canals et al 2009)

Après avoir effectué l'inventaire des usages de l'eau qui comprend l'eau en entrée et en sortie de chaque procédé compris dans notre système, nous avons appliqué la méthode d'impact «Pfister et al (2009)» qui quantifie l'impact lié au stress hydrique. Cette méthode constitue l'une des approches les plus communément utilisées pour la quantification des impacts associés au stress hydrique, induit par l'eau consommée. Cette méthode d'impact repose principalement sur l'indicateur «Index de stress hydrique (ou Water Stress Index, WSI)», utilisé comme facteur de caractérisation. Ce facteur de caractérisation est calculé à partir d'un ratio d'eau prélevée sur l'eau disponible dans une unité géographique, adapté afin de tenir compte des variations de précipitations annuelles et mensuelles, et des ouvrages présents localement ayant pour but le stockage de l'eau (barrages). Les facteurs de caractérisation régionaux de Pfister et al. (2009) ont ensuite été appliqués dans le logiciel Quantis SUITE sur l'inventaire d'eau consommée pour générer le score d'impact en L-eq.

3 DEFINITION DES OBJECTIFS ET DU CHAMP DE L'ETUDE

3.1 Objectifs de l'étude

Cette étude a pour objectifs de:

- Evaluer l'impact environnemental généré par l'activité de production de conserve de harissa conventionnelle et harissa issue du projet pilote;
- Comparer les deux produits conventionnel et pilote

A l'issu de cette étude, l'entreprise aura la possibilité de communiquer sur ses performances environnementales et de valoriser son produit à différentes échelles (business to business ou business to consumer) et ce en respectant les règles de communication des résultats de l'étude ACV mentionnées dans la norme ISO14'040: Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Principes et cadre.

3.2 Unité fonctionnelle

En ACV, l'unité fonctionnelle définit précisément le système qui est étudié. Cette unité constitue une référence à laquelle l'ensemble des consommations et des émissions est rapporté. Dans notre cas, l'unité fonctionnelle choisie est 1 kg de conserve de harissa produit et prêt à la commercialisation avec deux modes de production agricole suivants:

- **1 kg de conserve de harissa** produit et prêt à la commercialisation avec la matière première de piment provenant des différentes régions de la Tunisie;
- **1 kg de conserve de harissa** produit et prêt à la commercialisation avec la matière première de piment provenant d'une seule région et issue d'un projet pilote pour la phase agricole.

3.3 Frontières et étapes du système

Le périmètre de l'étude s'étend de la production agricole de piment, jusqu'à la mise à disposition pour la commercialisation et présenter par la figure ci-dessous:

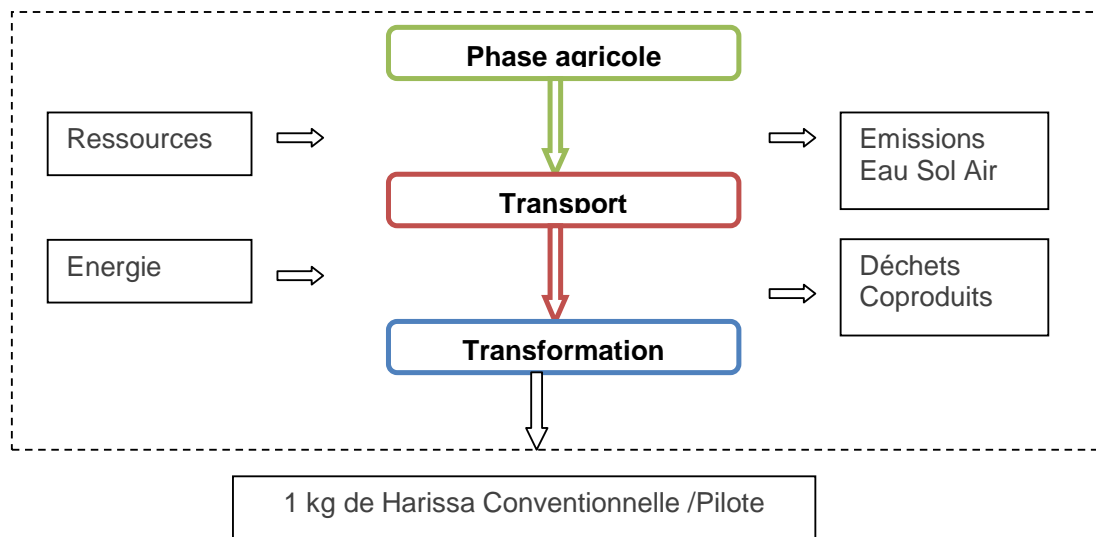


Figure 4 : Limites du système étudié pour la production de conserve de harissa

Les principales phases considérées dans l'étude sont les suivantes:

1. **La production agricole:** Cette étape est elle-même décomposée en deux phases. La première du 15 Mars au 15 avril comprend la préparation du sol, la plantation des plantes et l'entretien. La seconde étape est la croissance du fruit et à partir du mois de juin commence la récolte du piment vert. La troisième comprend la phase adulte où la plante est en pleine production et la récolte du piment rouge commence au mois d'août. La production agricole nécessite l'utilisation de fumures, de produits phytosanitaires, d'engrais chimiques et l'usage du tracteur (via la consommation de fuel).
2. **Le transport :** du lieu de production agricole de piment (champs et centre de collecte de différentes régions) au lieu de transformation (Mjez Elbeb- Béja) en camion d'une charge utile de 12 à 17 tonnes. Pour la production pilote la distance entre le champ agricole et l'usine est de 7 Km et le camion ayant une charge de 7 tonnes.
3. **La transformation de piment :**
 - ❖ **La réception:** A la réception, les piments sont triés manuellement par des ouvrières, par la suite ils sont lavés puis rincés.
 - ❖ **Broyage:** Après le rinçage, les piments passent dans un broyeur à une température de l'ordre de 70°C, dans lequel les piments sont comprimées entre deux rouleaux de manière à faire écouler le liquide des loges du fruit contenant les graines. La séparation de ce liquide du reste de piment se fait par passage dans un criblage rotatif. Dans un dernier temps, les graines sont séparées du

liquide qui les enrobe par effet centrifuge. Les piments provenant du séparateur de graines sont acheminées vers le broyeur.

Le produit broyé est collecté dans des cuves équipées d'une pompe de refoulement vers l'étape de préchauffage.

- ❖ **Le préchauffage:** L'opération de préchauffage permet d'assurer une pré-cuisson de la pulpe afin de faciliter la sortie du jus dans l'unité de raffinage, elle permet également la réduction de la charge microbienne.

Le préchauffage se fait à une température de 80°C et à une pression de 1 bar dans un échangeur tubulaire horizontal qui se comporte de faisceaux dans lesquels circule le broyat. La vapeur circule à contrecourant dans l'espace qui entoure les faisceaux tubulaires

La circulation du produit dans les cuiseurs se fait à l'aide d'une pompe pour éviter tout risque de colmatage.

- ❖ **Le raffinage:** Cette opération consiste à extraire le jus à partir des broyats (c'est une séparation liquide-solide réalisée à l'aide d'un système de pales raclantes passoirs).

La matière première est acheminée vers le turbo extracteur (passoire) dans lequel un rotor muni de pales radiales exerce une action centrifuge contre un tamis conique permettant la séparation des peaux, des graines et des autres impuretés du jus.

Le degré de raffinage peut être ajusté en utilisant des tamis avec des mailles de diamètres différents, alors que le degré de pressurage peut être réglé en rapprochant ou en éloignant les pales de l'arbre rotatif par rapport au tamis, cette opération peut s'effectuer lorsque la machine est en marche. Le jus s'infiltre à travers la passoire alors que la matière solide est éliminée.

A la fin de cette opération, on aboutit à deux phases séparées:

- une phase liquide : c'est le jus qui va être pompé vers les boules de concentration (le produit intermédiaire du produit harissa).
- une phase solide: elle contient les déchets (débris, pépins et pulpes de piment). Et puisqu'il y a manque des données par rapport à l'évacuation et à la destination finale de ces déchets, on ne peut pas les considérer comme des coproduits.

- ❖ **Concentration:** Le jus (phase liquide) passe dans des boules de concentration pour l'obtention d'un concentré de l'ordre de 14% minimum. Par la suite, on ajoute les épices (sel, coriandre, carvis...).

Les épices qui constituent un ingrédient pour le concentré d'harissa doivent subir les opérations suivantes: Tamisage, Broyage et raffinage.

- ❖ **Pasteurisation:**Le concentré d'harissa passe dans un pasteurisateur où il subit un traitement thermique de 92°C.
- ❖ **Dosage et Sertissage:**Le produit pasteurisé est pompé vers la doseuse-sertisseuse qui est un ensemble de deux machines synchrones qui assurent le remplissage (dosage volumétrique) puis le sertissage des boites métalliques à une vitesse bien déterminée qui varie d'un format à un autre (voir les différents formats: tubes, 1/6, 1/2, 4/4,5Kg).

Les boites vides sont d'abord exposées à un souffle de vapeur pour assurer un nettoyage rapide et un traitement thermique préliminaire avant de recevoir le produit.

- ❖ **Stérilisation et refroidissement:**Les boîtes remplies passent dans un tunnel de stérilisation à une température de 97°C, ce traitement thermique permet de préserver le produit de toutes bactéries sans altérer sa valeur nutritive.

Pour détruire les espèces microbiennes qui existent dans l'espace libre en raison des faibles quantités d'air emprisonnées dans la boite, on fait appel à un choc thermique réalisé par un refroidissement rapide des boites qui dure le plus souvent entre 15 et 20 minutes. Pour cela, les boites passent dans un tunnel pour subir ce refroidissement qui sert à éviter la sur-cuisson et à ralentir les phénomènes de corrosion interne des boites.

On devrait s'assurer que le refroidissement ait atteint non seulement la paroi de la boite, mais également le produit à l'intérieur (35°C à 40°C). Les boites mal refroidies ne doivent pas être entreposées directement ; le refroidissement devrait être achevé à l'air en disposant les boites de façon à ménager entre elles des intervalles suffisants pour assurer une bonne ventilation.

- ❖ **Conditionnement et stockage:** A la sortie du tunnel, les boites sont identifiées par un marquage du numéro de lot qui précise la date et l'heure de fabrication (pour assurer la traçabilité). Ces boites sont encartonnées et palettisées. Les formats disponibles sont:

- Boîte de 4'200g/Cartonde 6
- Boîte de 760g/ Plateau de 12
- Boîte de 380g/ Plateau de 24
- Boîte de 135g/ Plateau de 30
- Tube 70g / Présentoir de 24

Parmi ces formats cités ci-dessus, c'est l'emballage « boîte de 760g » qui a été choisie dans notre étude.

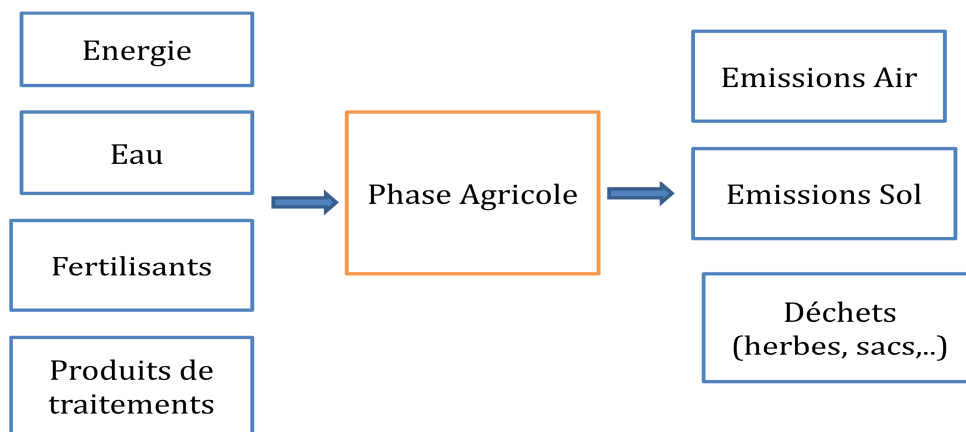
- ❖ **Le conditionnement aseptique:** SICAM dispose d'une chaîne pour le conditionnement aseptique destiné au remplissage de produits à $\text{pH} < 4.5$ qui utilise exclusivement de la vapeur comme agent de stérilisation. Elle est généralement utilisée pour le remplissage des fûts de 200 Kg de harissa sans épices. Ce produit subit une opération de réconditionnement pendant les périodes hors compagnie, en utilisant différents formats suivant la demande des clients (tubes, 1/6, 1/2, 4/4,5Kg).

Les étapes liées à la commercialisation ainsi qu'au transport jusqu'au point de vente et à l'étranger ne sont pas incluses dans les limites du système étudié.

Aussi la main d'œuvre n'est pas incluse dans les limites du système étudié vu que les personnes qui sont affectées pour les deux cultures conventionnelle et pilote habitent tous dans la même région productrice de piment: les déplacements pendulaires des employés en moyens de transport motorisé sont donc quasi inexistant et cet aspect est donc considéré comme négligeable dans le cadre de cette étude.

3.4 Représentation schématique du système étudié:

3.4.1 Etape de production agricole



3.4.2 Etape de transport



3.4.3 Etape de transformation

Les différents flux matières et énergie sont schématisés ci-après:

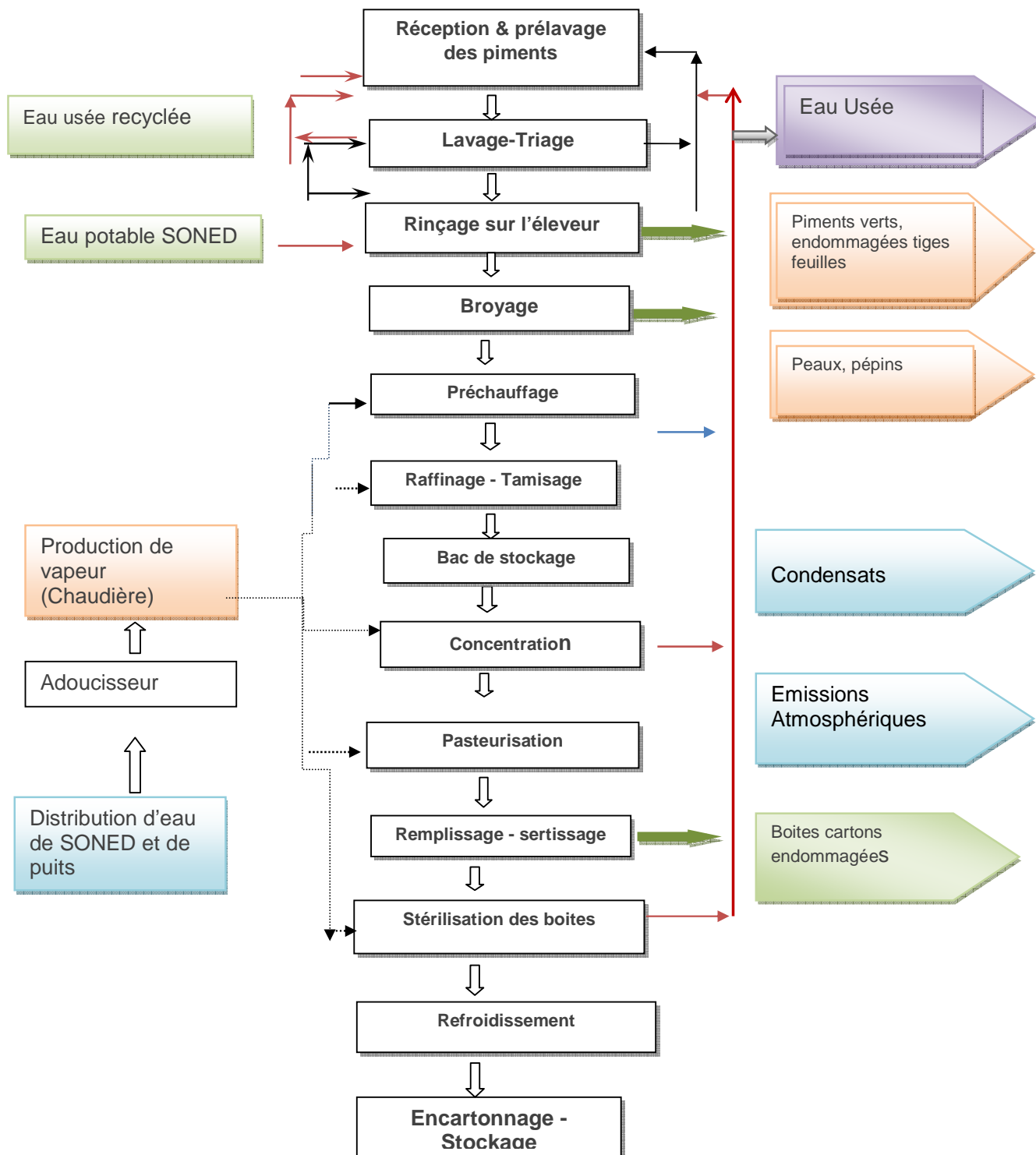


Figure 5 : Procédé de production de conserve de harissa

3.5 Différents scénarios étudiés

Les deux scénarios à étudier diffèrent l'un de l'autre par les deux étapes relatives à la production agricole et le transport:

- **Scénario 1:** La production agricole conventionnelle de piment, plusieurs types de variétés issues de différentes régions de la Tunisie : Nord Est de la Tunisie ; la région du cap bon, et au centre du pays; Kairouan et Sidi Bouzid avec une distance moyenne de 182 km entre les centres de collecte et l'usine de transformation à Medjez-El-Bab- Béja et la capacité des camions utilisés entre 12 et 17 tonnes;
- **Scénario 2 :** La production agricole de piment issue d'un projet pilote réalisé dans la région de Medjez-El-Bab- Béja avec une distance moyenne de 7 km entre le champ et l'usine de transformation et la capacité des camions utilisés est de 7 tonnes.

Concernant l'étape de transformation : les piments issus de deux scénarios 1 et 2 passent par le même procédé de transformation vu que la réception journalière de piment issue de la production agricole pilote présente de petite quantité qui n'est pas proportionnelle à la capacité de transformation de l'usine de point de vue consommation des ressources (fuel, eau , électricité,..).

3.6 Les déchets générés et la valorisation des coproduits

Le procédé de production de conserve de harissa génère un grand nombre des déchets et des coproduits valorisables.

Un déchet est défini au niveau national par la Loi n° 96-41 du 10 juin 1996, relative aux déchets et au contrôle de leur gestion et de leur élimination et au niveau international par la Directive européenne 2008/98/CE, comme étant : «toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire».

La même Directive 2008/98/CE stipule en effet qu' « une substance ou un objet issu d'un processus de production dont le but premier n'est pas la production dudit bien, est considéré comme coproduit au sens de l'article 3, point 1, de ladite Directive que si les conditions suivantes sont remplies :

- a) l'utilisation ultérieure de la substance ou de l'objet est certaine ;
- b) la substance ou l'objet peut être utilisé directement sans traitement supplémentaire autre que les pratiques industrielles courantes ;
- c) la substance ou l'objet est produit en faisant partie intégrante d'un processus de production ;

- d) l'utilisation ultérieure est légale, c'est-à-dire que la substance ou l'objet répond à toutes les prescriptions pertinentes relatives au produit, à l'environnement et à la protection de la santé prévues pour l'utilisation spécifique et n'aura pas d'incidences globales nocives pour l'environnement ou la santé humaine. »

Si un flux de production ne satisfait pas au moins l'un de ces 4 critères, alors il devrait être considéré comme un déchet indépendamment de toute considération sur sa valeur économique. Dès lors que suffisamment d'éléments convergent pour justifier qu'un flux satisfait à ces 4 critères, alors il convient de le considérer comme un coproduit.

A la lumière de ce qui précède, et malgré qu'il ya un tri selectif des certains déchets (pépins, pulpes de piment, déchet plastique, déchet carton, déchet d'emballge (boites metalliques),...ect) on ne peut pas les considerer comme des coproduits actuellement vue la non disponibilité des données relatives à l'évacuation et à la distination finale de ces déchets.

4 ANALYSE DE L'INVENTAIRE DU CYCLE DE VIE

L'élaboration des inventaires de cycle de vie a été réalisée en étroite collaboration avec l'entreprise SICAM. Suite à de nombreux entretiens téléphoniques, échange courriel, visite sur site et recherche bibliographique, il a été possible de mettre en place un modèle robuste. Toutefois, il a été nécessaire d'émettre certains nombres d'hypothèses énoncées ci-dessous:

4.1 La production agricole

4.1.1 scénario 1 : Production agricole conventionnelle de piment

Données de base : Les données relatives à la production agricole conventionnelle de piment sont récapitulées dans l'annexe (tableaux 11 et 12).

Tableau 1: les hypothèses de l'étape production agricole conventionnelle de piment

Hypothèses	production agricole conventionnelle de piment	Réf.
Période de culture	- Plantation : 15 mars - 15 avril et récolte : juin – Novembre - La récolte de piment rouge commence au mois d'aout	2
rendement agricole	- En moyenne 12 tonnes par hectare	5
Quantité réceptionnée	- Quantité de piment réceptionnée par l'usine de transformation (23 jours) :1844.87 t	6
Variétés utilisées	Plusieurs types de variétés issues de différentes régions de la Tunisie: au Nord Est de la Tunisie ; la région du cap bon, et au centre du pays ; Kairouan et Sidi Bouzid	2
Utilisation des produits de croissance et produits de traitement	- Acide phosphorique: 48kg/ha - DAP : 150kg/ha - Ammonitre : 250kg/ha - Nitrate de potasse : 150kg/ha - Decis : 0.5kg/ha - Lannate : 1.5kg/ha - Talstar : 1.5kg/ha - Supernitrile : 0.5kg/ha	6
Système d'irrigation	- Quantité d'eau: 7500 m3/Hectare - Réseau d'irrigation: renouvelable chaque 05 ans - Système goutte-à-goutte - la nature du plastique: PVC (200kg/ha)	5
Utilisation des machines	- Tracteur pour le labour de terre	5
Transport de piment du champ à l'usine de transformation	- Camions utilisés: capacité entre 12 et 17 tonnes - Distance parcourue:182 km (entre les régions de Kairouan, Sidi Bouzid et l'usine à Medjez-El-Bab	6

⁵ Enquête réalisé par le CITET avec des agriculteurs de différentes régions

⁶ Données SICAM

4.1.2 Scénario 2 : Production agricole de piment « projet pilote »

Données de base : Les données relatives à la production agricole de piment « projet pilote » sont récapitulées dans l'annexe (tableaux 11 et 12).

Tableau 2: les hypothèses de l'étape production agricole de piment "projet pilote"

Hypothèses	production agricole de piment « projet pilote »	Ré f.
Période de culture	- La récolte du piment rouge a commencé au mois de Décembre jusqu'à mois de Janvier	6
Taille du champ et rendement	- 30 hectares - 24 tonnes par hectare - Quantité de piment produite : 204.418 t	6
Variétés utilisées	- Une seule variété hybride issue de la région de Medjez-El-Bab, Béja	6
Utilisation des produits de croissance et produits de traitement	- Acide phosphorique : 52kg/ha - DAP : 261.6kg/ha - Ammonitre : 241.6kg/ha - Nitrate de potasse : 154kg/ha - solupotasse, sulfate : 35kg/ha - Sulfate de Magnésium : 28kg/ha - Nitrate de Calcium : 70kg/ha - Acide humique : 20.61kg/ha - Manébe (fongicide) :1.05kg/ha - Dithane (fongicide) :1.08kg/ha - Decis (insecticide) :0.55kg/ha - Lannate (insecticide) :1.46kg/ha - Bestox (insecticide) :0.19l/ha	6
Emissions de N:	Emissions dans l'air: - 0.031 kg N ₂ O dans l'air par kg N appliqué (source: Blonk 2011) - 0.05 kg NH ₃ dans l'air par kg N appliqué (source: Nemecek et al. 2012) Emissions dans l'eau: - 1.1 kg nitrate (NO ₃ -) dans l'eau par kg N appliqué (source: ecoinvent 'Wheat grains, at farm/US U')	7
Emissions de P:	- 0.031 kg de phosphate (PO ₄ ³⁻) dans l'eau par kg P ₂ O ₅ appliqué (source: ecoinvent 'Wheat grains, at farm/US U') - 0.0096 kg phosphore dans l'eau par kg P ₂ O ₅ appliqué (source: ecoinvent 'Wheat grains, at farm/US U')	7
Emissions de pesticides, herbicides et fongicides:	- 100% appliqué dans le sol (source: ecoinvent)	7
Système d'irrigation	- Quantité d'eau: 10 000 m ³ /Hectare - Réseau d'irrigation: jetable - Système goutte-à-goutte	6
Utilisation des machines	- Tracteur pour le labour de terre	6
Transport de piment du champ à l'usine de transformation	- Camions: capacité de 7 tonnes - Distance parcourue:7 km (entre le champ et l'usine de transformation à Medjez-El-Bab)	6

⁷ Référence : Données communiquées par les experts de Quantis

4.2 Transformation de piment conventionnel et pilote

Données de base : Les données relatives à la production agricole de piment conventionnel et pilote sont récapitulées dans l'annexe (tableau 13).

Etant signalé que le même inventaire des données de l'étape de transformation concerne le piment issu de la production agricole conventionnelle et le piment issu de la production agricole du projet pilote vu que la réception journalière de piment issu de la production pilote présente de petite quantité qui n'est pas proportionnelle à la capacité de transformation de l'usine par rapport à la consommation des ressources (fuel, eau, électricité,...) et le fonctionnement des machines.

Tableau 3: les hypothèses de l'étape transformation de piment conventionnel et pilote

Hypothèses	Harissa conventionnelle	Harissa production pilote	Réf.
Transformation de piment			
Production harissa	- quantité réceptionnée de piment (23 jours) : 1844.87 t - Quantité totale produite harissa: 479.709 t - Déchet pépin : 309 t	- Quantité réceptionnée de piment: 204.418 t - Quantité totale produite de harissa : 120.034 t - Déchet pépin : 41.269 t	6
Electricité	0.827 kwh /kg harissa		6
Fuel en kg	0,361 kg/kg harissa		6
Eau en m3	0,017 m3/kg harissa		6
Emballage	La quantité d'emballage utilisée est relative à la quantité totale de conserve de harissa produite pour l'année 2014 (harissa conventionnelle et harissa pilote). - Emballage boites: 0150 kg boites /kg harissa - 0.0109Kg carton/kg harissa - 0.000007 Kg plastique / Kg harissa		6
Gestion des déchets	Traitement des eaux usées : Les eaux usées de processus sont évacuées vers la station de traitement physico-chimique avant d'être déversés dans le milieu récepteur. Quantité : 5 m3/heure		6
	Déchets solides : les déchets de pulpe et de pépin sont récupérés et vendus à des agriculteurs pour alimentation de bétail		6
	Le déchet d'emballages boites subit une opération de compactage et récupéré par un collecteur: 0.000923 kg déchets /kg harissa		6

Un rappel s'impose pour la question énergétique: Mix énergétique et distribution

Le mix énergétique de la Tunisie est composé de 99% de gaz naturel produit par cycle combinés et 1% par les énergies renouvelables, ou plus particulièrement les éoliennes (STEG). Pour ce faire, nous avons séparé en deux l'apport énergétique généré par la pompe à eau et l'usine de transformation. L'énergie produite dans des centrales est ensuite acheminée vers le champ ou l'usine de transformation.

Le mix électrique de tous les produits qui ont été manufacturés localement à par la même occasion été modifié.

Diagramme des flux de l'étape de transformation de piment conventionnel et pilote

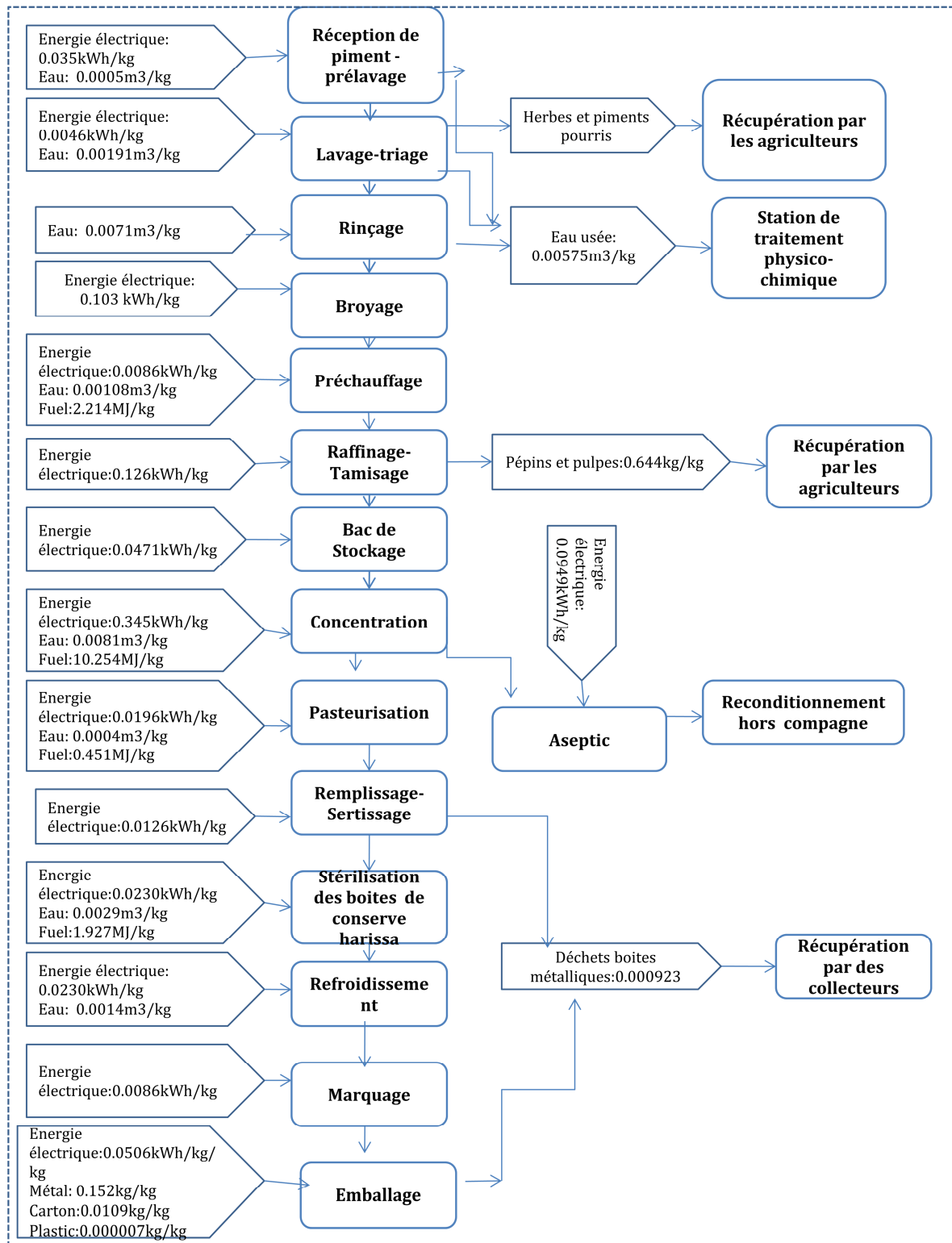


Figure 6 : Diagramme des flux de la transformation de piment conventionnel et pilote en conserve de harissa

5 PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE DE CONSERVE DE HARISSA

5.1 Vue d'ensemble du scénario 1 : harissa conventionnelle

L'analyse environnementale du scénario 1 représentant la situation actuelle de l'entreprise SICAM (réception de piment issu d'une production agricole conventionnelle), selon les catégories de dommage (changement climatique, qualité des écosystèmes, santé humaine, eau consommée et index de stress hydrique) est illustrée par la figure 6.

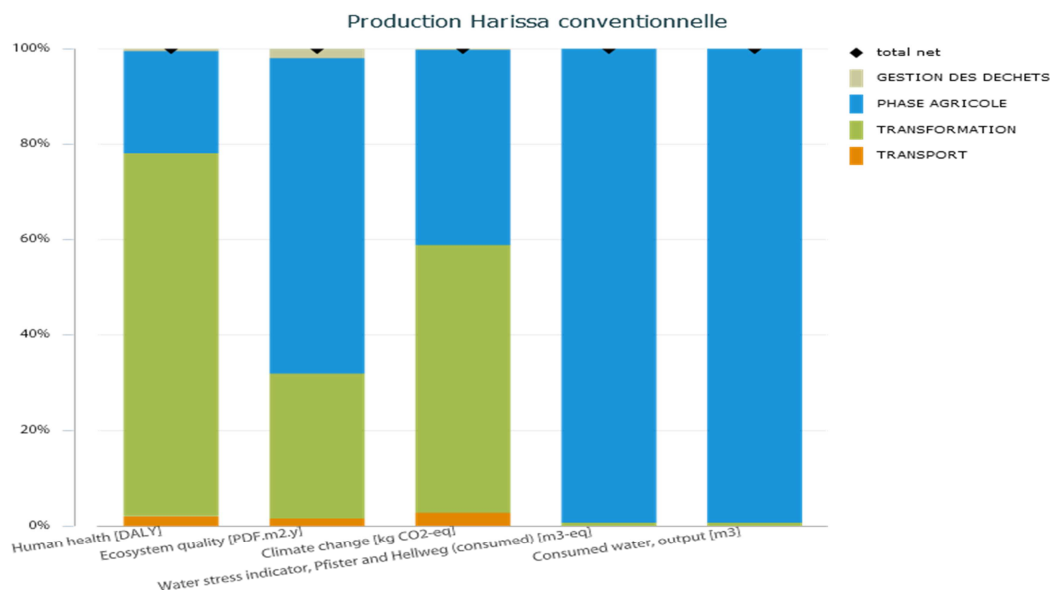


Figure 7 : vue d'ensemble de l'analyse environnementale de la production d'un kg de conserve de harissa conventionnelle

La figure 7 présente les résultats globaux de l'analyse environnementale de la harissa conventionnelle montre que les étapes de production agricole et de transformation dominent largement l'impact environnemental pour l'ensemble des indicateurs considérés. Plus particulièrement, l'étape de production agricole est le principal contributeur en terme d'impacts environnementaux pour les catégories de dommage qualité des écosystèmes, eau consommée et indicateur de stress hydrique, représentant respectivement environ 65% plus de 99% et 99% de l'impact global. La transformation de piment est pour sa part le principal contributeur pour les catégories de santé humaine et changement climatique et dans une moindre mesure pour l'indicateur qualité des écosystèmes en comparaison avec la phase agricole, représentant respectivement environ 76%, 56% et 30% de l'impact global.

Par ailleurs, le transport de piment du champ agricole vers l'usine de transformation, et la gestion des déchets ne représentent qu'une part négligeable des impacts

environnementaux en comparaison avec les impacts afférents aux deux phases agricole et de transformation.

Les sous-chapitres ci-dessous aideront à comprendre cette répartition des impacts.

5.1.1 Etape de production agricole

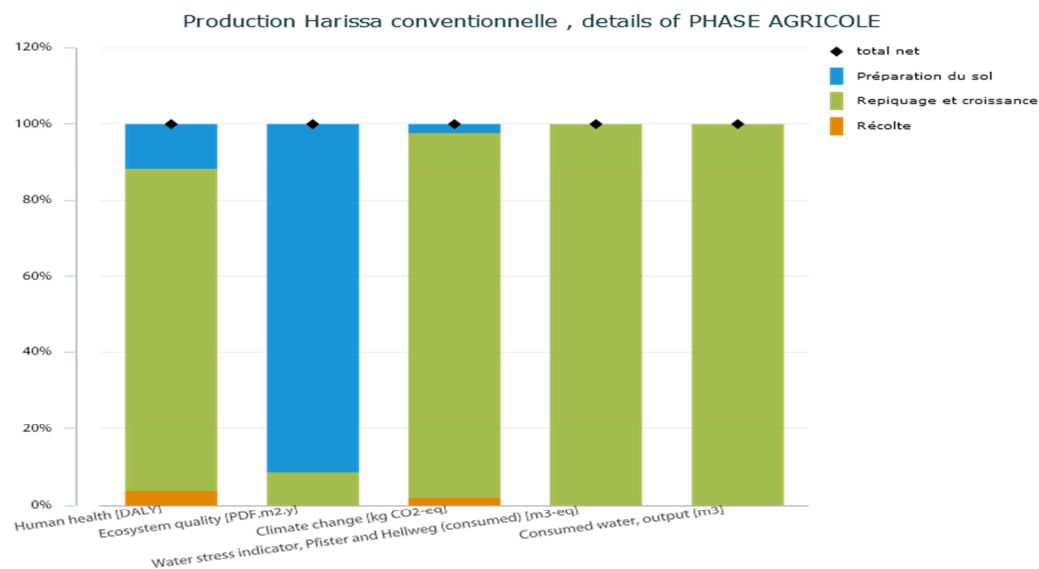


Figure 8 : Analyse des détails de la production agricole (harissa conventionnelle)

La figure 8 montre que l'activité repiquage et croissance est le principal contributeur à l'impact environnemental de la phase agricole pour les catégories de dommage santé humaine, changement climatique, eau consommée et indicateur de stress hydrique, représentant respectivement 84%, 95%, 99.9% et 99.9% de l'impact global. Ceci est dû à l'utilisation des produits de croissance (fertilisants) et de l'irrigation. Tandis que la préparation du sol est l'activité qui génère les plus d'impacts sur « qualité des écosystèmes », soit 1.9 PDF.m².an et représentant environ 90% de l'impact global de la phase agricole.

Une analyse plus détaillée de la phase repiquage et croissance est illustrée par la figure ci-dessous:

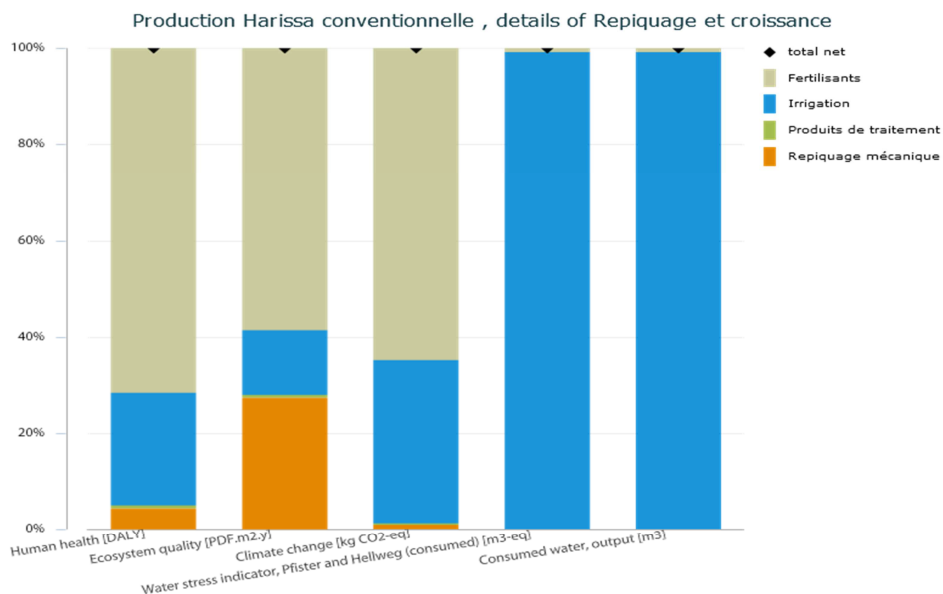


Figure 9 : Analyse des détails de la phase repiquage et croissance : Harissa Conventionnelle

Il ressort des résultats obtenus (figure 9) que la part la plus importante de l'impact environnemental de l'activité repiquage et croissance pour les catégories de dommage santé humaine, qualité des écosystèmes et changement climatique, est générée par l'utilisation des produits de croissance (fertilisants) et l'irrigation (voir tableau 4).

En effet, les fertilisants utilisées dans la phase agricole pour la culture de piment conventionnel (le nitrate de potasse, l'ammonitrite, DAP et l'acide phosphorique,...) contribues au réchauffement climatique par les émissions de N₂O, un puissant gaz à effet de serre, l'acidification des sols et la diminution de leur biodiversité et la contamination des nappes phréatiques, lors de l'infiltration des sols, les nitrates (notamment) rendent l'eau impropre à la consommation. Le danger est ici une intoxication par consommation et par accumulation d'élément dangereux pour l'Homme (nitrates, azotes, etc.).

Pour les catégories de dommage eau consommée, et l'indicateur de stress hydrique, l'irrigation du sol génère la grande partie de l'impact environnemental de la phase agricole. En effet, l'irrigation requiert l'utilisation directe de 1.09. m³ d'eau consommée; représentant plus de 99% de l'impact global de l'activité repiquage et croissance de la phase agricole et 0.993 m³-eq pour l'indicateur de stress hydrique, soit plus de 99% de l'impact global de l'activité repiquage et croissance de la phase agricole.

Tableau 4: Détail des résultats pour la phase repiquage et croissance selon les catégories d'impacts

Catégories d'impacts	Fertilisants	Irrigation	Unité
Santé Humaine	$4.39 \cdot 10^{-7}$	$1.43 \cdot 10^{-7}$	DALY
Qualité des écosystèmes	0.104	0.0242	PDF.m ² .an
Changement climatique	1.17	0.609	kg CO ₂ -eq
Indicateur de stress hydrique	$8.32 \cdot 10^{-3}$	0.993	m ³ -eq
Eau consommée	$9.84 \cdot 10^{-3}$	1.09	m ³

Un focus sur la partie utilisation des fertilisants est illustré par la figure ci-dessous:

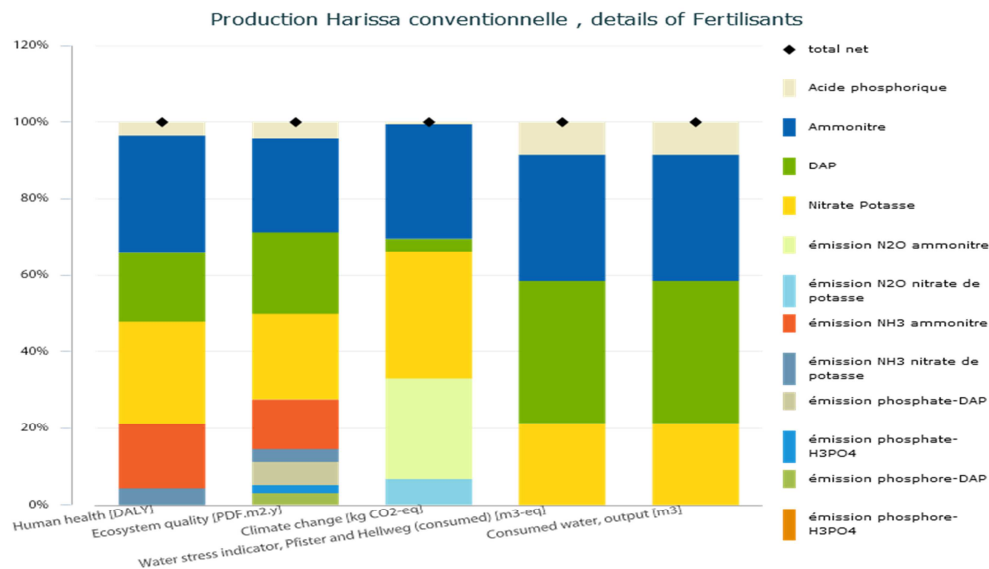


Figure 10 : Analyse détaillée de l'activité utilisation des fertilisants dans la phase Agricole

D'après l'analyse obtenue (figure 10), on constate que l'utilisation des produits de croissance, particulièrement le DAP et les produits à base d'azote à savoir l'ammonitrite et le nitrate de potasse, domine en majeure partie les impacts générés par l'utilisation de fertilisants. Néanmoins les émissions directes générées de N₂O contribuent à près de 40% des impacts sur le changement climatique, de même que les émissions directes de NH₃ contribuent à respectivement près de 20% et 15% des impacts sur la santé humaine et la qualité des écosystèmes.

Tableau 5 : Détail des résultats pour la partie utilisation des fertilisants selon les catégories d'impacts

Catégories d'impacts	DAP	Ammonitre	Nitrate de potasse	Unité
Santé Humaine	$7.87 \cdot 10^{-8}$	$1.34 \cdot 10^{-7}$	$1.17 \cdot 10^{-7}$	DALY
Qualité des écosystèmes	0.022	0.025	0.023	PDF.m2.an
Changement climatique	0.038	0.347	0.389	kg CO2-eq
Indicateur de stress hydrique	$3.10 \cdot 10^{-3}$	$2.7 \cdot 10^{-3}$	$1.7 \cdot 10^{-3}$	m3 eq
Eau consommée	$3.42 \cdot 10^{-3}$	$3.02 \cdot 10^{-3}$	$1.95 \cdot 10^{-3}$	m3

Le DAP (engrais azoté)

Le di-ammonium phosphate est le fertilisant utilisé, il génère un impact important sur la santé humaine, la qualité de l'écosystème et le changement climatique.

Qualité de l'air et du sol : l'utilisation des fertilisants sont, entre autres, à l'origine des émissions d'ammoniaque (NH_3), lesquelles ont une incidence sur la santé humaine et sur l'environnement. Elles contribuent en effet, avec d'autres polluants (dioxyde de soufre, oxydes d'azote, composés organiques volatiles), à l'acidification des sols, à l'eutrophisation de l'eau ainsi qu'à la pollution par l'ozone troposphérique⁸.

Le changement climatique : l'ensemble des activités relatives à la gestion des fertilisants dégagent du protoxyde d'azote (N_2O) et du méthane (CH_4), des gaz à effet de serre responsables du réchauffement climatique dans des proportions respectivement 310 fois et 21 fois supérieures au CO_2 pour un horizon de 100 ans⁷.

Un focus sur la partie irrigation est illustré par la figure ci-dessous:

⁸ La directive «Nitrates» de l'UE

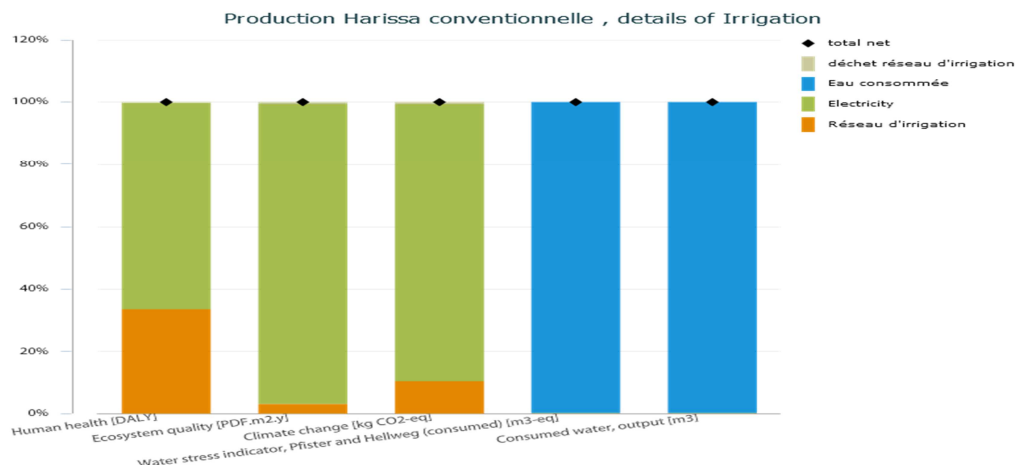


Figure 11 : Analyse détaillée de l'Irrigation pour la production agricole conventionnelle

L'utilisation de l'eau pour l'irrigation correspond à la quasi-totalité de l'eau consommée de la phase agricole (>99%). En effet, il s'agit d'une culture irriguée, dans la plus part des cas par le système goutte à goutte, qui requiert une consommation très importante en eau de forage. Pour l'indicateur eau consommée, l'irrigation génère la grande partie de l'impact environnemental de la phase agricole. En effet, l'irrigation requiert l'utilisation directe et indirecte de 1.09m3 d'eau consommée; représentant plus de 99%% de l'impact global de la phase agricole (partie irrigation). Etant signalé que les régions productrices de piment au centre de la Tunisie sont soumises à un climat semi-aride (pluviométrie de 200 à 500 mm/an), avec une forte variabilité spatiale et temporelle des précipitations et des écoulements de surface.

D'après les analyses réalisées (figure 11), il est possible d'observer que l'utilisation de l'électricité est le processus générant le plus d'impact par rapport à la santé humain, le changement climatique et la qualité des écosystèmes.

En effet, pour de combler les besoins en eau, les agriculteurs utilisent des pompes afin d'extraire l'eau de profondeur. L'extraction de l'eau nécessite ainsi l'utilisation d'une grande quantité d'électricité vu que la nappe phréatique de la zone est très profonde.

Tableau 6: Détail des résultats pour l'activité irrigation selon les catégories d'impacts

Catégories d'impacts	Electricité	Irrigation (eau consommée)	Unité
Santé Humaine	$9.46 \cdot 10^{-8}$	0	DALY
Qualité des écosystèmes	0.0232	0	PDF.m2.an
Changement climatique	0.54	0	kg CO ₂ -eq
Indicateur de stress hydrique	$9.56 \cdot 10^{-4}$	0.991	m3 eq
Eau consommée	$1.05 \cdot 10^{-3}$	1.09	m3

5.1.2 Phase de transport

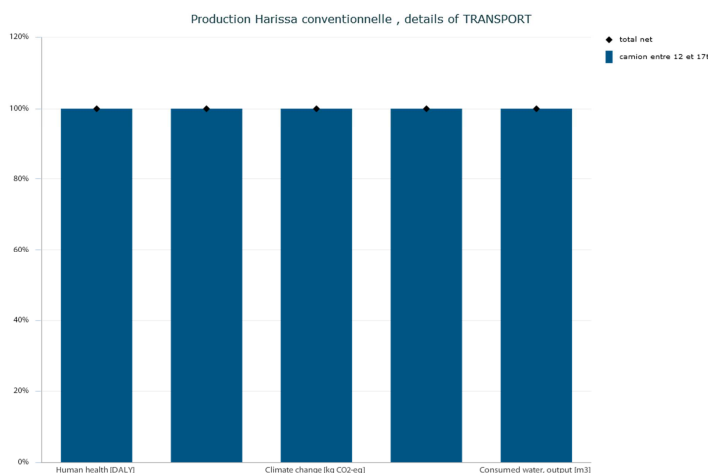


Figure 12 : Analyse des détails de l'étape du transport entre les centres de collecte et l'usine de

La phase du transport de piment est une des trois principales étapes du cycle de vie du produit.

Pour la production de conserve de harissa conventionnelle, étant donné que la production agricole est dans la majorité des cas localisée à Sidi Bouzid et la région de Kairouan et la transformation de piment se fait à Mjez-Elbeb-Béjà, il est logique que le transport génère des impacts non-négligeables par rapport à l'ensemble du système. Ces impacts sont engendrés par les 182 km parcourus par les camions entre Sidi Bouzid ou la région de Kairouan et l'usine de transformation à Mjez-Elbeb-Béjà.

L'impact du transport le plus connu est la pollution atmosphérique due aux gaz d'échappements, qui causent des maladies respiratoires et contribue au réchauffement de la planète (figure 12). Si le transport n'est pas un contributeur majeur à l'impact global de la production de harissa, il est néanmoins important de porter une réflexion sur le choix du moyen de transport si l'on tente de limiter les impacts sur l'environnement.

5.1.3 Etape de transformation de piment

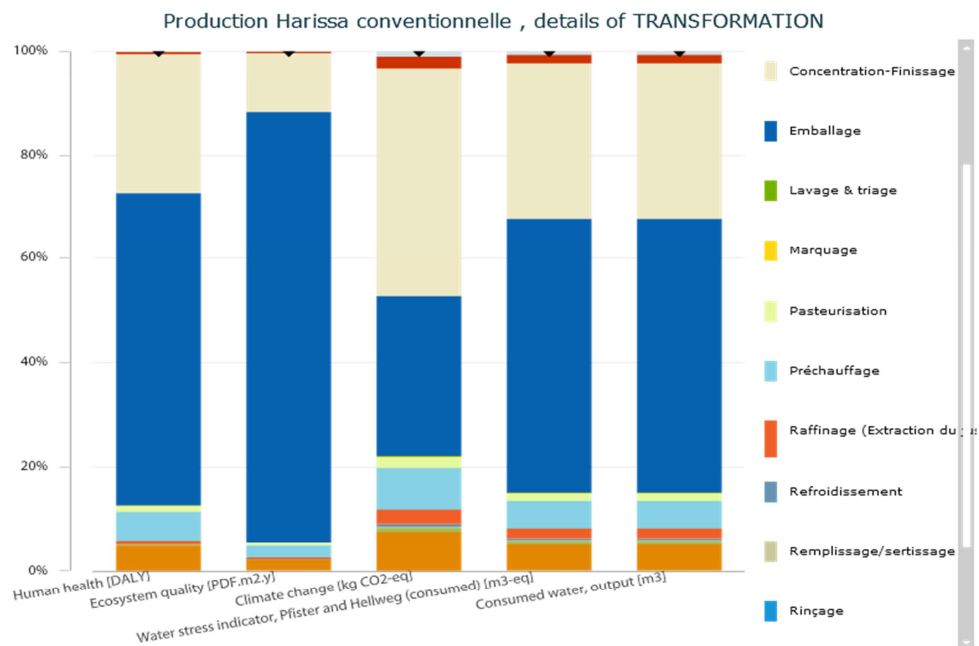


Figure 13 : Analyse détaillée de la phase de transformation de piment

Il ressort de la figure (13) ci-dessus que la part la plus importante de l'impact environnemental de la phase transformation de piment en conserve de harissa pour l'ensemble des catégories de dommage, sont générés principalement par l'étape de concentration et par l'utilisation des emballages pour le conditionnement du produit. Les deux processus génèrent les impacts suivants:

Tableau 7 : Détail des résultats pour l'activité de concentration et le conditionnement selon les catégories d'impacts

Catégories d'impacts	Utilisation d'emballage	Concentration	Unité
Santé Humaine	$1.52 \cdot 10^{-6}$	$6.83 \cdot 10^{-7}$	DALY
Qualité des écosystèmes	0.788	0.109	PDF.m2.an
Changement climatique	0.789	1.13	kg CO ₂ -eq
Indicateur de stress hydrique	$3.39 \cdot 10^{-3}$	$1.94 \cdot 10^{-3}$	m3 eq
Eau consommée	$3.73 \cdot 10^{-3}$	$2.14 \cdot 10^{-3}$	m3

Un focus sur les deux processus (emballage et concentration) est illustré par les figures ci-dessous:

- **Concentration:**

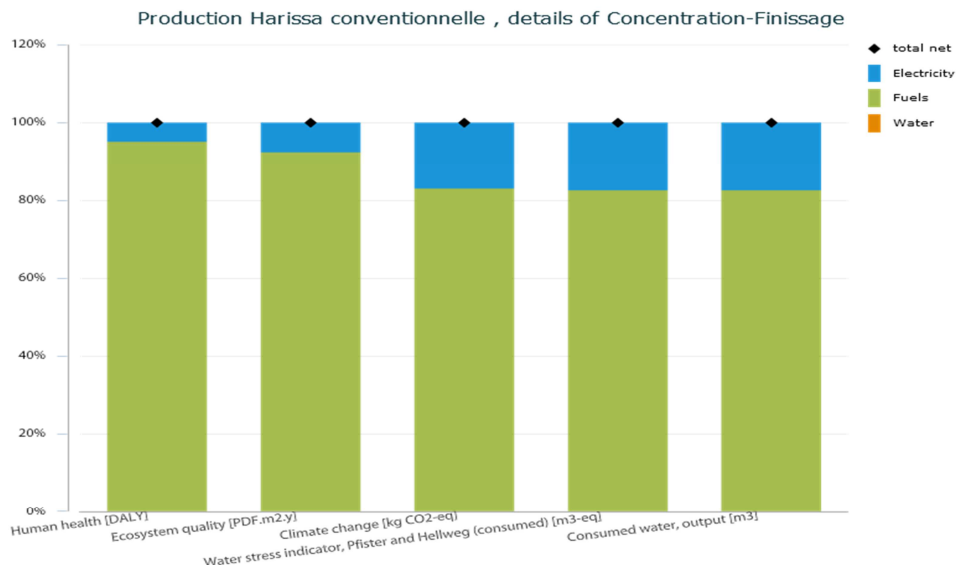


Figure 14 : Analyse des détails de la phase de Concentration de jus de piment

Dans cette étape du procédé de production de harissa, le jus de piment passe dans des boules de concentration pour l'obtention d'un concentré de l'ordre de 14% minimum. Ce qui induit une consommation importante de vapeur et par conséquent nécessite la combustion d'une quantité importante de fuel générant des émissions induisant des impacts sur la santé humaine, la qualité des écosystèmes, le changement climatique, le stress hydrique et la consommation en eau (figure 14).

En effet, la combustion du fuel génère des émissions de type CO₂, NO_x, SO_x accompagné d'une émission de particules fines dans l'air qui contribuent au changement climatique et aux effets respiratoires nocifs pour la santé humaine. Ainsi, cette activité génère près de 83% des émissions totales de CO₂-eq de l'activité concentration et génère près de 95% de l'impact global de l'activité concentration sur l'indicateur santé humaine.

En outre, cette activité est à l'origine de près de 90% de l'impact global de l'activité concentration sur l'indicateur qualité des écosystèmes.

Pour l'indicateur eau consommée, cette activité génère la grande partie de l'impact environnemental de l'activité concentration. En effet, l'utilisation du fuel requiert l'utilisation directe et indirecte de près de 80% de l'impact global de l'activité de concentration.

La figure 14 montre aussi que la consommation électrique contribue également à l'impact de la phase de concentration, mais de manière moins significative que la combustion du fuel nécessaire pour la concentration du jus de piment.

En effet, les impacts générés par la consommation électrique s'expliquent par la part importante d'énergies fossiles dans le mix électrique tunisien. Le gaz naturel est une énergie fossile, dont l'origine est similaire à celle du pétrole.

- **Préchauffage**

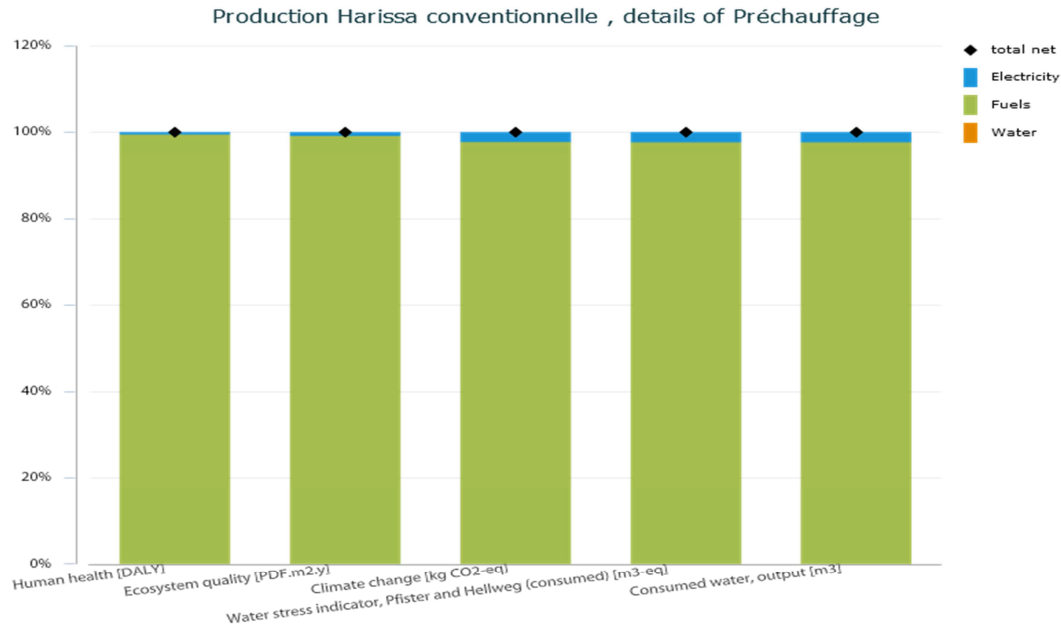


Figure 15 : Analyse des détails de l'étape préchauffage

- **Stérilisation**

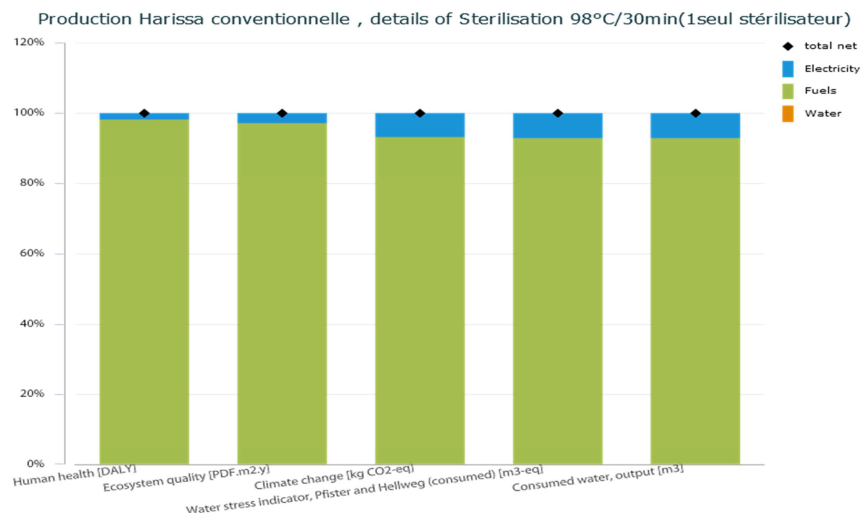


Figure 16 : Analyse des détails de la phase stérilisation des boîtes de conserve de harissa

Les deux processus de préchauffage et de stérilisation sont similaires au processus de concentration concernant la consommation de l'énergie thermique (fuel) ainsi que de l'énergie électrique (électricité) et par conséquent génèrent des impacts importants pour l'ensemble des catégories de dommage considérées, principalement dominés par la consommation et combustion de fuel.

- **Emballage**

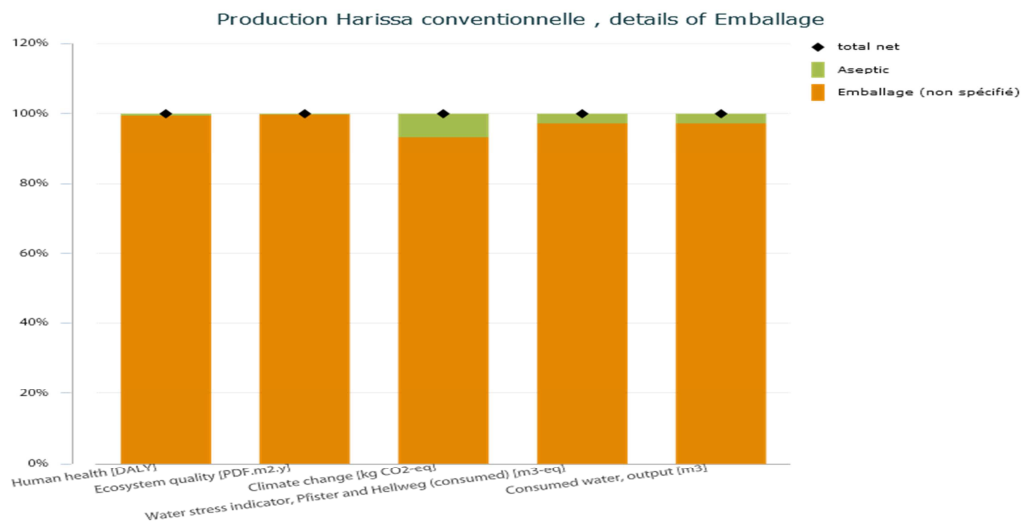


Figure 17 : Analyse des détails de l'étape conditionnement

Il ressort dans la figure (17) ci-dessus que la part la plus importante de l'impact environnemental de l'activité conditionnement pour les catégories de dommage santé humaine, qualité des écosystèmes et changement climatique, est dominé par l'utilisation d'emballage.

Un focus sur ce processus est illustré par le graphique ci-dessous:

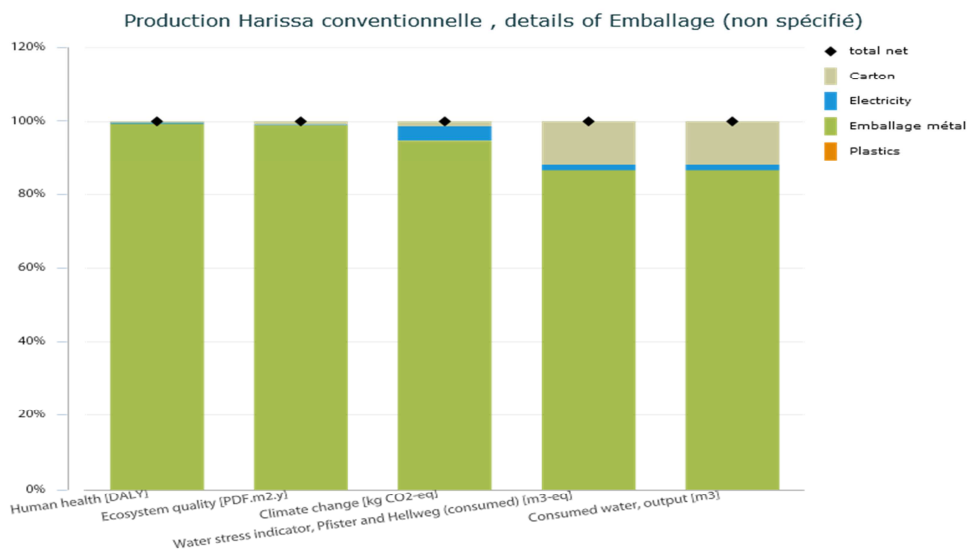


Figure 18 : Analyse des détails de la phase d’emballage

D’après la figure 18, la part de l’« emballage métallique » est le principal contributeur pour les 5 catégories de dommage considérées.

Ainsi, les emballages métalliques dominent à plus de 95% les contributions aux indicateurs de changement climatique, santé humaine et qualité des écosystèmes

Pour l’indicateur eau consommée et l’indicateur de stress hydrique, cette activité génère la grande partie de l’impact environnemental, avec plus de 85% de l’impact global de l’aspect emballage.

5.2 Vue d'ensemble - Harissa production pilote

5.2.1 Vision Générale

L'analyse environnementale du scénario 2 représentant le projet pilote réalisé par l'entreprise SICAM (réception de piment issu d'une production agricole pilote, une seule variété hybride cultivée dans la région de Medjez-El-Bab, Béja), selon les catégories de dommage (changement climatique, qualité des écosystèmes, santé humaine, eau consommée et index de stress hydrique) est illustrée par la figure 19.

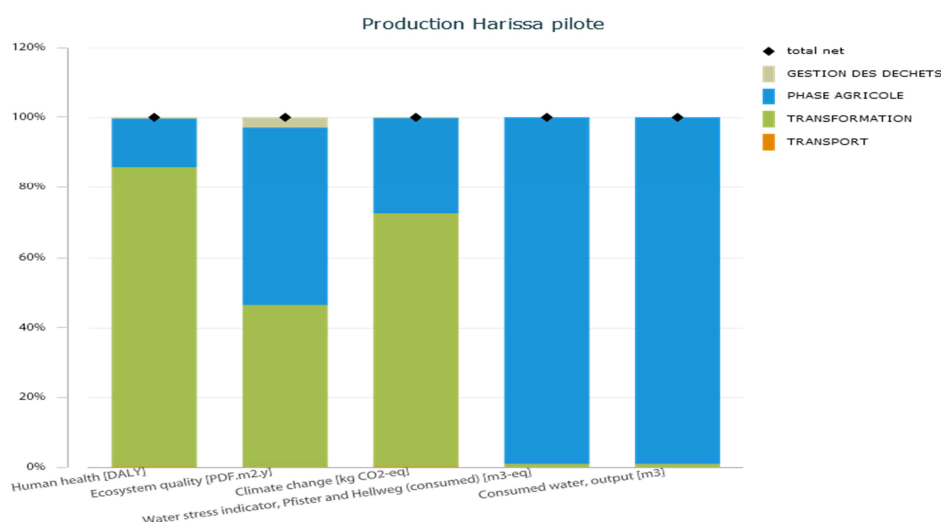


Figure 19 : Vue générale de la production de conserve de harissa projet pilote

La figure 19 présente les résultats globaux de l'analyse environnementale de la harissa pilote et montre que les étapes de production agricole et de transformation dominent largement l'impact environnemental pour l'ensemble des indicateurs considérés. Plus particulièrement, l'étape de production agricole est le principal contributeur en terme d'impacts environnementaux pour les catégories de dommage qualité des écosystèmes, eau consommée et indicateur de stress hydrique, représentant respectivement environ 50%, 99% et 99% de l'impact global. La transformation de piment est pour sa part le principal contributeur pour les catégories de santé humaine, changement climatique et dans une moindre mesure pour l'indicateur qualité des écosystèmes en comparaison avec la phase agricole, représentant respectivement environ 86%, 72% et 46% de l'impact global.

Par ailleurs, le transport de piment du champ agricole vers l'usine de transformation, et la gestion des déchets ne représentent qu'une part négligeable des impacts

environnementaux en comparaison avec les impacts afférents aux deux phases agricole et de transformation.

Les sous-chapitres ci-dessous aideront à comprendre cette répartition des impacts.

5.2.2 Etape de la production agricole « projet pilote »

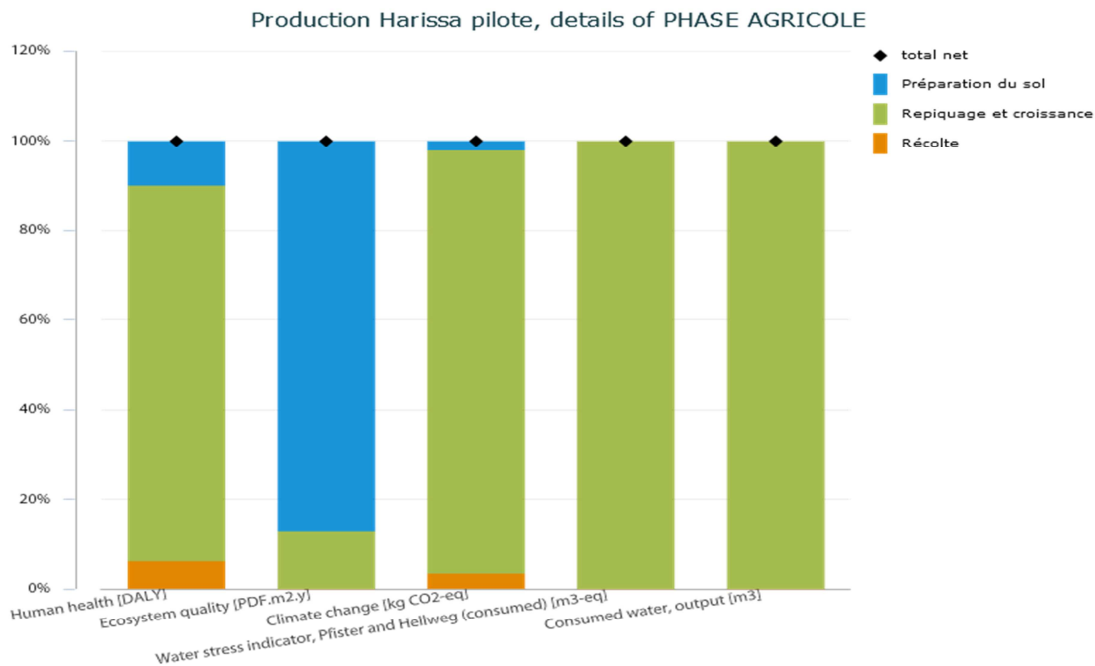


Figure 20 : Analyse des détails de l'étape production agricole de piment «projet pilote »

La figure 20 montre que l'activité repiquage et croissance est le principal contributeur à l'impact environnemental de la phase agricole pour les catégories de dommage santé humaine, changement climatique, eau consommée et indicateur de stress hydrique, représentant respectivement 84%, 94%, 99% et 99% de l'impact global. Ceci est dû à l'utilisation des produits de croissance (fertilisants) et de l'irrigation. Tandis que la préparation du sol est l'activité qui génère les plus d'impacts sur « qualité des écosystèmes », soit 1.9 PDF.m².an et représentant environ 90% de l'impact global de la phase agricole.

Une analyse plus détaillée de la phase repiquage et croissance est illustrée par la figure ci-dessous:

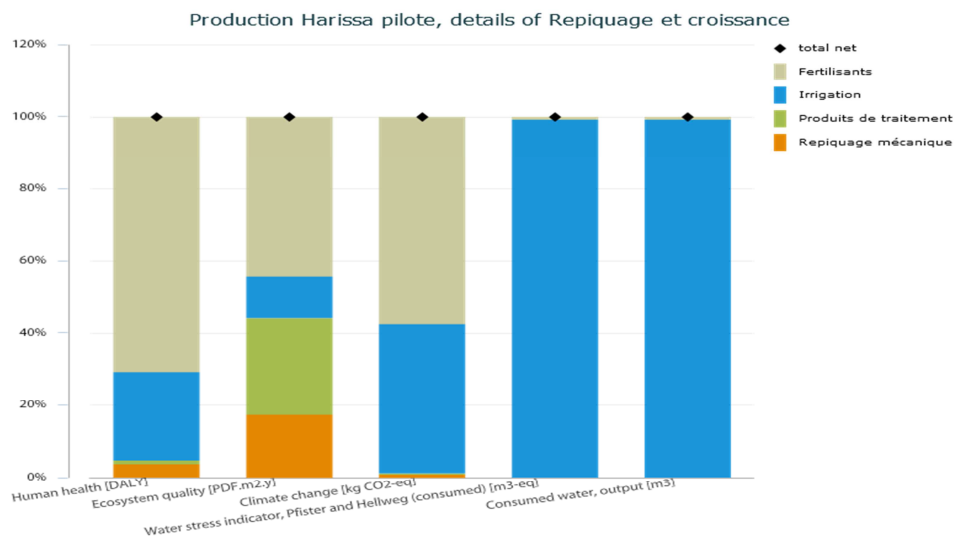


Figure 21 : Analyse des détails de l'activité repiquage et croissance de piment

Il ressort des résultats obtenus (figure 21) que les fertilisants sont les principaux contributeurs à l'impact environnemental de l'activité repiquage et croissance de la phase agricole pour la catégorie de dommage santé humaine et dans une moindre mesure pour l'indicateur relatif au changement climatique représentant respectivement 71% et 58% de l'impact global. Ce ci s'explique essentiellement par la contribution de ces produits à l'acidification de l'eau et des sols, au phénomène de l'eutrophisation (contamination de la nappe phréatique par infiltration) et au réchauffement climatique du aux émissions de l'ammoniac NH₃ et de protoxyde d'azote (N₂O) qui est un puissant gaz à effet serre.

Concernant l'impact sur la qualité des écosystèmes, il est induit par la fertilisation (44%), l'utilisation des produits de traitement (27%), le repiquage mécanique (17%) et l'irrigation (11%).

Pour les catégories de dommage eau consommée, et l'indicateur de stress hydrique, l'irrigation du sol génère la grande partie de l'impact environnemental de la phase agricole. En effet, l'irrigation requiert l'utilisation directe de 0.7. m³ d'eau consommée; représentant plus de 99% de l'impact global de l'activité repiquage et croissance de la phase agricole et 0.6 m³-eq pour l'indicateur de stress hydrique, soit plus de 99% de l'impact global de l'activité repiquage et croissance de la phase agricole.

Ils représentent chacun les impacts suivants (tableau 8) :

Tableau 8 : Détails pour l'activité repiquage et croissance de la phase agricole selon les catégories d'impacts : projet pilote

Catégories d'impacts	fertilisants	Produits de traitement	Irrigation	Unité
Santé Humaine	2.41*10⁻⁷	3.68*10 ⁻⁹	8.34*10 ⁻⁸	DALY
Qualité des écosystèmes	0.059	0.036	0.015	PDF.m2.an
Changement climatique	0.52	2.977*10 ⁻³	0.37	kg CO2-eq
Indicateur de stress hydrique	5.2*10 ⁻³	5.73*10 ⁻⁵	0.631	m3 eq
Eau consommée	5.73*10 ⁻³	6.32*10 ⁻⁵	0.695	m3

Un focus sur la partie utilisation des fertilisants est illustré par la figure ci-dessous:

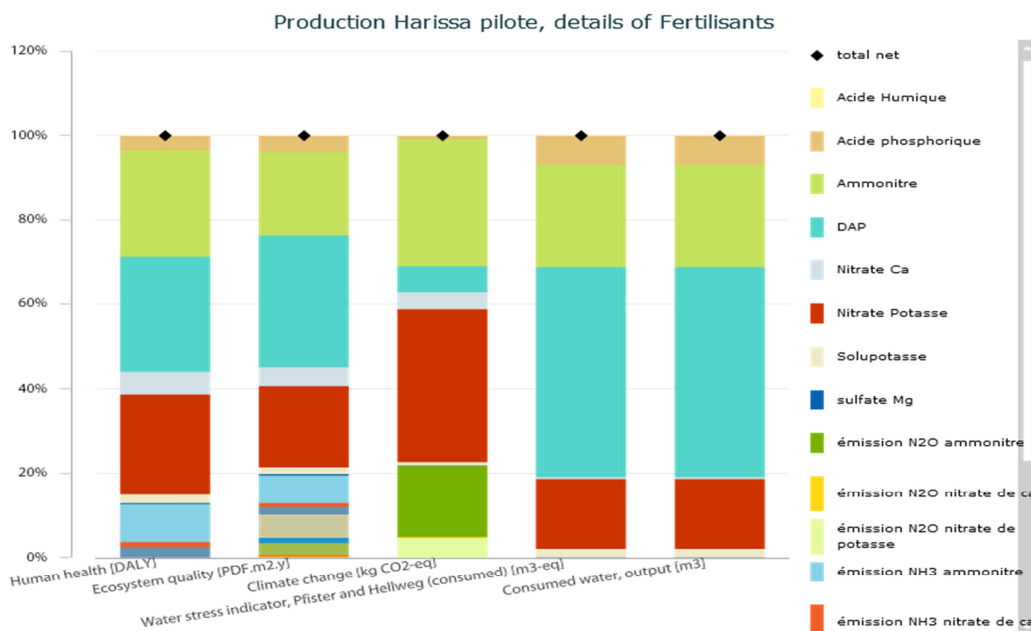


Figure 22 : Analyse des détails de l'utilisation des produits de croissance (Fertilisants et produits de traitement)

La figure 22 montre comme déjà expliqué dans la partie « fertilisants pour la production agricole de piment conventionnel », l'utilisation des produits de croissance, particulièrement le DAP et les produits à base d'azote à savoir l'ammonitre et le nitrate de potasse, domine en majeure partie les impacts générés par l'utilisation de fertilisants, ces éléments émettent des émissions de types N2o, NH3, lesquelles ont une incidence sur la santé humaine et sur l'environnement (l'eutrophisation et le changement climatique).

A part l'utilisation de ces fertilisants, la production de piment issu de la culture pilote utilise d'autres produits de traitement à savoir le nitrate de calcium, le solupotasse, l'acide humique, et le sulfate de Magnésium afin de protéger les plantes contre diverses maladies. D'après le graphique (22) et le tableau ci-dessus (8), ces produits de traitement générant des émissions induisant des impacts principalement sur la qualité des écosystèmes.

5.2.3 Etape de transport

Concernant la production de conserve de harissa pilote la phase du transport de piment du champ agricole vers l'usine de transformation ne représente qu'une part négligeable des impacts environnementaux en comparaison avec les impacts afférents aux deux phases agricole et transformation vu que le champ de culture de piment et l'usine de transformation sont situés dans la même région de Mjez-Elbeb (une distance de 07 Km et la capacité du camion de transport 07 tonnes).

6 ANALYSE COMPARATIVE

6.1 Comparaison entre les deux modes de production de harissa conventionnelle et harissa pilote

La comparaison des impacts environnementaux des deux modes de production de harissa conventionnelle et harissa pilote revient à une comparaison des deux modes de production agricole de piment (production agricole conventionnelle et production agricole projet pilote est réalisée via la comparaison des deux scénarios 1 et 2) puisque l'étape de transformation de piment est la même pour les deux modes considérés.

Les deux modes de production présentent les impacts environnementaux pour les cinq catégories de dommage (changement climatique, santé humaine, qualité des écosystèmes, eau consommée et index de stress hydrique) dans le tableau ci-après :

Tableau 9: Résultats pour les scénarios « harissa conventionnelle » & « harissa issue du projet pilote » pour les différentes catégories d'impacts

Type de harissa	Harissa conventionnelle	Harissa pilote	Unité
Catégories d'impacts			
Santé Humaine	3.35*10⁻⁶	2.96*10 ⁻⁶	DALY
Qualité des écosystèmes	3.14	2.05	PDF.m2.an
Changement climatique	4.05	3.55	kg CO2-eq
Indicateur de stress hydrique	1.01	0.64	m3 eq
Eau consommée	1.11	0.70	m3

Une analyse comparative entre les deux modes de production agricole pour les cinq catégories de dommage changement climatique, santé humaine, qualité des écosystèmes, indicateur de stress hydrique et consommation en eau est illustrée par la figure 23.

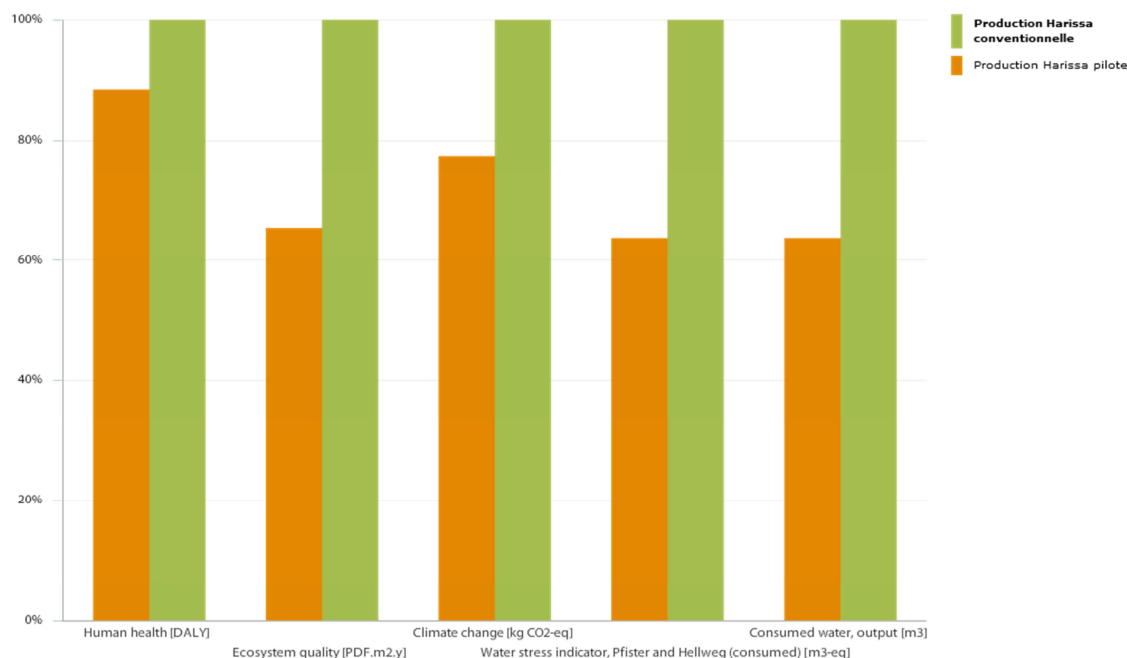


Figure 23 : Analyse des détails de l'étude comparative entre la harissa conventionnelle et harissa pilote

D'après les résultats généraux (figure 23 et le tableau (9)), la production d'un (1) kg de conserve de harissa conventionnelle génère plus d'impacts qu'un (1) kg de conserve de harissa issu du projet pilote. Ceci montre que la production agricole pilote présente moins d'impacts par rapport à la production agricole conventionnelle pour les cinq indicateurs considérés. Ainsi, les impacts associés à la production agricole pilote représentent respectivement moins de 10%, 35%, 23%, 24% et 24% par rapport aux impacts associés à la production agricole conventionnelle pour les catégories de dommage santé humaine, changement climatique, qualité des écosystèmes, indicateur de stress hydrique et consommation en eau. En effet, cette différence est due principalement au rendement agricole rapporté à l'hectare entre les deux modes de production agricole qui est nettement en faveur de la production pilote. Malgré l'application d'un nombre important des fertilisants et surtout des produits de traitement dans la production agricole pilote comparés à ceux de la production agricole conventionnelle, l'impact global reste influencé par la productivité à l'hectare (24 tonnes par hectare contre 12 tonnes par hectare, respectivement pour les productions agricoles pilote et conventionnelle).

7 CONCLUSION

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est une méthode normalisée que nous avons employée dans cette étude pour évaluer de façon détaillée les impacts environnementaux d'un produit au cours de sa vie, "conserves de harissa". Cette analyse permet de modéliser et d'identifier les impacts environnementaux correspondant à toutes les étapes du cycle de vie du produit (production agricole, transformation, conditionnement et transport). Cela donne des clés à l'entreprise pour mettre en place de nouvelles stratégies de conception qui réduiront la pression sur les ressources naturelles, la santé humaine et l'environnement... et finalement obtenir un produit plus respectueux de l'environnement. Aussi ceci aide à l'entreprise à mettre en place un moyen d'affichage et de communication sur ses performances environnementales à travers un label ou une politique de communication environnementale.

Ainsi les résultats de l'ACV de 1kg de conserve de harissa (unité fonctionnelle) avec la matière première cultivée dans différentes régions de la Tunisie (Sidi Bouzid, Kairouan, Mjedz-Elbeb,...) puis transformée dans la région de Mjedz-Elbeb-Béjà, et destinée à la commercialisation permettent de tirer certaines conclusions et émettre des recommandations, ainsi que de mettre en évidence les limites de l'approche écobilan appliquée aux produits agricoles transformés.

Les résultats obtenus montrent que:

Pour les deux types de harissa conventionnelle et pilote, les principaux contributeurs aux impacts environnementaux sont la phase de la production agricole et la phase de transformation de piment.

Etape de production agricole:

- La phase agricole est l'étape la plus impactante pour les catégories de dommage qualité des écosystèmes, indicateur de stress hydrique et consommation d'eau et dans une moindre mesure pour les catégories changement climatique et santé humaine en comparaison avec la phase de transformation et ce indépendamment du mode de production agricole appliqué. En effet, la contribution de la phase agricole dans l'impact global varie entre 51% et 66% par rapport à la qualité des écosystèmes, entre 98% et 99% par rapport à l'eau consommée et l'index de stress hydrique, entre 27% et 50% par rapport au changement climatique et entre 14% et 22% par rapport à la santé humaine.
- Pour le cas de la production agricole conventionnelle, l'impact environnemental est généré principalement par l'activité de fertilisation et dans une moindre mesure par

l'activité d'irrigation pour les trois premières catégories de dommage (changement climatique, santé humaine et qualité des écosystèmes). l'impact sur la qualité des écosystèmes est émis aussi par l'activité préparation du sol. Quant à l'eau consommée et l'index de stress hydrique associés sont induits principalement par l'activité d'irrigation.

- Concernant la production agricole pilote, l'impact de cette étape sur la qualité des écosystèmes est réparti entre les activités de fertilisation, l'utilisation des produits de traitement (fongicides et pesticides), l'irrigation et le repiquage mécanique. L'impact sur changement climatique est émis majoritairement par les activités de fertilisation et d'irrigation; tandis que son impact sur la santé humaine est lié principalement à la fertilisation et dans une moindre mesure à l'irrigation. La quasi-totalité de l'eau consommée est détenue par l'irrigation.
- L'analyse comparative des deux modes de production agricole montre que la production agricole pilote génère moins d'impacts que la production agricole conventionnelle pour tous les catégories de dommage considérés : changement climatique, qualité des écosystèmes, santé humaine, eau consommé et l'index de stress hydrique. Ceci est dû à la différence du rendement de la production de piment rapporté à l'hectare entre les deux modes de production agricole qui est nettement en faveur de la production pilote (le rendement de la production conventionnelle 12 tonnes/hectare et le rendement de la production pilote est 24 tonnes/hectare).

Le rendement agricole dépend de plusieurs facteurs:

- ✓ La fertilité des sols: Les sols sont exposés au risque d'eutrophisation lorsque la quantité excessive de substances nutritives entraîne la raréfaction de l'oxygène dans le sol et empêche donc les micro-organismes naturels de fonctionner correctement. Les sols eutrophisés sont également à l'origine d'émission de N₂O.
- ✓ La méthode de l'utilisation des fertilisants et des produits de traitement : Les effets négatifs de ces produits sont le résultat de leur mauvaise utilisation plutôt que des propriétés intrinsèques de ces produits.
- ✓ La qualité des eaux d'irrigation: Les eaux souterraines sont principalement soumises à l'action des nitrates, qui, en concentration trop élevée, représentent un risque pour la santé. Les eaux souterraines fortement contaminées ne sont pas potables et ayant un impact négatif sur la rentabilité agricole ;

- ✓ La méthode et la planification de l'irrigation ;
- ✓ Le choix de la variété pour la culture de piment: pour le projet pilote SICAM a fait le choix pour une seule variété Hybride cultivée dans la même région «Mjedz-Elbeb » alors que pour la culture conventionnelle il s'agit de plusieurs variétés issues de plusieurs régions.

Etape de transformation de piment:

- Le résultat de l'analyse environnementale de l'étape de transformation de piment correspond aux deux scénarios 1 et 2 de la production agricole conventionnelle et pilote. La contribution de cette étape dans l'impact global représente 76% par rapport à la santé humaine et 56% par rapport au changement climatique et 30% par rapport à la qualité des écosystèmes.
- L'analyse détaillée de l'étape de transformation montre que les deux activités relatives à la concentration et l'emballage sont les principaux contributeurs pour les indicateurs de santé humaine, qualité des écosystèmes, changement climatique, eau consommé et index de stress hydrique et dans une moindre mesure on trouve aussi que les deux activités de préchauffage et de stérilisation présentent des impacts environnementaux pour les cinq catégories de dommage.

En effet, l'étape de transformation, émet l'équivalent de 2.57 kg de CO₂ dont 44% sont associés à l'activité de concentration, et à l'origine de 2.54 DALY et 0.95 PDF.m².an dont respectivement 60% et 83% de ces impacts sont associés à l'activité de l'emballage. De même ces deux activités (concentration et emballage) génèrent des impacts environnementaux sur les deux indicateurs eau consommée et stress hydrique, représentant respectivement 30% et 52% de l'impact global de l'étape de transformation. Ceci est dû à la consommation importante de l'énergie (fuel et électricité) au niveau de ces activités, l'utilisation des emballages métalliques pour le remplissage et le conditionnement et à la consommation importante de l'eau.

- Les constats dégagés dans l'étape de transformation de piment confirment les actions proposées dans le cadre du projet production propre pour le double concentrée de tomate et qui concernent essentiellement la rationalisation de la consommation de l'eau et l'énergie (électricité et fuel) et la maîtrise de l'utilisation de l'emballage métallique.

8 RECOMMANDATIONS

Compte tenu de ce qui a été analysé ci-dessus et afin d'améliorer les performances environnementales liées à la production de conserve de harissa, les recommandations suivantes sont préconisées :

- 1- Pour la production agricole, et compte tenu de l'importance du rendement agricole qui influe sur les résultats de l'évaluation des impacts environnementaux pour les catégories de dommage considérés dans cette étude, la production agricole pilote est privilégiée par rapport à la production agricole conventionnelle. Par conséquent et afin de tirer profit de l'amélioration de la productivité des cultures de piment que permet l'utilisation des fertilisants et produits de traitement, sans pour autant détériorer la qualité de l'environnement, il est nécessaire d'adopter un code de bonnes pratiques agricoles qui sera basé entre autre sur :
 - l'analyse de sol : réalisée avant l'installation de la culture, elle permet de déterminer ses besoins en éléments nutritifs, puisque actuellement la majorité des agricultures ne font ou ne peuvent pas faire les analyses de sol, un autre moyen serait de mettre au point des formules régionales qui tiennent compte de la fertilité des sols et des techniques de conduite des cultures au niveau de chaque région.
 - un bon raisonnement de la fertilisation azotée : Prise en considération des autres sources d'azote telles que l'eau d'irrigation et les apports sous forme de résidus organiques.
 - le choix des variétés de piment à cultiver avec prise en considération de la qualité du sol à cultiver et la disponibilité des ressources en eau;
 - La méthode d'irrigation goutte à goutte avec un suivi bien déterminé.
- 2- Pour la phase de transformation de piment : afin d'optimiser la consommation des ressources en énergie, fuel et l'eau et diminuer les déchets des emballages des boîtes métalliques, il est recommandé de mettre en œuvre les actions proposées dans le cadre du projet PPT pour le processus de production de conserve de double concentré de tomate et qui concernent essentiellement:
 - La gestion de l'énergie et de l'eau : Elle consiste à mettre en place un système de comptabilité énergétique avec archivage des données, y compris l'acquisition des données d'une manière continue concernant les flux énergétiques, avec élaboration de rapports de synthèse périodiques à exploiter par le personnel concerné de l'entreprise. La base de ce

système est l'installation des compteurs divisionnaire pour l'électricité, et l'eau aux endroits stratégiques pour identifier les consommations individuelles de chaque étape de production ou chaque atelier (dépend de la stratégie de l'entreprise).

- L'installation de démarreurs progressifs sur les moteurs et les pompes de grande puissance électrique: cette action permettra de limiter les appels de courant au démarrage des pompes et des moteurs de grande puissance en plus de permettre à l'entreprise d'éviter les pénalités sur le dépassement de la puissance souscrite ;
- La réduction des pertes énergétiques des installations de production de vapeur: cette action permettra d'atteindre un rendement plus important dans la production de vapeur grâce à un meilleur fonctionnement des chaudières tout en réduisant les pertes de distribution (renforcement de l'isolation, contrôle des purgeurs, fuites, etc.) ;
- L'optimisation de la distribution de vapeur et valorisation des rejets thermiques des condensats: cette action consiste à la mise en place des mesures d'optimisation et de valorisation pour réduire la consommation énergétique en réduisant les pertes de distribution (renforcement de l'isolation, contrôle des purgeurs, fuites, etc.) et en valorisant au maximum les rejets de chaleur, en particulier issus des condensats ;
- L'optimisation de l'utilisation des emballages métalliques via le renforcement de la maintenance préventive essentiellement dans l'étape de remplissage et de sertissage pour diminuer le taux des boites non conformes ;
- La gestion des déchets : pour maitriser la gestion des déchets générés par la production de conserve de harissa il est recommandé de :
 - ✓ Définir et mettre en place un système de tri sélectif pour les déchets et sensibiliser le personnel en fonction des règles à établir ;
 - ✓ Identifier clairement les zones de déchets et les poubelles à placer dans l'usine et dans l'enceinte de l'entreprise;
 - ✓ Envisager le tri et la valorisation des pépins et des pulpes, pour des fins agricole et alimentation des bétails. ces déchets peuvent être considérés comme des coproduits si l'utilisation

- ultérieure est légale et n'aura pas d'incidences globales nocives pour l'environnement ou la santé humaine ;
- ✓ Etablir des conventions avec des collecteurs agréés réalisant l'évacuation et le recyclage des déchets et définir les règles à respecter en matière d'environnement ;
 - ✓ Stocker séparément les déchets « dangereux » tels que : chiffons souillés de produits dangereux, cartouches d'imprimantes, ampoules, tubes néons, piles, etc. et les évacuer par une société agréée par l'ANGED ;
 - ✓ Disposer du registre officiel pour l'enregistrement et la traçabilité des déchets dangereux selon la nomenclature du décret 2339/2000 relatifs aux déchets dangereux.
- Mise en place d'un plan de sensibilisation et de formation des employés sur les bonnes pratiques environnementales et énergétiques: cette action permettra d'améliorer les performances environnementales et énergétiques (une meilleure gestion des déchets solides et des rejets hydriques et atmosphériques) de l'entreprise via une implication active des employés, et de préparer l'entreprise pour adhérer à une démarche de certification du système de management environnemental et du système de management de l'énergie (ISO 14001 et ISO 50001) ;

9 ANNEXES

9.1 Inventaire de cycle de vie détaillé – Production agricole

Tableau 10 : Données sur la phase agricole conventionnelle et pilote -Préparation du sol

Etapas	Caractéristiques	Source des données/ Référence	Commentaires/ Hypothèses	Caractérisation des flux de données		
				flux de données	Caractérisation sur ecoinvent	
Irrigation	800 m3 / 25 000 000 plants	Enquêtes pépinières	-----	Water	Surface water, input [m3] (Quantis Water DB CF : 1004972)	
Engrais	NPK 13-40-13 100 kg / 4 000 000 plants	Enquêtes pépinière.	-----	Fertilisers & pesticides	ammonium nitrate phosphate, as N, at regional storehouse [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 38)	
					potassium nitrate, as K ₂ O, at regional storehouse [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 51)	
					ammonium nitrate phosphate, as P ₂ O ₅ , at regional storehouse [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 39)	
Fertilisants	Antracol	0.75 kg/ha	Enquêtes pépinière.	-----	Fertilisers & pesticides	dithiocarbamate-compounds, at regional storehouse [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 94)
	Alsystin	0.75 kg/ha	Enquêtes pépinière.	-----	Fertilisers & pesticides	trifluoromethane, at plant [kg] - GLO (ecoinvent 2.2 : 7235)

Tableau 11 : Données sur la phase agricole (Projet Pilote & production harissa conventionnelle)- production de piment

Etapas	Données (Projet pilote PP)	Données (harissa conventionnelle)	Source des données/ Référence	Commentaire s/Hypothèses	Caractérisation des flux de données			
					Valeurs harissa « projet pilote »	Valeurs harissa conventionnelle	flux de données	Caractérisation sur les bases de données utilisées
Localisation géographique du champ	Mejez El beb -Bejà	(Cap Bon ,Kairouan, Sidi Bouzid...)	SICAM	-----	-----	-----	-----	-----
Superficie du champ (ha) : S	30ha	Non déterminé	Projet Pilote: Source SICAM harissa conventionnelle: divers entreprises/recherche bibliographique	-----	-----	-----	-----	-----
Rendement	24 t / ha	12t/ha	Projet Pilote: Source SICAM harissa conventionnelle: divers entreprises/recherche bibliographique	Une moyenne à l'échelle nationale pour la harissa conventionnelle	-----	-----	-----	-----
Préparation du sol	Labour	Un seul passage	SICAM/ Etude bibliographique/ entreprises des conserves de harissa	Une moyenne à l'échelle nationale	0.0000771	0.00016	Agro-based	tillage, ploughing [ha] - CH (ecoinvent 2.2 : 185)

	Recroisèrent	Deux passages	Deux passages	SICAM/ Etude bibliographique/ entreprises des conserves de harissa	Une moyenne à l'échelle nationale	0.00015432	0.000323	Agro-based	tillage, rotary cultivator [ha] - CH (ecoinvent 2.2 : 187)
épandage	Acide phosphorique	52 kg/ha	48 kg/ha	SICAM/ Etude bibliographique/ entreprises des conserves de harissa	- Une moyenne à l'échelle nationale(HC) - Données SICAM (PP)	0.0040	0.0077	Fertilisers& pesticides	phosphoric acid, fertiliser grade, 70% in H2O, at plant [kg] - MA (ecoinvent 2.2 : 310)
	DAP	261.6 kg/ha	150 kg/ha	SICAM/ Etude bibliographique/ entreprises des conserves de harissa	- Une moyenne à l'échelle nationale(HC) - Données SICAM (PP)	0.020	0.0242	Fertilisers	diammonium phosphate, as P2O5, at regional storehouse [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 45)
	Ammonitre 33%	241.6 kg/ha	250 kg/ha	SICAM/ Etude bibliographique/ entreprises des conserves de harissa	- Une moyenne à l'échelle nationale(HC) - Données SICAM (PP)	0.0186	0.04049	Fertilisers& pesticides	ammonium nitrate, as N, at regional storehouse [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 40)
	Nitrate de potasse	154kg/ha	150 kg/ha	SICAM/ Etude bibliographique/ entreprises des conserves de tomate	- Une moyenne à l'échelle nationale(HC) - Données SICAM (PP)	0.0118	0.0242	Fertilisers& pesticides	potassium nitrate, as K2O, at regional storehouse [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 51)
	Solupotasse	35 kg/ha	-----	Données SICAM Projet Pilote	-----	0.0027	-----	Fertilisers & pesticides	triple superphosphate, as P2O5, at regional storehouse [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 57)
	Sulfate de Magnésium	28 kg/ha	-----	Données SICAM Projet Pilote	-----	0.0021	-----	Fertilisers& pesticides	magnesium sulphate, at plant [kg] - RER (Ecoinvent 2.2: 297)
	Nitrate de Calcium	70 kg/ha	-----	Données SICAM Projet Pilote	-----	0.0054	-----	Fertilisers& pesticides	compost, at plant [kg] - CH (ecoinvent 2.2 : 58)
	Acide Humique	2061kg/ha	-----	Données SICAM Projet Pilote	-----	0.00159	-----	Fertilisers organic	compost, at plant [kg] - CH (ecoinvent 2.2 : 58)
Repiquage	Un seul passage	Un seul passage	SICAM/ Etude bibliographique/ entreprises des conserves de harissa	Une moyenne à l'échelle nationale	0.000077	0.00016	Agro-based	planting [ha] - CH (ecoinvent 2.2 : 172)	

Entretien	Irrigation	Volume d'eau	10000 m3 / ha	7500 m3 / ha	- Une moyenne à l'échelle nationale(HC) - Données SICAM (PP)	Une moyenne à l'échelle nationale(HC) - Données SICAM (PP)	0.7716	1.214	Water	Water, well, in ground, raw, in water [m3] (ecoinvent substances : 3906)
		Electricité	0.8kwh/m3	0.8kwh/m3	SICAM/ Etude bibliographique/ entreprises des conserves de harissa	Une moyenne à l'échelle nationale	0.6172	0.97181	Electricité	Electricité TN [kWh]
		Eau consommée	Efficacité d'acheminement égal à 1 et l'efficacité d'application est égale à 0.9	Efficacité d'acheminement égal à 1 et l'efficacité d'application est égale à 0.9	SICAM/ Etude bibliographique/ entreprises des conserves de harissa	FAO (1989) irrigation water Management : Irrigation Scheduling. Training n0. 4, Annex 1	0.6944	1.0932	Water	Consumed water, output [m3] (Quantis Water DB CF : 1004982)
		Déchet réseau d'irrigation	200 kg / ha	200 kg / ha	SICAM/ Etude bibliographique/ entreprises des conserves de harissa	Une moyenne à l'échelle nationale	0.0154	0.032	Waste	disposal, polyethylene, 0.4% water, to sanitary landfill [kg] - CH (ecoinvent 2.2 : 2232)
		Réseau goutte à goutte	200 kg / ha	200 kg / ha	SICAM/ Etude bibliographique/ entreprises des conserves de harissa	Une moyenne à l'échelle nationale	0.01543	0.0323	Chemicals	polyethylene, HDPE, granulate, at plant [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 1829)
	Traitements	Manébe (Fongicide)	1,05 kg / ha	-----	Données SICAM Projet Pilote	-----	0.000081	-----	Fertilisers& pesticides	maneb, at regional storehouse [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 102)
		Dithane (Fongicide)	1,08 kg / ha	-----	Données SICAM Projet Pilote	-----	0.000083	-----	Fertilisers& pesticides	mancozeb, at regional storage [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 11202)
		Rodomil	1 l kg /ha	-----	Données SICAM Projet Pilote c	-----	0.000077	-----	Fertilisers& pesticides	mancozeb, at regional storage [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 11202)
		Decis (insecticide)	0,55 kg / ha	0.5 kg/ha	Une moyenne à l'échelle nationale/ entreprises des conserves de harissa	Une moyenne à l'échelle nationale	0.000042	0.000073	Fertilisers& pesticides	phenoxy-compounds, at regional storehouse [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 118)

	Lannate (insecticide)	1,46 kg / ha	1.5 kg/ha	Une moyenne à l'échelle nationale/ entreprises des conserves de harissa	Une moyenne à l'échelle nationale	0.000112	0.00022	Fertilisers& pesticides	[thio]carbamate-compounds, at regional storehouse [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 64)
	Bestox (insecticide)	0,19 l / ha	-----	Données SICAM Projet Pilote	-----	0.000014	-----	Fertilisers& pesticides	pyrethroid-compounds, at regional storehouse [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 124)
	Talstar	-----	1.5 kg/ha	entreprises des conserves de harissa		-----	0.00022	Fertilisers& pesticides	pesticide unspecified, at regional storehouse [kg] - RER (ecoinvent 2.2: 116)
	Supernitrite	-----	0.5 kg/ha	entreprises des conserves de harissa		-----	0.000073	Fertilisers& pesticides	nitrile-compounds, at regional storehouse [kg] - RER (ecoinvent 2.2: 108)
Récolte	Sac en Polypropylène (PP)	Utilisation des sacs en Polypropylène : la masse du sac est 0.165 kg avec une capacité de 20 kg, le rendement industriel est 0.54	Utilisation des sacs en Polypropylène : la masse du sac est 0.165 kg avec une capacité de 20 kg, le rendement industriel est 0.49	SICAM	La masse du sac/(capacité du sac*rendement industriel)	0.0152	0.0168	Polymers	polypropylene, granulate, at plant [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 1834)
	Déchets de sac en PP	les sacs en Polypropylène utilisés sont générés comme déchets	les sacs en Polypropylène utilisés sont générés comme déchets	SICAM	La masse du sac/(capacité du sac*rendement industriel)	0.0152	0.0168	Polymers	disposal, polypropylene, 15.9% water, to sanitary landfill [kg] - CH (ecoinvent 2.2 : 2233)
Transport	Camion entre 12 et 17 t harissa conventionnelle Camion de 7t projet pilote	Distance parcourue: 7 km entre le champ et l'usine de transformation à Medjez-EI-Bab	Distance parcourue: 182km entre les régions de Kairouan, Sidi Bouzid et l'usine à Medjez-EI-Bab	SICAM	distance * 2 / (rendement industriel * 1000)	0.0259	0.742	Road	transport, lorry 7.5-16t, EURO3 [tkm] - RER (ecoinvent 2.2 : 7300)

Tableau 12 : Emissions des fertilisants et des produits de traitement

	flux de données	Emissions	Emission (eau/sol/air)	Hypothèses ^(r)	Valeurs pilote	Projet conventionnelle	Caractérisation sur les bases de données utilisées
Fertilisants	Ammonitre	N2O	Air	0.031 kg N2O dans l'air par kg N appliqué (source: Blonk 2011)	0.000299	0.0010	Dinitrogen monoxide, air, emission in low population area [kg] (ecoinventsubstances : 2815)
		NH3	Air	0.05 kg NH3 dans l'air par kg N appliqué (source: Nemecek et al. 2012)	0.00025	0.00087	Ammonia, air, unspecifiedemission location [kg] (ecoinvent substances : 2583)
		NO3-	Eau	1.1 kg nitrate (NO3-) dans l'eau par kg N appliqué (source: ecoinvent 'Wheat grains, at farm/US U')	0.00152	0.0052	Nitrate, water, unspecified [kg] (ecoinventsubstances : 5069)
	Nitrate de potasse	N2O	Air	0.031 kg N2O dans l'air par kg N appliqué (source: Blonk 2011)	0.000080	0.0002	Dinitrogen monoxide, air, emission in low population area [kg] (ecoinventsubstances : 2815)
		NH3	Air	0.05 kg NH3 dans l'air par kg N appliqué (source: Nemecek et al. 2012)	0.000068	0.00221	Ammonia, air, unspecifiedemission location [kg] (ecoinvent substances : 2583)
		NO3-	Eau	1.1 kg nitrate (NO3-) dans l'eau par kg N appliqué (source: ecoinvent 'Wheat grains, at farm/US U')	0.00041	0.00133	Nitrate, water, unspecified [kg] (ecoinventsubstances : 5069)
	Nitrate de calcium	N2O	Air	0.031 kg N2O dans l'air par kg N appliqué (source: Blonk 2011)	0.0000041	-----	Dinitrogen monoxide, air, emission in low population area [kg] (ecoinventsubstances : 2815)
		NH3	Air	0.05 kg NH3 dans l'air par kg N appliqué (source: Nemecek et al. 2012)	0.0000344	-----	Ammonia, air, unspecifiedemission location [kg] (ecoinvent substances : 2583)
		NO3-	Eau	1.1 kg nitrate (NO3-) dans l'eau par kg N appliqué (source: ecoinvent 'Wheat grains, at farm/US U')	0.000207	-----	Nitrate, water, unspecified [kg] (ecoinventsubstances : 5069)
	DAP	Phosphore	Eau	0.0096 kg phosphore dans l'eau par kg P2O5 appliqué (source: ecoinvent 'Wheat grains, at farm/US U')	0.000046	0.000089	Phosphorus, water, unspecified [kg] (ecoinventsubstances : 5149)
Phosphate		Eau	0.031 kg de phosphate (PO43-) dans l'eau par kg P2O5 appliqué (source: ecoinvent 'Wheat grains, at farm/US U')	0.00028	0.00054	Phosphate, water, unspecified [kg] (ecoinventsubstances : 5141)	

	Acide phosphorique	Phosphore	Eau	0.0096 kg phosphore dans l'eau par kg P2O5 appliqué (source: ecoinvent 'Wheat grains, at farm/US U')	0.000010	6*10-7	Phosphorus, water, unspecified [kg] (ecoinvent substances : 5149)
		Phosphate	Eau	0.031 kg de phosphate (PO43-) dans l'eau par kg P2O5 appliqué (source: ecoinvent 'Wheat grains, at farm/US U')	0.00006	0.00019	Phosphate, water, unspecified [kg] (ecoinvent substances : 5141)
Produits de traitement	Manebe	Fongicide	Sol	100% appliqué dans le sol (source: ecoinvent)	0.000081	-----	Maneb, soil, agricultural [kg] (ecoinvent substances : 4058)
	Dithane				0.0000833	-----	Mancozeb, soil, agricultural [kg] (ecoinvent substances : 4057)
	Ridomil				0.000077	-----	Mancozeb, soil, agricultural [kg] (ecoinvent substances : 4057)

9.2 Inventaire de cycle de vie détaillé – Transformation

Tableau 13 : Inventaire de la phase de transformation (phase commune entre Harissa Conventionnelle et Harissa Projet Pilote)

Etapas	Données (harissa Projet pilote)	Données (harissa conventionnelle)	Source des données/ Référence	Commentaires/Hypothèses	Caractérisation des flux de données			
					Valeurs Projet Pilote	Valeurs harissa conventionnelle	flux de données	Caractérisation sur les bases de données utilisées
Réception & lavage	électricité	Puissance de l'appareil : 30kw et nombre d'heures de travail : 23j*24heures pour une quantité de 479709kg	SICAM (fiche technique de l'appareil: puissance énergétique)	Le calcul de la consommation d'énergie a été calculé selon la formule suivante (Puissance de l'appareil * le nombre d'heure de travail(1))	0.0345		électricité	Electricité TN [kWh]
	eau	L'eau de l'étape réception & lavage représente 2.71% de la quantité d'eau destinée à la transformation de piment	SICAM	la consommation d'eau dans l'étape de transformation est 0.017m3/kg	0.0005		Water	tap water, at user [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 2288)
Lavage & triage	électricité	Puissance de l'appareil : 4kw et nombre d'heures de travail : 23j*24heures pour une quantité de 479709kg	SICAM (fiche technique de l'appareil: puissance énergétique)	Idem1	0.0046		électricité	Electricité TN [kWh]
	eau	L'eau de l'étape lavage & triage représente 10.34% de la quantité d'eau destinée à la transformation de piment	SICAM	la consommation d'eau dans la phase de transformation est 0.017m3/kg	0.00191		Water	tap water, at user [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 2288)
Rinçage	eau	3.85% de la quantité d'eau destinée à la transformation de piment	SICAM	la consommation d'eau dans la phase de transformation est 0.017m3/kg	0.00071		Water	tap water, at user [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 2288)
Broyage	électricité	Puissance de l'appareil : 90kw et nombre d'heures de travail : 23j*24heures pour une quantité de 479709kg	SICAM (fiche technique de l'appareil: puissance énergétique)	Idem1	0.1035		électricité	Electricité TN [kWh]

Préchauffage	électricité	Puissance de l'appareil : 7.5kw et nombre d'heures de travail : 23j*24heures pour une quantité de 479709kg	SICAM (fiche technique de l'appareil: puissance énergétique	Idem1	0.0086	électricité	Electricité TN [kWh]
	eau	L'eau de préchauffage représente 10.5% de la quantité d'eau destinée à la transformation de piment	SICAM	la consommation d'eau dans la phase de transformation est 0.017m3/kg	0.00118	Water	tap water, at user [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 2288)
	Fuel	15% de la quantité du fuel consommée pour la transformation de piment	SICAM	la consommation du fuel dans la phase de transformation est 147.7MJ/kg	2.214	Fuel	heavy fuel oil, burned in power plant [MJ] - RER (ecoinvent 2.2 : 1631)
Raffinage	électricité	Puissance de l'appareil : 110kw et nombre d'heures de travail : 23j*24heures pour une quantité de 479709kg	SICAM (fiche technique de l'appareil: puissance énergétique	Idem1	0.1265	électricité	Electricité TN [kWh]
Bac de stockage	électricité	Puissance de l'appareil : 41kw et nombre d'heures de travail : 23j*24heures pour une quantité de 479709kg	SICAM (fiche technique de l'appareil: puissance énergétique	Idem1	0.0471	électricité	Electricité TN [kWh]
Concentration	Electricité	Puissance de l'appareil : 300kw et nombre d'heures de travail : 23j*24heures pour une quantité de 479709kg	SICAM (fiche technique de l'appareil: puissance énergétique	Idem1	0.3452	Electricité	Electricité TN [kWh]
	fuel	69% de la quantité du fuel consommée pour la transformation de piment	SICAM	la consommation du fuel dans la phase de transformation est 147.7MJ/kg	10.25	Fuel	heavy fuel oil, burned in power plant [MJ] - RER (ecoinvent 2.2 : 1631)
	eau	L'eau de la concentration représente 47% de la quantité d'eau destinée à la transformation de piment	SICAM	la consommation d'eau dans la phase de transformation est 0.017m3/kg	0.0081	Water	tap water, at user [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 2288)
Pasteurisation	Electricité	Puissance de l'appareil : 17kw et nombre d'heures de travail : 23j*24heures pour une quantité de 479709kg	SICAM (fiche technique de l'appareil: puissance énergétique	Idem1	0.019651	Electricité	Electricité TN [kWh]

	fuel	03% de la quantité du fuel consommée pour la transformation de piment	SICAM	la consommation du fuel dans la phase de transformation est 147.7MJ/kg	0.451	Fuel	heavy fuel oil, burned in power plant [MJ] - RER (ecoinvent 2.2 : 1631)
	eau	L'eau de la pasteurisation représente 2.4% de la quantité d'eau destinée à la transformation de piment	SICAM	la consommation d'eau dans la phase de transformation est 0.017m3/kg	0.0004	Water	tap water, at user [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 2288)
Stérilisation	Electricité	Puissance de l'appareil : 20kw et nombre d'heures de travail : 23j*24heures pour une quantité de 479709kg	SICAM (fiche technique de l'appareil: puissance énergétique)	Idem1	0.02301	Electricité	Electricité TN [kWh]
	fuel	13% de la quantité du fuel consommée pour la transformation de piment	SICAM	la consommation du fuel dans la phase de transformation est 147.7MJ/kg	1.927	Fuel	heavy fuel oil, burned in power plant [MJ] - RER (ecoinvent 2.2 : 1631)
	eau	L'eau de la stérilisation représente 9% de la quantité d'eau destinée à la transformation de piment	SICAM	la consommation d'eau dans la phase de transformation est 0.017m3/kg	0.0029	Water	tap water, at user [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 2288)
Refroidissement	Electricité	Puissance de l'appareil : 20kw et nombre d'heures de travail : 23j*24heures pour une quantité de 479709kg	SICAM (fiche technique de l'appareil: puissance énergétique)	Idem1	0.02301	Electricité	Electricité TN [kWh]
	eau	L'eau de refroidissement représente 9% de la quantité d'eau destinée à la transformation de piment	SICAM	la consommation d'eau dans la phase de transformation est 0.017m3/kg	0.0014	Water	tap water, at user [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 2288)
Marquage	électricité	Puissance de l'appareil : 7.5kw et nombre d'heures de travail : 23j*24heures pour une quantité de 479709kg	SICAM (fiche technique de l'appareil: puissance énergétique)	Idem1	0.0086	électricité	Electricité TN [kWh]
Emballage	Electricité	Puissance de l'appareil : 44kw et nombre d'heures de travail : 23j*24heures pour une quantité de 479709kg	SICAM (fiche technique de l'appareil: puissance énergétique)	Idem1	0.05063	Electricité	Electricité TN [kWh]

	Emballage métallique	données relatives à l'emballage métallique (288040kg) correspondent a la totalité de la campagne (Harissa Conv & label) 1884984 kg		SICAM	La quantité d'emballage métallique devisée par la quantité totale de harissa	0.1528	Chromium	chromium steel 18/8, at plant [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 1072)
	Carton	données relatives à l'emballage carton (20569kg) correspondent a la totalité de la campagne (Harissa Conv & label) 1884984 kg		SICAM	La quantité d'emballage carton devisée par la quantité totale de harissa	0.0109	Cardboard & corrugated board	corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 1689)
	Plastique	données relatives à l'emballage plastique (13.4kg) correspondent a la totalité de la campagne (Harissa Conv & label) 1884984 kg		SICAM	La quantité d'emballage plastique devisée par la quantité totale de harissa	0.000007	monomers	packaging film, LDPE, at plant [kg] - RER (ecoinvent 2.2 : 1854)
Aseptique	Electricité	Puissance de l'appareil : 82.5kw et nombre d'heures de travail : 23j*24heures pour une quantité de 479709kg		SICAM (fiche technique de l'appareil: puissance énergétique)	Idem1	0.0943	Electricité	Electricité TN [kWh]
Gestion des déchets	Pépins et pulpes	Quantité déchet pépin et pulpes : 41269kg	Quantité déchet pépin et pulpes : 309000kg	SICAM	Quantité de déchets pépin et pulpes devisée par la quantité totale de harissa produite	0.3437	0.6441	Agrobased biowaste, at collection point [kg] - CH (ecoinvent 2.2 : 6173)
	Déchets métalliques	Quantité de déchets métalliques 1740.292kg		SICAM	Quantité de déchets métalliques devisée par la quantité totale de harissa (conv et pilote)	0.000923		Chemicals & plastic disposal, aluminium, 0% water, to sanitary landfill [kg] - CH (ecoinvent 2.2 : 2215)
	Eaux usées	Quantité des eaux usées : 5m3/heure		SICAM	5m3*23j*24heures pour une quantité de 479709kg de harissa	0.00575		Others (traitement des eaux usées) treatment, sewage, to wastewater treatment, class 5 [m3] - CH (ecoinvent 2.2 : 2279)

Tableau 14 : Mix tunisien

	Compositi on ⁹	Caractériser sur ecoinvent par
Gaz naturel, cycle combiné	0.502Kwh	electricity, natural gas, at combined cycle plant, best technology [kWh] - RER (ecoinvent 2.2 : 1375)
Eolien	0.07Kwh	electricity, at wind power plant [kWh] - RER (ecoinvent 2.2 : 2293)
Gaz naturel, turbine	0.121Kwh	electricity, natural gas at turbine, 10Mw [kWh]- GLO (ecoinvent2.2 : 1388)
Gaz naturel, centrale électrique	0.363Kwh	electricity, natural gas, at power plant [kWh]- IT (ecoinvent2.2 :
Hydroélectrique	0.04Kwh	electricity, hydropower, at run-of-river power plant [kWh]- RER (ecoinvent 2.2 : 985)
Photovoltaïque	0.03Kwh	electricity, production mix photovoltaic, at plant [kWh]- IT (ecoinvent 2.2 : 6891)
Fuel	0.01Kwh	Electricity, oil, at power plant [kWh]- UCTE (ecoinvent2.2 : 6047)

9.3 Compléments d'informations – Outils de l'ACV

9.3.1 Limites de « IMPACT 2002+ »

A l'instar des autres méthodes d'évaluation, l'une des limites majeures de « IMPACT 2002+ » réside au niveau de l'émission de métaux dans l'environnement. En effet, en raison des difficultés liées à la modélisation de la spéciation, de la biodisponibilité et de la bioconcentration des métaux, à court et à long terme, dans l'environnement, les facteurs de caractérisation (écotoxicité et toxicité humaine) utilisés dans Impact 2002 ne s'appliquent qu'aux métaux émis sous leurs formes dissoutes (formes ioniques).

⁹<http://www.dii-eumena.com/fr/country-focus/tunisia.html>

Tableau 15 : Catégories intermédiaires d'impacts et substances de référence.

Source	Catégories intermédiaires	Substances de référence
[a]	Toxicité humaine (cancérigène)	kg chlorure de vinyle éq dans l'air
[a]	Toxicité humaine (non cancérigène)	kg chlorure de vinyle éq dans l'
[a]	Effets respiratoires (inorganique)	kg PM _{2.5} éq dans l'air
[a]	Destruction de la couche d'ozone	kg CFC-11 éq dans l'air
[a]	Radiations ionisantes	Bq Carbone-14 éq dans l'air
[a]	Formations de photo-oxydants	kg éthylène éq dans l'air
[a]	Effets respiratoires (organique)	kg éthylène éq dans l'air
[a]	Écotoxicité aquatique	kg triéthylène glycol éq dans l'eau
[a]	Écotoxicité terrestre	kg triéthylène glycol éq dans l'eau
[a]	Acidification / eutrophisation terrestre	kg SO ₂ éq dans l'air
[a]	Acidification aquatique	kg SO ₂ éq dans l'air
[a]	Eutrophisation aquatique	kg PO ₄ ³⁻ éq dans l'eau
[a]	Occupation des sols	m ² terre arable éq
[a]	Changement climatique	kg CO ₂ éq dans l'air
[a]	Extraction de minerais	MJ d'énergie supplémentaire ou kg Fe éq (minerai)
[a]	Energie non renouvelable	MJ totaux d'énergie non renouvelable ou kg pétrole brut éq
[b]	Déchets banaux	kg de déchets

Tableau 16 : Facteurs et unités de dommages

Catégories intermédiaires	Facteurs de dommages	Unité de dommages	Catégories de dommages
Toxicité humaine (cancérigène)	2,80.10 ⁻⁶	[DALY / kg chlorure de vinyle]	Santé Humaine
Toxicité humaine (non cancérigène)	2,80.10 ⁻⁶	[DALY / kg chlorure de vinyle]	
Effets respiratoires inorganiques	7.10 ⁻⁴	[DALY / kg PM _{2.5}]	
Radiations ionisantes	2,10.10 ⁻¹⁰	[DALY / Bq Carbone-14]	
Destruction de la couche d'ozone	1,05.10 ⁻³	[DALY / kg CFC-11]	
Effets respiratoires organiques	2,13.10 ⁻⁶	[DALY / kg éthylène]	
Ecotoxicité aquatique	5,02.10 ⁻⁵	[PDF.m ² .an / kg triéthylène glycol]	Qualité des écosystèmes
Ecotoxicité terrestre	7,91.10 ⁻³	[PDF.m ² .an / kg triéthylène glycol]	
Acidification / eutrophisation terrestre	1,04	[PDF.m ² .an / kg SO ₂ éq dans l'air]	
Acidification aquatique	/	/	
Eutrophisation aquatique	/	/	
Occupation des sols	1,09	[PDF.m ² .an / m ² terre arable organique]	Changement climatique
Changement climatique	1	[kg CO ₂ / kg CO ₂]	
Extraction de minerai	1	[MJ primaire / MJ primaire] ou [MJ/ kg Fe éq]	Ressources
Energie non renouvelable	1	[MJ primaire / MJ surplus] ou [MJ/ kg pétrole brut]	
Déchets banaux	/	/	/