



2020

LE COMPROMIS ENVIRONNEMENTAL ENTRE EMBALLAGES ET PERTES ET GASPILLAGES ALIMENTAIRES





A propos d'X-food



X-Food est un think-tank créé en 2018 par des anciens et anciennes élèves de l'École Polytechnique venant d'une large diversité d'horizons professionnels : recherche agronomique, fonction publique, grands groupes privés, conseil, ONG, finance, organismes internationaux, startups.

Son objectif est d'apporter un éclairage scientifique non dogmatique sur les controverses liées aux grands enjeux de l'alimentation.

Contact

Bureau X-Food : xfood.secretariat@gmail.com

Auteurs

Maryam Bouihed
Adrien Delepelaire
Pierre Lacotte
Anne-Claire Asselin

Remerciements

Nous remercions celles et ceux qui nous ont accordé des entretiens riches en informations :

Margaux Denis - Responsable de concertations et de la communication, Conseil National de l'Alimentation

Clémence Bruttin - Cheffe de projet - réemploi et déchets sauvages, Citéo

Vincent Coissard - Sous-directeur déchets et économie circulaire, Ministère de la Transition Écologique et Solidaire

Shu Zhang - Co-fondatrice et CEO, Pandobac

Valérie Mérendet - Ingénieure qualité, CTIFL

Florence Berlier-Coulon - Responsable packaging, Savencia

Thomas Etien - Responsable développement du recyclage, Citéo

Hélène Cruypenninck - Experte en écoconception

Enfin, nous remercions Aurore Wermeille pour sa relecture approfondie.

Mentions légales

Ce rapport est partagé sous la licence Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0

Vous êtes autorisé à :

PARTAGER — Copier, distribuer et communiquer le matériel par tous moyens et sous tous formats

ADAPTER — Remixer, transformer et créer à partir du matériel

Selon les conditions suivantes :



ATTRIBUTION

Vous devez créditer l'Œuvre, intégrer un lien vers la licence et indiquer si des modifications ont été effectuées à l'Œuvre. Vous devez indiquer ces informations par tous les moyens raisonnables, sans toutefois suggérer que l'Offrant vous soutient ou soutient la façon dont vous avez utilisé son Œuvre.



PAS D'UTILISATION COMMERCIALE

Vous n'êtes pas autorisé à faire un usage commercial de cette Œuvre, tout ou partie du matériel la composant.



PARTAGE DANS LES MÊMES CONDITIONS

Dans le cas où vous effectuez un remix, que vous transformez, ou créez à partir du matériel composant l'Œuvre originale, vous devez diffuser l'Œuvre modifiée dans les mêmes conditions, c'est à dire avec la même licence avec laquelle l'Œuvre originale a été diffusée.



Abréviations

ACV	Analyse de Cycle de Vie
CTIFL	Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes
DDM	Date de Durabilité Minimale (anciennement DLUO ou Date Limite d'Utilisation Optimale)
DLC	Date Limite de Consommation
EF	Environmental Footprint
FAO	Food and Agriculture Organisation
FTP	Food to Packaging ratio
GES	Gaz à Effet de Serre
LT	Low Temperature
MAP	Modified Atmosphere Packaging - Emballage à atmosphère modifiée
MCI	Material Circularity Indicator [1]
ODD	Objectif du Développement Durable [2]
ONU	Organisation des Nations Unies

PGA	Pertes et Gaspillage Alimentaires
UE	Union Européenne
UQAM	Université du Québec à Montréal
WEI	Whole Eco-Indicator [3]

Résines plastiques :

HDPE	High Density Polyethylene
LDPE	Low Density Polyethylene
OPP	Oriented Polypropylene
PET	Polyethylene terephthalate
PLA	Acide polylactique
PP	Polypropylène
PS	Polystyrène
PSE	Polystyrène expansé
PVC	Polyvinyl Chloride





Glossaire

Analyse de Cycle de Vie (ACV) : L'ACV est une méthodologie servant à évaluer l'impact environnemental associé à un produit en quantifiant l'énergie et les matériaux utilisés ainsi que les émissions et les déchets produits au cours de son cycle de vie.

Circularité : La circularité mesure à quel point un produit s'intègre dans l'économie circulaire. L'économie circulaire est définie par la fondation Ellen MacArthur comme "par nature restaurative et régénérative, tendant à préserver la valeur et la qualité intrinsèque des produits, des composants et des matériaux à chaque étape de leur utilisation". (Fondation Ellen MacArthur). L'économie circulaire fonctionne en boucle et vise à réduire au maximum la génération de déchets. Elle vise la production de biens et de services tout en limitant la consommation de matières premières et d'énergie non renouvelable.

Déchet irrécupérable : Déchet qui ne peut être réutilisé, recyclé ou revalorisé. Il est enfoui dans une décharge ou incinéré.

Durée de vie : Laps de temps s'écoulant entre le procédé d'emballage du produit et la séparation du produit et de son emballage.

Eco-conception : Effort de minimisation de l'impact environnemental d'un produit.

Emballage : D'après le Code de l'Environnement, un emballage est défini comme " tout objet, quelle que soit la nature des matériaux dont il est constitué, destiné à contenir et à protéger des marchandises, à permettre leur manutention et leur acheminement du producteur au consommateur ou à l'utilisateur, et à assurer leur présentation. Tous les articles «à jeter» utilisés aux mêmes fins doivent être considérés comme des emballages."

Impact sur le changement climatique : Comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre (GES) émis lors du cycle de vie d'un produit. Il est exprimé en kg de CO2 équivalent, ce qui signifie que l'impact des autres GES sur le climat est rapporté à celui d'un kg de CO2.

Matériau vierge : Matériau n'ayant jamais été utilisé auparavant.

Le compromis environnemental entre emballages et pertes et gaspillages alimentaires

Nombre d'utilisations : Si l'emballage est consigné, il s'agit du nombre de cycles pendant lequel il est effectivement utilisé.

Pertes et gaspillage alimentaires : « Toute nourriture destinée à la consommation humaine qui, à un endroit de la chaîne alimentaire est perdue, jetée, dégradée, constitue le gaspillage alimentaire » (loi du 11 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage).

Recyclage : Le recyclage consiste à traiter un déchet afin d'en obtenir un matériau utilisable dans un nouveau produit. Cela implique une transformation matérielle. Dans ce rapport, le terme "matériau recyclable" désigne un matériau pour lequel il existe une filière de recyclage en France. Le terme "taux de recyclage" désigne le taux de recyclage effectif observé en France.

Réutilisation : La réutilisation consiste à réintroduire un produit dans un nouveau cycle d'utilisation sans y apporter de transformation matérielle. Le produit est éventuellement lavé.

Système emballage/PGA : Dans la suite du rapport, ce terme désigne l'emballage et les pertes et gaspillages alimentaires associés.

Sommaire

07 Résumé exécutif

10 1. Introduction

- 11 1.1. Les PGA, un enjeu écologique, social et économique majeur
- 12 1.2. Les efforts de réduction de l'emballage
- 14 1.3. La nécessité de déterminer un compromis environnemental entre emballage et PGA

15 2. L'emballage alimentaire

- 16 2.1. Définition et fonctionnalités de l'emballage
- 18 2.2. Matériaux et fin de vie l'emballage
- 23 2.3. Les PGAs liés à l'emballage aux différentes étapes de la chaîne de valeur
- 24 2.4. Les emballages comme vecteurs de réduction des PGAs

27 3. Comment déterminer le compromis environnemental entre emballage et PGA : indicateurs et calculateur d'impact

- 28 3.1. Introduction
- 28 3.2. Choix des indicateurs permettant d'évaluer le compromis
- 30 3.3. Indicateur ACV : le WEI
- 31 3.4. Indicateur de circularité : le MCI
- 32 3.5. Calculateur

34 4. Etudes de cas : les fruits et légumes

- 35 4.1. Choix de la filière
- 37 4.2. Objectif
- 38 4.3. **Etude 1** : Tomate réfrigérée et tomate sous atmosphère modifiée
- 41 4.4. **Etude 2** : Mini-concombre en vrac et en barquette filmée
- 44 4.5. **Etude 3** : Endive en vrac et préemballée avec ou sans film protecteur contre l'exposition lumineuse
- 47 4.6. Conclusion des études de cas

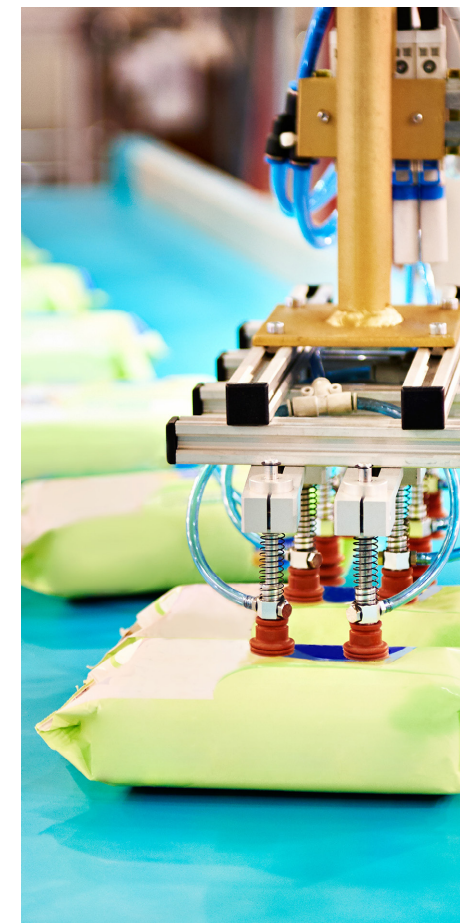
48 5. Discussion et perspectives

- 49 5.1. Discussion
- 49 5.2. Limites
- 50 5.3. Pistes d'amélioration du calculateur
- 51 5.4. Questions pour la recherche et les décideurs

53 6. Conclusion

55 7. Annexes

61 8. Références





Résumé exécutif

L'objectif de ce rapport est d'évaluer le compromis environnemental entre emballage et gaspillage alimentaire. Il s'attache en particulier à l'emballage primaire, dont la fonction est de protéger le produit lors des étapes **de transport, d'entreposage, de distribution et de consommation.**

Les deux principaux enseignements sont :

- La nécessité de **considérer le couple produit-emballage**, et non l'emballage seulement. Jusqu'à récemment, de nombreux projets d'écoconception ont porté sur les emballages indépendamment du produit emballé. Nous sommes convaincus de la nécessité d'une approche couplée emballage-produit. Elle permet d'appréhender le « **juste emballage** » : ni trop, ni trop peu; le **sous-emballage** (trop peu) conduit à plus de gaspillage alimentaire, et le **suremballage** (trop) à du gaspillage de matière. En considérant le couple, on retrouve une des fonctions principales de l'emballage qui est de protéger le produit qu'il emballe, et donc de diminuer les pertes et gaspillage alimentaires. Bien évidemment, l'évaluation du « juste emballage » dépend du produit emballé, des modalités de transport et des circuits de distribution. Dans des circuits courts et pour des produits peu fragiles, le vrac peut être une très bonne solution.

- La nécessité de prendre en compte les filières existantes de recyclage des emballages. **Ce n'est pas parce qu'un emballage est « recyclable » qu'il est effectivement recyclé.** Le rapport décrit les efforts des professionnels, en particulier Citéo, pour développer des filières fiables et rentables, et ce, depuis la collecte chez les particuliers jusqu'à la fourniture du matériau recyclé. Le rapport fournit également les taux de recyclage des principaux matériaux d'emballage, et souligne que ces taux sont, à l'heure actuelle, loin de 100%. Nous attirons l'attention des consommateurs et des politiques sur la possible confusion, trompeuse, entre les termes «recyclable» et «effectivement recyclé».

En France, les modalités de distribution peuvent être diverses : hypermarchés, drive, marchés, épicerie spécialisées, direct producteur. Elles sont en constante évolution. De la même façon, les consommateurs peuvent avoir des comportements différents, qu'il s'agisse du type d'aliments consommés, de leur conditionnement, de la durée de stockage et de conservation, des modalités de préparation...

Du fait de la diversité des situations de distribution et de consommation, nous nous sommes fixés comme objectif de proposer des indicateurs environnementaux, scientifiquement étayés, permettant d'évaluer différentes combinaisons 'emballage-produit'.

- Le premier, le WEI ou « Whole Eco-Indicator » permet de quantifier par type d'emballage, l'impact environnemental combiné de l'emballage et des pertes alimentaires associées ;
- Le second, le MCI ou « Material Circularity Indicator », développé par la fondation Ellen McArthur, permet de mesurer la circularité d'un emballage, en considérant les parts de matière vierge et recyclée utilisées en entrée pour la fabrication de l'emballage, et les taux de recyclage des emballages en sortie.

Ces deux indicateurs évaluent deux aspects complémentaires de l'emballage, qui permettent d'éclairer la prise de décision. Lorsque ces deux indicateurs orientent vers des choix contradictoires, l'arbitrage est laissé au décideur.

Nous appliquons ces indicateurs à trois cas d'étude dans le secteur des fruits et légumes. Nous montrons que, dans certaines hypothèses, le WEI d'un produit emballé peut être plus favorable que le WEI du produit en vrac, et qu'il peut arriver de devoir arbitrer entre un produit plus emballé au WEI plus favorable et un produit moins emballé, plus circulaire, mais au WEI moins favorable. Les cas d'étude présentés dans le rapport sont issus de la littérature scientifique,

avec une vertu illustrative ; le contexte géographique et temporel de ces cas sont spécifiques.

Afin de permettre de répondre à toutes les combinaisons « produit-emballage », **nous mettons en libre accès un calculateur** permettant de quantifier ces deux indicateurs dans chaque cas spécifique. Cet outil permet d'optimiser le couple produit-emballage dans une démarche d'écoconception. Il est opérationnel pour la filière fruits et légumes. Il est généralisable à tous les produits agroalimentaires et leurs emballages.

Nous soulignons les **limites de la connaissance scientifique** sur le sujet des emballages. Cela concerne en particulier les plastiques. Il n'existe pas aujourd'hui de méthode scientifique reconnue pour évaluer l'impact des fuites de plastiques. X-Food reste en veille sur l'évolution de ces connaissances qui devraient être plus formalisées à l'horizon 2025, sous l'impulsion d'un effort mené conjointement par la Fondation Ellen McArthur et ONU Environnement. Une autre limite est liée à la **connaissance des comportements** des distributeurs et consommateurs, variables et évolutifs : durée et modes de stockage, manipulations.

Nous espérons que le calculateur en libre accès, paramétrable, permettra d'accompagner pertinemment les entreprises de la transformation et de la distribution alimentaire en fonction de leurs données propres et de l'évolution de la demande et des comportements des consommateurs, dans une **dynamique en constante évolution**.



“ Toute nourriture destinée à la consommation humaine qui, à un endroit de la chaîne alimentaire est perdue, jetée, dégradée, constitue le gaspillage alimentaire. ”

DÉFINITION FRANÇAISE DU GASPILLAGE ALIMENTAIRE PAR LA LOI DU
11 FÉVRIER 2020 RELATIVE À LA LUTTE CONTRE LE GASPILLAGE.



1. Introduction

- 1.1.**
Les PGA, un enjeu écologique, social et économique majeur
- 1.2.**
Les efforts de réduction de l'emballage
- 1.3.**
La nécessité de déterminer un compromis environnemental entre emballage et PGA



1.1. Les pertes et gaspillage alimentaires, un enjeu écologique, social et économique majeur

Les aliments initialement destinés à la consommation humaine qui ne sont finalement pas utilisés dans ce but sont considérés comme des “pertes et gaspillage alimentaires” (PGA). Il n’y a cependant pas de consensus sur la définition de perte et celle de gaspillage. Selon la FAO [4], la différence entre les pertes et le gaspillage alimentaires est due à l’étape de la chaîne où la nourriture est perdue. Les pertes ont lieu à la production, à la transformation et à la distribution tandis que le gaspillage a lieu aux étapes de la vente et de la consommation. D’après l’ADEME, il s’agit plutôt d’une différence de perception. Les pertes renvoient à une valeur économique perdue, elles sont subies, tandis que le gaspillage sous-entend une action ou un manque d’action moralement répréhensible [5].

La Loi du 11 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage a confirmé la définition française du gaspillage alimentaire, que nous adopterons dans la suite de ce rapport pour parler des PGA : « *Toute **nourriture destinée à la consommation humaine** qui, à un endroit de la chaîne alimentaire est **perdue, jetée, dégradée, constitue le gaspillage alimentaire** ».*

Dans le monde, environ un tiers de la nourriture produite est perdue ou gaspillée [4]. Des disparités importantes existent entre les continents. Les continents où les PGA sont le plus importants au niveau du consommateur sont l’Amérique du Nord et l’Europe.

L’agriculture et l’élevage sont responsables de 23% des émissions de GES mondiales [6]. Les PGA sont donc responsables à eux seuls de 7,7% des émissions, ce qui équivaut aux émissions totales de l’UE. Cela correspond également à près d’un tiers des émissions mondiales dues au transport en 2017 [7].

L’agriculture et l’élevage n’ont pas uniquement un impact majeur sur le changement climatique mais également sur la biodiversité, les écosystèmes et la consommation d’eau (70% de l’eau consommée est destinée à l’agriculture) [8]. On comprend donc l’importance de réduire la part des PGA afin de minimiser ces impacts environnementaux importants. L’étude du ‘EAT Lancet’ indique, parmi les mesures nécessaires pour nourrir la population humaine dans le respect des limites planétaires, la réduction des PGA de 50% à l’horizon 2050.

En parallèle de l’impact environnemental, les PGA ont également des conséquences économiques. D’après l’ONU [9], les PGA entraînent une perte économique de 940 milliards de dollars par an. C’est plus que le PIB des Pays Bas en 2018 [10].

Afin de faire face à ces enjeux écologiques, économiques et sociaux, l'ONU fait de la réduction des PGA l'une des cibles des ODD. Il s'agit de la cible 12.3 [9]: "D'ici à 2030, réduire de moitié à l'échelle mondiale le volume de déchets alimentaires par habitant au niveau de la distribution comme de la consommation et réduire les pertes de produits alimentaires tout au long des chaînes de production et d'approvisionnement, y compris les pertes après récolte."

1.2. Les efforts de réduction de l'emballage

En parallèle de la réduction des PGA, un autre enjeu de la filière agro-alimentaire est la réduction des emballages, notamment ceux en plastique. Une des principales raisons de cet effort de réduction est la pollution due aux fuites de plastique dans l'environnement (Encadré 1).

La législation européenne évolue dans ce sens. Le bannissement d'une liste d'objets en plastique à usage unique d'ici 2021 a été votée en 2019, et les États membres doivent réduire leur consommation d'emballages plastiques à usage unique de 25 % d'ici 2025 [11]. Le contexte législatif français a été précurseur avec l'interdiction des sacs plastiques à usage unique, au profit de sacs en matières biosourcées et compostables dès 2016 [12] (Encadré 2). La loi anti-gaspillage économie circulaire dite loi AGECE, votée en février 2020 [13] poursuit cet effort avec la fin de la mise sur le marché d'emballages en plastique à usage unique d'ici à 2040 (article 7).

Cette loi prévoit également l'interdiction des matières plastiques lors de la vente des fruits et légumes frais non transformés en janvier 2021 (article 77); les fruits et légumes présentant un risque de détérioration lors de leur vente en vrac, une liste de produits exemptés sera cependant fixée par décret.

Encadré 1 : Les fuites de plastique

Les fuites de plastiques dans l'environnement sont un problème mondial majeur. La plupart de ces déchets finissent leur course dans l'océan : chaque année, 10 millions de tonnes de plastique y sont ainsi déversées, ce qui représente 40% de la production mondiale de déchets plastiques [14]. 11% de ces fuites sont des microplastiques primaires, ils mesurent moins de 5mm au moment de la fuite. Par ailleurs, les macroplastiques rejetés se dégradent progressivement et relâchent également des microplastiques, appelés secondaires. Si rien n'est fait d'ici 2040, la production de plastique est vouée à doubler, les fuites dans l'océan à tripler et le stock océanique actuel de plastiques, à quadrupler [14]. Les disparités entre différentes régions du monde sont importantes. Des efforts sont menés afin de mieux quantifier ces disparités et de mieux déterminer les sources de fuites [15].

Le premier impact visible est celui sur la biodiversité marine. Les macroplastiques causent étouffements, blessures et piégeages. Les dangers sont nombreux pour les espèces qui vivent dans un milieu pollué par le plastique. De plus, la concentration élevée de microplastiques dans les espèces marines consommées par l'homme peuvent nuire à sa santé [18]. Les fuites de plastiques polluent également les écosystèmes terrestres, mais ceux-ci sont moins étudiés que les écosystèmes marins [16]. Des études récentes montrent par exemple que les fragments plastiques peuvent bouleverser l'équilibre physique, chimique et biologique des sols [17].

...

••• A ce jour, il n'existe aucune méthode d'évaluation des impacts des fuites de plastique sur la biodiversité à l'échelle des populations et communautés animales. Les méthodes actuelles de mesure d'empreinte environnementale ou 'ACV' (Encadré 5) ne les prennent pas en compte. Des développements sont en cours, avec le projet MariLCA [19], qui a pour but de quantifier les impacts des fuites plastiques sur les écosystèmes marins d'ici 2025.



Encadré 2 : Biosourcé, biodégradable et compostable

Il ne faut pas confondre biosourcé, biodégradable et compostable.

Le terme biosourcé se réfère au matériau source utilisé pour fabriquer l'emballage. Un matériau biosourcé est issue de la biosphère animale ou végétale.

Les deux autres termes se rapportent à la fin de vie de l'emballage. Un emballage biodégradable est décomposable biologiquement, par exemple par des microorganismes. Pour être compostable, un emballage doit, en plus d'être biodégradable, répondre à trois critères supplémentaires : sa teneur en certains éléments chimiques, sa capacité de désintégration (détérioration en petits fragments) et ses limites d'éco-toxicité. Certains matériaux sont donc biodégradables sans être compostables. Il faut ensuite distinguer compostage industriel et domestique. Le compostage industriel est régi par la norme européenne NF EN 13432 et le compostage domestique par la norme française NF T 51 - 800. Le compostage industriel nécessite des conditions particulières (broyage, température élevée). Certains matériaux sont donc compostables industriellement mais pas domestiquement, comme le PLA.

En France, il n'existe pas de collecte systématisée des bio-déchets, le compostage industriel est donc très marginal. De plus, un plastique compostable mal trié peut polluer le processus de recyclage mécanique ou chimique. C'est pourquoi Citéo, société nationale en charge de l'organisation et du suivi des filières de recyclage, n'encourage guère les industriels à passer au compostable. Elle juge en effet qu'ajouter une consigne de tri à ses consignes actuelles serait contre productif.

1.3. La nécessité de déterminer un compromis environnemental entre emballage et PGA

De nombreuses initiatives naissent en faveur de la minimisation des PGA. En parallèle, la réduction des emballages est engagée dans plusieurs pays. Emballage et PGA sont cependant imbriqués. Par exemple, une étude autrichienne [20], qui a collecté des

données dans des supermarchés, a relevé la variation du taux de PGA d'un faux filet de 12% (emballage en barquette sous atmosphère modifiée MAP) à 3% (emballage sous vide), comme indiqué en Figure 1.

Réduire l'emballage peut donc augmenter les PGA. Par ailleurs, réduire les PGA peut nécessiter de développer des emballages plus complexes, c'est-à-dire moins recyclables. PGA et emballage sont donc en confrontation



Figure 1 : deux types d'emballage étudiés par Denkstatt : l'emballage sous vide à gauche représente 3% de PGA, quand celui de droite (barquette et atmosphère modifiée MAP) représente 12% de PGA.

Source photographie Denkstatt [20].

et il s'agit de trouver le meilleur compromis entre ces deux dimensions.

Pour cela, il faut pouvoir quantifier leurs impacts et mesurer leur interaction. Dans ce rapport, nous choisissons de nous concentrer sur les aspects environnementaux, centraux dans ce compromis.

- En deuxième partie, nous explicitons les interactions entre emballages et PGA, en détaillant les propriétés et fonctionnalités de l'emballage ;
- En troisième partie, nous présentons les indicateurs permettant de formaliser la problématique, ainsi que le calculateur correspondant ;
- En quatrième partie, nous appliquons les indicateurs à trois études de cas de la filière Fruits & Légumes ;
- Enfin, nous explorons de futures pistes d'amélioration et d'approfondissement.

De nombreuses initiatives naissent en faveur de la minimisation des pertes et gaspillages alimentaires. En parallèle, la réduction des emballages est engagée.

Emballage et pertes et gaspillages alimentaires sont imbriqués.

2.

L'emballage alimentaire

- 2.1.
Définition et fonctionnalités de l'emballage
- 2.2.
Matériaux et fin de vie l'emballage
- 2.3.
Les PGAs liés à l'emballage aux différentes
étapes de la chaîne de valeur
- 2.4.
Les emballages comme vecteurs de
réduction des PGAs

2.1. Définition et fonctionnalités de l'emballage

D'après le Code de l'Environnement [21], un emballage est défini comme " tout objet, quelle que soit la nature des matériaux dont il est constitué, destiné à contenir et à protéger des marchandises, à permettre leur manutention et leur acheminement du produc-

teur au consommateur ou à l'utilisateur, et à assurer leur présentation. Tous les articles «à jeter» utilisés aux mêmes fins doivent être considérés comme des emballages."

On distingue trois types d'emballages (Figure 2). L'emballage primaire est le contenant en contact direct avec le produit. L'emballage secondaire regroupe plusieurs emballages primaires et correspond à une unité de

vente. Enfin, l'emballage tertiaire permet de regrouper un grand nombre d'emballages secondaires pour permettre le transport. L'emballage est intimement lié au produit emballé. Il doit permettre le transit de celui-ci par toutes les étapes de la chaîne de valeur (Figure 3) sans dégradation¹.

L'emballage remplit quatre fonctionnalités principales : contenir, protéger, communiquer et faciliter l'usage du produit (Figure 4). Par exemple, à l'étape de la distribution, l'emballage informe le consommateur au sujet du produit qu'il contient ; après l'achat, l'emballage sert à faciliter l'utilisation du produit.

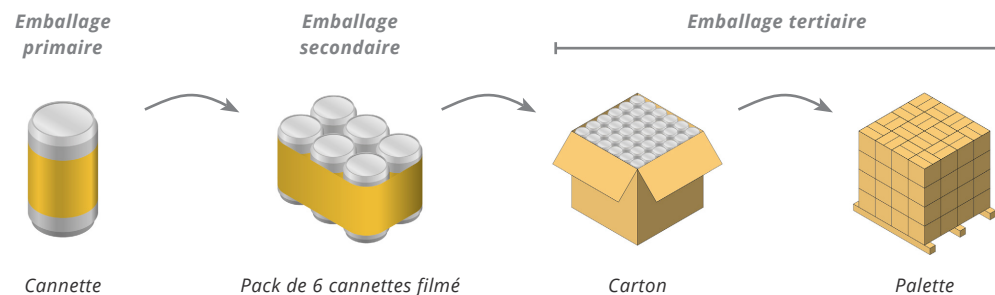


Figure 2 : Les différents niveaux d'emballage : primaire, secondaire et tertiaire. Exemple d'une boisson gazeuse

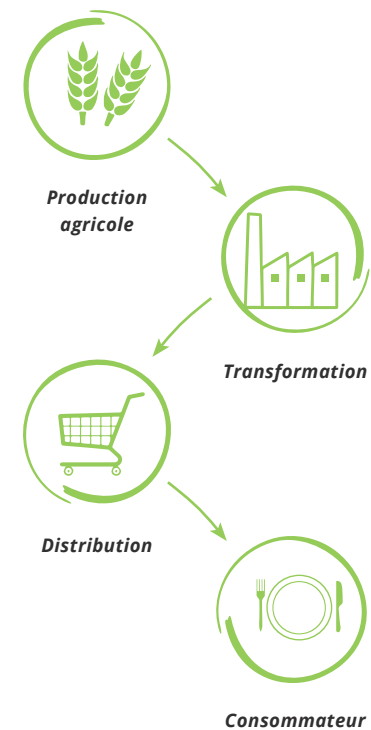


Figure 3 : Chaîne de valeur alimentaire

¹ Notons que l'emballage n'est pas nécessairement le même sur toute la chaîne de valeur. Les produits récoltés à la production sont parfois transportés dans un premier emballage pour être ensuite transformés et/ou préparés pour la vente au consommateur avec un autre.

“ L'emballage remplit quatre fonctionnalités principales : contenir, protéger, communiquer et faciliter l'usage du produit. ”

PAR EXEMPLE, À L'ÉTAPE DE LA DISTRIBUTION, L'EMBALLAGE INFORME LE CONSOMMATEUR AU SUJET DU PRODUIT QU'IL CONTIENT ; APRÈS L'ACHAT, L'EMBALLAGE SERT À FACILITER L'UTILISATION DU PRODUIT.





Figure 4 : Multifonctionnalité de l'emballage alimentaire. Il doit contenir, communiquer, protéger et faciliter l'usage du produit. Adapté de Wohner et al [22]

2.2. Matériaux et fin de vie l'emballage

Les principaux matériaux utilisés dans la confection des emballages alimentaires sont résumés dans le Tableau 1.

Une fois que le produit contenu dans l'emballage est consommé, il faut gérer la fin de vie de ce dernier. Les différentes fins de vie existantes pour un emballage sont : la réutilisation (Encadré 4), le recyclage mécanique ou chimique, le compostage, l'incinération et l'enfouissement. Le cas des plastiques est développé dans l'Encadré 3.

Le recyclage mécanique et chimique des emballages est un enjeu important de la gestion des ressources (Encadré 3). Il permet de minimiser l'extraction de nouvelles matières premières ainsi que l'enfouissement et l'incinération. Le recyclage nécessite la mise en place de filières de collecte, de tri et de valorisation. C'est le rôle de Citéo

en France [24], organisme privé à but non lucratif, qui fonctionne grâce au principe de la Responsabilité Élargie du Producteur [12]. Les entreprises qui utilisent des emballages doivent les déclarer à Citéo et payer en conséquence afin de financer la fin de vie de leurs produits.

Il ne faut pas confondre recyclabilité et taux de recyclage. La recyclabilité d'un produit est une propriété intrinsèque, un produit est recyclable ou ne l'est pas. Théoriquement, tout produit est recyclable mais il n'existe pas nécessairement de procédé au point, de filière de recyclage ou de débouché pour le matériau recyclé. Ainsi, on choisit dans ce rapport de qualifier un matériau de recyclable s'il existe une filière en France ainsi que des débouchés. Le taux de recyclage, quant à lui, se rapporte au taux effectif de recyclage. Par exemple, en France en 2019, 48% de l'aluminium a été recyclé alors que, théoriquement, il est recyclable à 100% [23]. En 2019, le gouvernement a publié

Les différentes fins de vie existantes pour un emballage sont : la réutilisation, le recyclage mécanique ou chimique, le compostage, l'incinération et l'enfouissement.

Il ne faut pas confondre recyclabilité et taux de recyclage.

Théoriquement, tout produit est recyclable mais il n'existe pas nécessairement de procédé ou de débouché pour le matériau.

De même, il ne faut pas confondre tri et recyclage.

la Feuille de route économie circulaire [25] qui fixe l'objectif de recycler 100 % de plastiques recyclables d'ici 2025.

De même, il ne faut pas confondre tri et recyclage. Ce n'est pas parce qu'un emballage est placé dans la poubelle de tri (dite "poubelle jaune") qu'il va être recyclé. En effet, Citéo déploie actuelle-

ment "l'extension des consignes de tri", simplifiant la vie des particuliers : dans les communes concernées, le particulier peut mettre tous ses emballages (recyclables ou non) dans la poubelle jaune. Cela ne signifie pas que tous ses emballages seront recyclés car il n'existe pas nécessairement de filière adaptée. Cela signifie simplement que le tri est déplacé en aval

de la chaîne et qu'il n'est plus de la responsabilité du particulier. Ces modalités sont appliquées actuellement à la moitié des citoyens et citoyennes français selon leur commune de résidence.

Tableau 1 : Principaux matériaux utilisés pour l'emballage alimentaire, exemples d'utilisation, recyclabilité et taux de recyclage effectif en France en 2019 [23].

Type de matériau	Matériau	Exemples d'utilisation	Recyclabilité et réutilisation	Taux de recyclage en France en 2019 (Citéo)	
Métal	Acier	Conserves	Filière de recyclage existante en France	100%	
	Aluminium	Canettes		48%	
Matériau composite	Exemple : Carton, aluminium, PET	Briques de lait		57%	
Verre	Verre	Bouteilles, bocaux		85%	
	Papier	Sachets		57%	
	Carton ondulé	Boîtes en carton		70%	
Papier carton	Carton plat	Barquettes		70%	
	PET	Bouteilles d'eau		Pas de filière de recyclage en France	61% pour les bouteilles et flacons, 5% pour le reste
	HDPE	Bouteilles de lait			
PP et OPP	Barquettes, gobelets, bouchons				
LDPE	Films, récipients souples				
PVC	Film étirable (dit cellophane), marquage publicitaire				
PS et PSE	Pots de yaourt, boîtes pour le poisson				
PLA	Sacs fins, barquettes	Non recyclable, compostable industriellement			
Bois	Bois	Palettes, cagettes	Réutilisable, mais souvent utilisé qu'une fois (à cause de manque de standardisation et de collecte)		



Encadré 3 : Provenance et fin de vie des plastiques

En 2012, dans le monde, 99,6 % des emballages plastiques sont pétro-sourcés et seulement 0,4 % sont biosourcés, c'est-à-dire issus totalement ou en partie de matière végétale ou animale [26].

Concernant leur fin de vie, les plastiques se divisent en deux catégories : ceux qui sont recyclables (Encadré 2) et ceux qui ne le sont pas. Le recyclage nécessite une collecte, un tri et un traitement permettant de récupérer la matière et de l'utiliser dans un nouveau cycle ; il peut être mécanique, chimique ou biologique. Les plastiques non recyclables sont quant à eux voués à l'incinération ou à l'enfouissement. Il est possible d'en obtenir une valorisation énergétique, c'est-à-dire de récupérer la chaleur libérée lors de l'incinération. Les différentes sources de matière plastiques et les fins de vie possibles sont récapitulées en Figure 5.

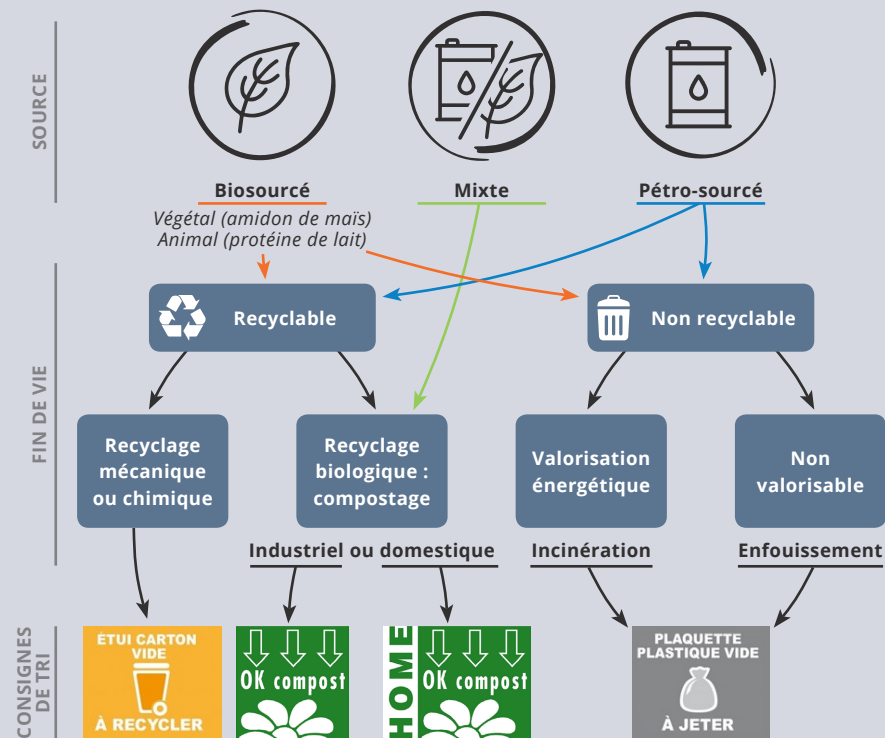


Figure 5 : Récapitulatif des différentes sources de matériau plastique (biosourcé, pétro-sourcé et mixte), des fins de vie possibles (recyclage mécanique, chimique, biologique, valorisation énergétique et enfouissement) et des consignes de tri correspondantes.

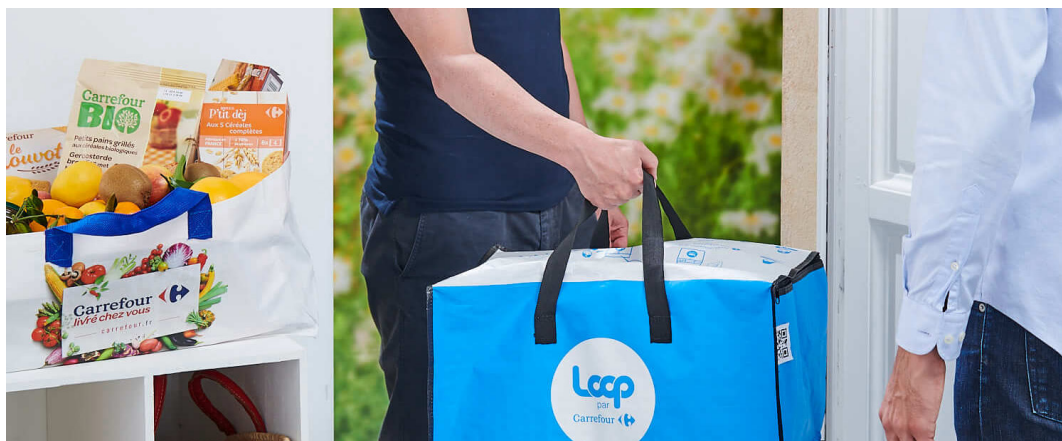
Encadré 4a : Innovations en matière de consigne, Pandobac

Pandobac [27] a été créé en 2019 en réponse à la multitude d'emballages secondaires jetables utilisés lors de l'approvisionnement en denrées alimentaires des grossistes et des restaurateurs. La société emploie 11 personnes. Elle propose une solution de consigne grâce à des bacs réutilisables en plastique. Elle assure la location, le suivi et le lavage des bacs. Ces bacs peuvent remplacer les caquettes en bois, les caquettes en carton et les bacs en polystyrène. Une ACV a montré que l'impact était positif après dix à vingt utilisations, en alternative au polystyrène et au carton. La durée de vie des bacs est au moins dix fois supérieure. Pandobac souhaite élargir son expertise à la grande distribution.

Ces informations sont issues d'un entretien avec Shu Zhang, la fondatrice de Pandobac.

Source photographie Pandobac [27].





Encadré 4b : Innovations en matière de consigne, Loop

La plateforme d'e-commerce Loop a été lancée à Davos le 24 janvier 2019, lors du Forum Économique Mondial, et son partenaire français est Carrefour [28]. En partenariat avec de nombreuses marques, cette plateforme propose des emballages réutilisables pour des produits existants. Grâce à un sac spécifique, les consommateurs sont livrés et peuvent renvoyer leurs emballages vides afin d'être remboursés de leur valeur. La plateforme est actuellement en phase pilote en France et ne livre que dans des zones géographiques restreintes. Le projet est plus avancé en Grande Bretagne où le partenaire, Tesco, livre à toutes les adresses [29].

Source photographies Loop [28].



2.3. Les PGA liées à l'emballage aux différentes étapes de la chaîne de valeur

Comme vu précédemment, l'emballage joue un rôle de protection tout au long de la chaîne de valeur. Paradoxalement, il peut être directement responsable de PGA, par exemple s'il

est difficile à vider entièrement ou s'il n'est pas suffisamment solide. Indirectement, l'absence d'emballage peut aussi causer des PGA. Par exemple, un concombre emballé est en moyenne deux fois moins gâché qu'un concombre en vrac [20].

Les causes des PGA directs et indirects liés à l'emballage sont récapitulées dans le Tableau 2.

Etapes de la chaîne		Part du gaspillage (source : FUSIONS)	Causes des PGA liées à l'emballage	Source
Approvisionnement	Production	11%	Contaminants	Wohner et al. 2019
			Rebords pointus et coupants	
			Sur-empilement	
	Transformation et emballage	19%	Dysfonctionnement au remplissage	
			Dysfonctionnement à la fermeture	
			Changement d'emballage lié au marketing	
	Distribution et vente	5%	Pas assez de protection mécanique	
			Difficile à empiler	
			Dommage des codes-barres	
Consommation	Restauration	12%	DLC ou DDM dépassée	Wikström et al. 2019
	Foyers	53%	Restes dans les assiettes	
			DLC ou DDM dépassée	
			Perte de qualité	
			Fuite	
			Accident, déversement	
Nourriture jetée dans son emballage				
Restes cuisinés				

Ce tableau résume également la répartition du gaspillage aux différentes étapes de la chaîne selon les données européennes Fusions [30]. Ces données incluent les pertes non comestibles comme les épluchures.

- A la production, les dommages physiques et les contaminations sont les risques majeurs. Lors de la récolte, des caisses aux bords tranchants peuvent par exemple causer des dommages. Des caisses mal nettoyées peuvent quant à elles causer des contaminations.
- A la transformation, ce sont surtout les dysfonctionnements liés au remplissage et à la fermeture des emballages qui causent les PGA. Une autre cause est un changement d'emballage lié au marketing car les produits emballés avant ce changement sont souvent jetés.

L'emballage joue un rôle de protection tout au long de la chaîne de valeur.

Paradoxalement, il peut être directement responsable de pertes et gaspillages alimentaires.

Tableau 2 : Causes des PGA liées à l'emballage aux différentes étapes de la chaîne de valeur. D'après [22], [30], [31]



- C'est l'étape de la distribution et de la revente qui entraîne le moins de PGA (en UE, 5% du total) [30]. Les principales causes liées à l'emballage sont les dommages physiques (dus notamment à une difficulté d'empilement) et le dépassement des dates limites, DLC et DDM (la première est une date limite sanitaire et la seconde indique une dégradation de la qualité du produit bien qu'il reste consommable).
- La restauration entraîne des PGA indirects à cause des restes dans les assiettes. Dans la mesure où l'utilisation de "doggy bags" pourraient les limiter, ils sont liés à l'emballage. Chez les particuliers, les PGA liés à l'emballage peuvent être causés par de nombreux facteurs : dépassement des dates, fuite, accident, non-respect des dates limites ou encore restes cuisinés. Ces derniers ne sont pas nécessairement liés à l'emballage mais peuvent l'être, par exemple si aucun dosage n'est indiqué sur l'étiquette.

2.4. Les emballages comme vecteur de réduction des PGA

Cette partie a pour but de présenter des solutions possibles aux causes de PGA liés à l'emballage évoquées précédemment.

APPROVISIONNEMENT : TRANSFORMATION, DISTRIBUTION ET VENTE

Une réponse possible aux dommages physiques est une meilleure protection passant, par exemple, par une standardisation des plans de palettisation permettant d'empiler des emballages secondaires sans dommage. Cependant, cela peut être difficile à mettre en place lorsque des petites quantités sont distribuées aux points de vente. En effet, des produits très différents peuvent être regroupés sur la même palette malgré des besoins de protection et des emballages différents.

Une prévision en amont des changements d'emballage liés au marketing peut également permettre d'écouler les stocks.

A la vente, un allongement des dates limites peut aussi permettre de diminuer les PGA. Ce défi doit prendre en compte des données sanitaires, économiques et commerciales.

CONSOMMATION : RESTAURATION ET FOYERS

Concernant la restauration, le principe de doggy bags (ou Gourmet Bags en France) peut être généralisé afin de ne pas jeter la nourriture qui reste dans les assiettes. La loi française a évolué dans ce sens : la mise à disposition de contenants réutilisables ou recyclables par les établissements de restauration afin de permettre à leurs clients d'emporter leurs restes sera obligatoire à partir de janvier 2021 [32]. Cependant l'initiative reste celle du client et il existe encore un

frein culturel qui nécessiterait d'être levé grâce à une meilleure sensibilisation du consommateur [33], [34]. Cette pratique est très répandue aux Etats-Unis, où elle est née.

Chez les particuliers, il a été observé que les PGA liés à l'emballage représentent environ un quart du gaspillage des ménages [22], qui lui-même représente plus de la moitié du gaspillage total. Il s'agit donc d'un levier d'action important. Différentes propositions de solutions sont résumées dans le tableau ci-dessous.

- Les dates limites (DLC et DDM) sont souvent mal comprises par le consommateur et peu lisibles. Des informations plus claires pourraient empêcher de jeter de la nourriture encore consommable.
- Un allongement de ces dates grâce à des technologies d'amélioration de la conservation peut également s'avérer utile. Des informations sur les conditions de conservation préconisées pour le produit fermé et ouvert peuvent aussi aider le consommateur à préserver plus longtemps ses produits.

- Par ailleurs, l'emballage doit empêcher les fuites, déversements et accidents. Pour cela, il existe de nombreuses solutions techniques permettant de faciliter le maniement du produit emballé.
- Un enjeu majeur est la nourriture jetée dans son emballage. Des portions plus petites permettent de remédier partiellement à ce problème. Une autre piste est d'opter pour des emballages faciles à vider : certains pots de yaourt éco-conçus ont par exemple permis d'améliorer la "cuillérabilité" du produit et de limiter les restes de nourriture dans l'emballage. Enfin, une partie des PGA chez le consommateur est due aux restes cuisinés. Une des pistes est d'indiquer systématiquement le dosage sur l'emballage.

Causes de PGA liés à l'emballage chez le consommateur	Proposition de solutions
DLC ou DDM dépassées	Adaptation de la quantité
	Allongement de la DLC (protection physique et chimique, MAP, multicouches)
	Informations sur la DLC et la DDM
Perte de qualité	Informations de conservation (température, lumière, taux d'humidité)
	Informations de conservation une fois le produit ouvert
	Facilitation de la fermeture
Fuite	Amélioration de la protection mécanique
Accident, déversement	Amélioration de la maniabilité et facilitation de l'ouverture et de la fermeture
Nourriture jetée dans son emballage	Facilitation du vidage
	Diminution des portions
Restes cuisinés	Adaptation de la quantité
	Facilitation du dosage

Tableau 3 : Proposition de solutions aux PGA liés à l'emballage chez le consommateur. Adapté de Wohner et al [22].



“ Une amélioration et une meilleure conception de l’emballage sont en mesure de diminuer les PGA à toutes les étapes de la chaîne de valeur. ”

IL S'AGIT MAINTENANT DE DÉTERMINER UN COMPROMIS ENTRE PGA ET EMBALLAGE AFIN DE DIMINUER L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL GLOBAL DE L'ENSEMBLE PRODUIT/EMBALLAGE.



3.

Comment déterminer le compromis environnemental entre emballage et PGA : indicateurs et calculateur d'impact

3.1.

Introduction

3.2.

Choix des indicateurs permettant
d'évaluer le compromis

3.3.

Indicateur ACV : le WEI

3.4.

Indicateur de circularité : le MCI

3.5.

Calculateur

3.1. Introduction

Nous avons vu qu'une amélioration et une meilleure conception de l'emballage sont en mesure de diminuer les PGA à toutes les étapes de la chaîne de valeur. Nous avons évoqué l'impact environnemental de la production alimentaire et celui de l'emballage. Il s'agit maintenant de déterminer un compromis entre PGA et emballage afin de diminuer l'impact environnemental global de l'ensemble produit/emballage. Déterminer ce compromis nécessite de savoir quantifier les impacts des PGA et de l'emballage grâce à des indicateurs. En pratique, les indicateurs portent sur l'emballage primaire du produit, et sur les phases aval de **distribution et de consommation**.

Afin d'identifier des indicateurs pertinents pour mener cette comparaison, nous avons mené une revue de la littérature.

Nous souhaitons rendre ces indicateurs facilement calculables par des praticiens ayant à cœur d'optimiser le couple emballage et PGA.

Dans cette optique, nous avons développé un calculateur. Il intègre un certain nombre de données sur les produits et les emballages et met en regard les indicateurs que nous proposons. Les données disponibles au sujet des produits sont pour le moment limitées aux fruits et légumes.

Nous avons fait le choix de nous concentrer sur des indicateurs environnementaux. Ne sont donc pas prises en compte les retombées socio-économiques des PGA et de leur réduction citées en introduction.

3.2. Choix des indicateurs permettant d'évaluer le compromis

L'ACV (Encadré 5) est une méthode régulièrement utilisée pour évaluer l'impact environnemental des emballages. Le lien entre pertes de produit et emballage est cependant peu étudié.



Encadré 5 : L'Analyse de Cycle de Vie

L'ACV est une méthodologie servant à évaluer l'impact environnemental d'un produit, en quantifiant les matières premières utilisées ainsi que les émissions et les déchets produits tout au long de la chaîne de valeur. Pour un produit alimentaire on prendra notamment en compte les intrants et l'énergie nécessaire à la production agricole, la transformation, l'emballage, le transport, la distribution et la préparation chez le consommateur, ainsi que les déchets (alimentaires et emballages) au long de ces différentes étapes. Les normes ISO 14040 and 14044 [35], [36] donnent un cadre général et fixent des standards à respecter afin d'exécuter une ACV. L'analyse se découpe en quatre étapes : le cadrage, l'inventaire, l'évaluation des impacts et la discussion.

1. La première étape sert à définir l'objectif de l'étude, le cadre et les hypothèses de travail.
2. L'inventaire consiste à réunir des données sur l'énergie, les matériaux, les émissions et les déchets. Cette étape s'appuie sur des bases de données d'inventaire (Ecoinvent, Agribalyse, ...).
3. L'évaluation des impacts nécessite ensuite un logiciel d'ACV (Simapro ou OpenLCA) qui utilise une méthodologie d'évaluation d'impact (EF, ReCipe, etc). Ces impacts sont distribués selon plusieurs catégories (eutrophisation, changement climatique, écotoxicité, raréfaction en eau, ...). Dans ce rapport nous appelons "impact environnemental" l'impact sur le changement climatique.
4. La discussion vise à interpréter les résultats et à prendre du recul.

Cependant, les bases de données d'ACV concernant les produits alimentaires s'étoffent progressivement. L'ADEME a récemment mis à jour Agribalyse [37], sa base de données sur l'alimentation en France, nous ouvrant un champ de possibilité pour le couplage produit/emballage.

D'après la littérature [38], deux approches sont possibles :

- Mesurer le *Food to Packaging Ratio* (FTP)
- Inclure les PGA dans le périmètre de l'étude d'impact environnemental de l'emballage

Le FTP est le rapport entre l'impact du produit alimentaire et celui de l'emballage qui le contient. Cet impact peut être par exemple le changement climatique. Un ratio élevé, comme dans le cas de la viande, signifie qu'il est préférable d'optimiser la protection du produit afin de mieux le conserver. Un ratio plus bas, comme celui des produits végétaux, indique qu'il faut se préoccuper de l'optimisation de la masse et de la recyclabilité de l'emballage. Cette méthode ne nécessite pas de connaître les pertes associées à un emballage en particulier et ne permet donc pas une démarche d'optimisation. Elle n'a donc pas été retenue dans le calculateur.

La seconde méthode évoquée par la littérature nécessite de prendre en compte les PGA dans l'ACV de l'emballage. Avec cette perspective, Conte et al [3] proposent le *Whole Eco-Indicator* (WEI). Cet indicateur permet de comparer plusieurs emballages pour un même produit et peut donc être utilisé dans une démarche d'optimisation. Il est intégré au calculateur. Par la suite, on appellera système emballage/PGA l'emballage et les PGA associés.

L'ACV a cependant une limite en ce qui concerne la circularité [38]. L'économie circulaire est définie par la fondation Ellen MacArthur comme "par nature restaurative et régénérative, tendant à préserver la valeur et la qualité intrinsèque des produits, des composants et des matériaux à chaque étape de leur utilisation" [39]. La circularité est synonyme d'une faible perte de matière tandis qu'à l'inverse la linéarité implique une perte de matière importante. Améliorer la circularité permet de réduire les besoins d'extraction de matériau vierge et la proportion de déchets irrécupérables. La fondation Ellen MacArthur propose un indicateur permettant de quantifier la circularité d'un produit : le *Material Circularity Indicator* (MCI) [1]. Il est également intégré au calculateur.

Un enjeu de taille concernant les emballages est la fuite de macro ou de micro-plastiques dans la nature, et leur impact sur les écosystèmes, en particulier marins (Encadré 1). Il n'existe cependant à ce jour aucun indicateur d'impact consensuel. Nous avons également choisi d'exclure le compostage de l'étude à cause du manque de maturité des filières de collecte et de traitement en France (Encadré 2).

MODALITÉ DE CALCUL DU WEI

Pour un emballage donné i , on note p_i le pourcentage de produit perdu. On note IE_i l'impact de l'emballage, IP_i l'impact de la production de produit perdu et IT_i l'impact du traitement en fin de vie du produit perdu. Le WEI_i se rapportant à l'emballage i se calcule par la formule 1 :

$$WEI_i = IE_i + (IP_i + IT_i) * p_i$$

FORMULE 1

3.3. Indicateur ACV : le WEI

Le WEI a été développé par Conte et al [3] afin de prendre en compte l'effet d'un emballage donné sur les PGA dans une analyse d'impact combinée. Pour ce faire, la production et le traitement en fin de vie du produit perdu sont pris en compte dans le périmètre de l'ACV (Figure 6). Ainsi, un emballage dont on réduit le poids peut avoir un impact délétère sur l'ensemble de la chaîne si l'augmentation des pertes alimentaires qui en découle est trop importante (visible en Figure 7).

En théorie, cet indicateur peut être calculé pour chaque catégorie d'impact de l'ACV (changement climatique, consommation d'eau, eutrophisation, acidification, ...). Dans le calculateur, nous avons choisi de l'appliquer au changement climatique. En effet, les émissions de gaz à effet de serre sont facilement appréhendables par le grand public car régulièrement utilisées en affichage environnemental. Cela n'exclut nullement l'utilisation d'autres catégories d'impact : voir exemple sur l'impact en eau illustré en annexe 3.

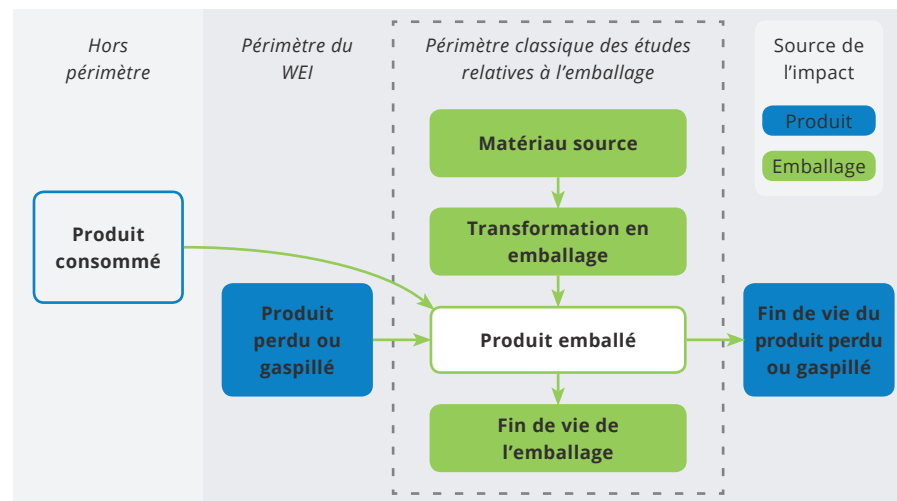


Figure 6 : Périmètre de calcul du WEI d'après Conte et al [3]. L'ensemble de l'impact de l'emballage est inclus. La production et la fin de vie du produit perdu ou gaspillé sont prises en compte.

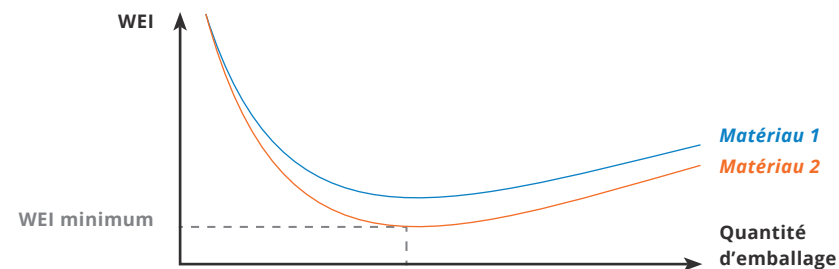


Figure 7 : Evolution du WEI en fonction de la quantité et du type d'emballage (adapté du rapport de l'OVAM [40]).



3.4. Indicateur de circularité : le MCI

L'importance de la prise en compte de la circularité de l'emballage dans le compromis entre emballage et PGA est soulignée par la littérature [38]. Un indicateur pouvant être utilisé en parallèle de l'ACV est le MCI [41]. Il est désigné par Lonca et al [41] comme le seul indicateur de circularité prenant en compte la perte de matière ainsi que la durabilité de l'emballage. Cet indicateur a été développé par la fondation Ellen MacArthur [1]. Le calcul du MCI dans notre calculateur repose sur la formule de la fondation. Ses valeurs sont comprises entre 0 à 1. Une valeur nulle signifie l'absence totale de circularité et une valeur de 1 signifie que l'usage du matériau est entièrement circulaire.

L'indicateur est une combinaison de trois facteurs : la masse V de matériau vierge utilisé, la masse W de déchets irrécupérables attribués au matériau et le facteur d'utilité X qui prend en compte la durée de vie et le nombre d'utilisations qui en sont faites, comme présenté en Figure 8 (formule

détaillée en annexe 1). Il prend également en compte les taux de recyclage et de réutilisation effectifs des emballages.

Si le produit n'est pas emballé, le MCI de l'emballage est égal à 1.

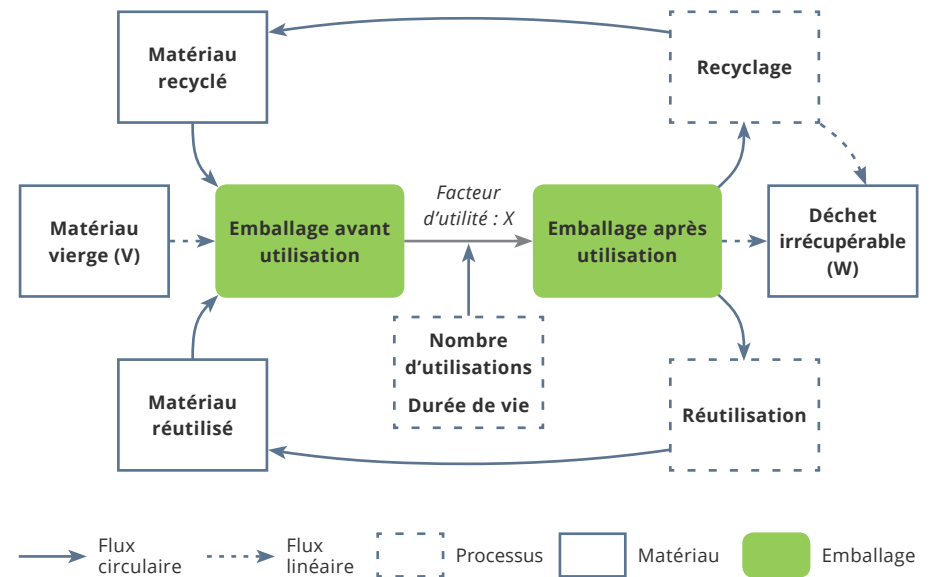


Figure 8 : Schéma des paramètres pris en compte par le MCI : en amont, la masse V de matériau vierge et la masse de matériau recyclé et réutilisé ; pendant l'utilisation, le facteur d'utilité X incluant le nombre d'utilisations et la durée de vie de l'emballage ; en aval, le recyclage, la réutilisation et la masse W de déchets irrécupérables.

3.5. Calculateur

Ce calculateur s'adresse aux développeurs et concepteurs de produits agro-alimentaires qui souhaitent optimiser leurs systèmes d'emballages.

L'objectif du calculateur est de permettre une démarche d'optimisation de l'emballage reposant sur deux points de vigilance : son impact combiné avec celui des PGA induites d'une part, et sa circularité d'autre part. L'utilisateur peut ainsi étudier les différents systèmes d'emballage et arbitrer entre ces deux points. Pour ce faire, les deux indicateurs précédemment développés sont calculés et mis en regard pour un cas de base d'emballage et ses variantes.

Les informations nécessaires aux calculs sont récapitulées en Figure 9. Pour plus de détails sur le calculateur, le lecteur est invité à se reporter au guide utilisateur.

Les résultats sont présentés sous forme de trois graphiques. Un premier représente le WEI avec la part d'impact lié à l'emballage en bleu et la part liée au gaspillage alimentaire

en orange (Figure 10). Le MCI est représenté en vert (Figure 11). Enfin, les deux indicateurs sont représentés sur un plan orienté (Figure 12); les différentes variantes sont comparées au cas de base situé au centre du repère ; les variantes correspondant à l'amélioration simultanée des deux indicateurs se situent dans le quart supérieur droit.

Ces différentes représentations permettent d'optimiser le couple emballage et PGA en partant d'un cas de base et en entrant différents scénarios dans le calculateur. Les scénarios se situant dans le quart supérieur droit sont préférables en tout point au cas de base, et inversement pour le quart inférieur gauche. Les deux autres zones requièrent un arbitrage entre circularité et impact. Dans ce cas, le choix de privilégier l'un ou l'autre est laissé à l'utilisateur.

L'utilisation du calculateur est pour l'instant limitée aux fruits et légumes frais. Cependant, la méthodologie peut être utilisée pour tout autre aliment pouvant être emballé. Selon le besoin, des données sur d'autres aliments pourront être ajoutées à l'avenir.

[Cliquez-ici pour accéder au calculateur et son guide d'utilisation.](#)

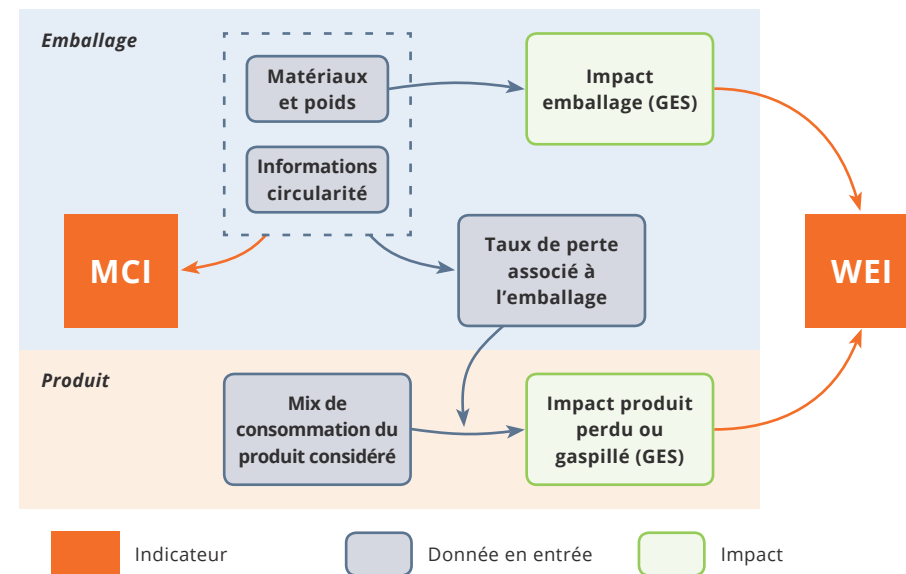


Figure 9 : Récapitulatif des éléments du calculateur (indicateurs, entrées et impacts).

3. Comment déterminer le compromis environnemental entre emballage et PGA : indicateurs et calculateur d'impact

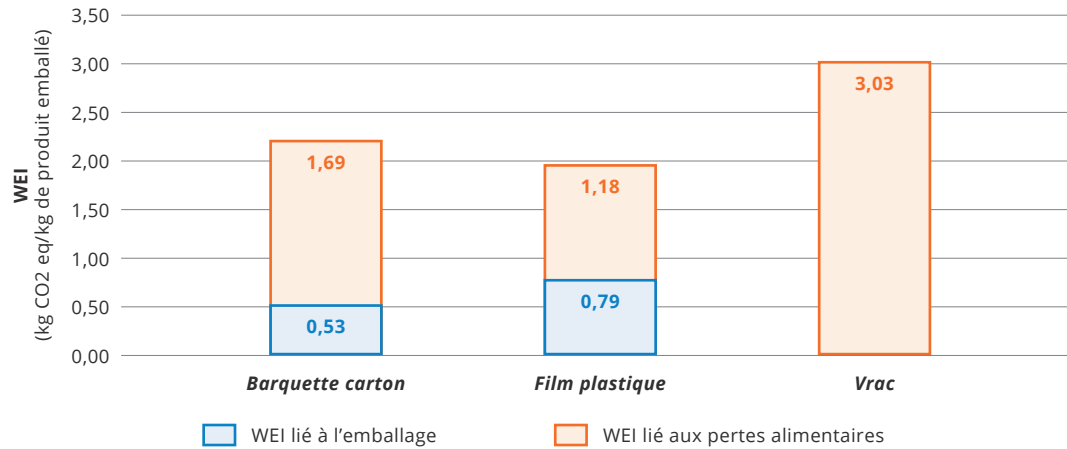


Figure 10 : Exemple de représentation graphique du WEI. Le WEI est calculé à partir de l'impact sur le changement climatique et a donc pour unité le kg de CO2 équivalent. La part due à l'emballage est représentée en bleu, la part liée aux pertes alimentaires est représentée en jaune.

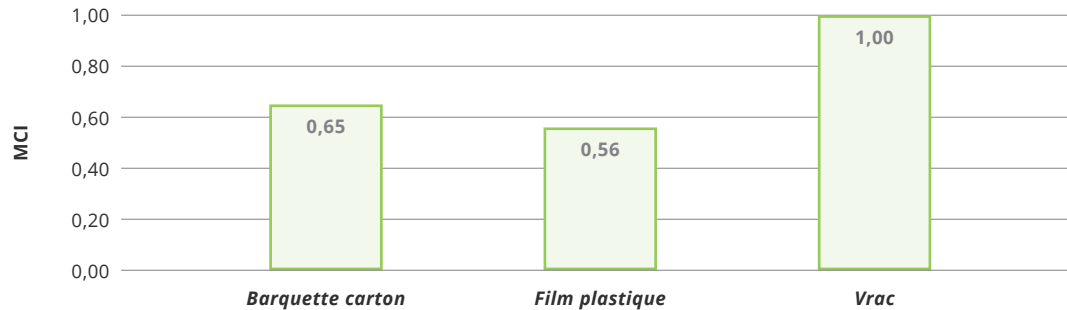


Figure 11 : Exemple de représentation graphique du MCI.

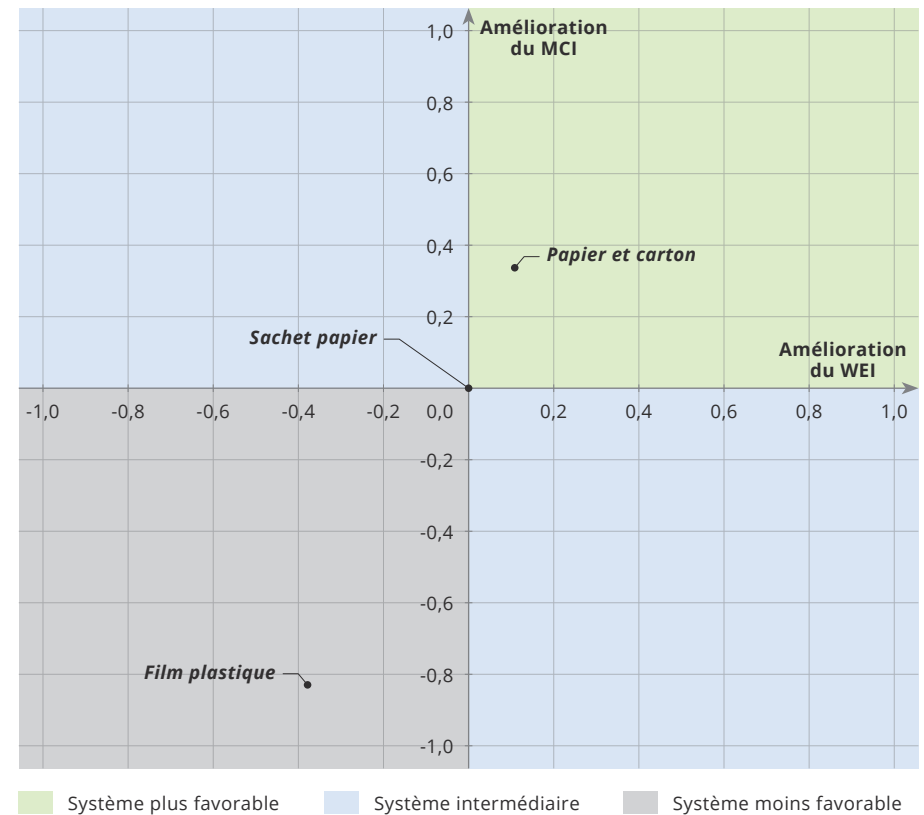


Figure 12 : Représentation graphique à deux dimensions du MCI et du WEI. Le cas de base « sachet papier » se situe à l'origine du repère. Le système papier et carton est la meilleure alternative, le WEI est réduit et le MCI est meilleur. Les données sont fictives.

4.

Etudes de cas : les fruits et légumes

4.1.
Choix de la filière

4.2.
Objectif

4.3. Etude 1 :
Tomate réfrigérée et tomate sous
atmosphère modifiée

4.4. Etude 2 :
Mini-concombre en vrac et en
barquette filmée

4.5. Etude 3 :
Endive en vrac et préemballée
avec ou sans film protecteur
contre l'exposition lumineuse

4.6.
Conclusion des études de cas

4.1. Choix de la filière

D'après l'étude EAT de the Lancet [42], opter pour un régime sain et respectueux des limites planétaires nécessiterait de consommer 300g de légumes par jour en moyenne. Nous en sommes loin : les Françaises et les Français en consomment en moyenne 115g par jour [43]. La consommation moyenne des différents fruits et légumes est résumée ci-contre (Tableaux 4a et 4b). D'après l'ADEME [5], le gaspillage de fruits et légumes représente un tiers de la nourriture gaspillée chez le consommateur. Ces chiffres justifient de s'intéresser à cette filière dans nos études de cas.

Un enjeu majeur de la filière fruits et légumes est la réduction des PGA dus à la fragilité importante de ces produits et aux exigences strictes en matière de calibre. En France, les pertes entre la récolte et la mise sur le marché s'élèvent en moyenne à 12% pour

l'ensemble des fruits et légumes mais sont assez variables selon les références, pouvant aller de 5 à plus de 20% [44]. Cependant, une partie importante du gaspillage n'est pas comprise dans ces chiffres car elle a lieu après la mise sur le marché, chez le consommateur, qui est responsable d'un tiers des PGA [5]. Par ailleurs, l'emballage peut apporter une partie de la solution aux PGA comme expliqué en partie 2. Certaines innovations d'emballage sont à noter dans la filière des fruits et légumes (Encadré 6) mais n'ont pu être étudiées ici pour cause de manque de données.

Tableau 4a et 4b : Consommation moyenne annuelle par personne en France des principaux fruits et légumes. Données CTIFL [45].

Légumes	Consommation en kg/pers/an
Pomme de terre	20
Tomate	12,3
Salade	5,7
Carotte	5
Oignon	3
Courgette	2,9
Chou fleur et brocolis	2,8
Concombre	2,6
Endive	2,5
Poireau	2,3
Chou pommé	1,8
Poivron	1,7
Avocat	1,2
Aubergine	0,87
Radis	0,74
Champignon	0,6
Artichaud	0,5
Haricot vert	0,5
Asperge	0,4
Celeri branche	0,4
Echalotte	0,4
Fenouil	0,4
Betterave	0,35
Ail	0,3
Chou de Bruxelles	0,14
Total	69,4

Fruits	Consommation en kg/pers/an
Pomme	14,8
Banane	8
Orange	6,3
Clémentine et mandarine	5,4
Melon	5,3
Poire	3
Raisin	2,4
Nectarines	2
Fraise	1,8
Pêche	1,7
Citron	1,6
Abricot	1,4
Kiwi	1,4
Ananas	1,25
Pomelo	1,1
Prune	0,7
Mangue	0,5
Cerise	0,4
Framboise	0,2
Total	59,5

***“ Le gaspillage de fruits et légumes
représente un tiers de la nourriture
gaspillée chez le consommateur. ”***

A. VERNIER, « PERTES ET GASPILLAGES ALIMENTAIRES : L'ÉTAT DES LIEUX ET
LEUR GESTION PAR ÉTAPES DE LA CHAÎNE ALIMENTAIRE », ADEME, 2016.



4.2. Objectif

Afin d'illustrer l'utilisation du calculateur développé dans la partie 3, trois études de cas ont été réalisées. Le but de ces études est multiple :

- Expliciter les données retenues concernant les différents systèmes d'emballage
- Explorer les résultats du calculateur
- En esquisser les pistes d'approfondissement.

Trois cas d'études ont été choisis pour la complémentarité de leurs approches. Une première étude, concernant la tomate, s'appuie sur la littérature scientifique étrangère [47], [48] (données kényanes et japonaises). Une seconde, sur le mini-concombre, reproduit les calculs d'un rapport du think-tank autrichien Denkstatt [20] (données autrichiennes). Enfin, la dernière étude, concernant l'endive, reprend des données expérimentales du CTIFL

[49] (données françaises). Les principaux éléments concernant les trois études sont récapitulés dans le Tableau 5.

Attention : Ces études sont fournies à titre illustratif. Les données utilisées sont issues de la littérature, elles sont spécifiques aux pratiques observées à une période donnée dans la zone géographique étudiée, et suivant des modalités de distribution spécifiques. La hiérarchie des emballages qui en

découle n'est pas nécessairement celle qui prévaut dans tous les cas. Par exemple, dans l'étude Numéro 2 sur le concombre, le vrac apparaît moins favorable. La conclusion ne serait pas nécessairement la même pour des produits vendus sur des marchés ou dans des épiceries dédiées.

Tableau 5 : Récapitulatif des études de cas de différents produits (comparaison, données, méthodes et sources).

Légume	Les différents emballages comparés	Présence de données sur les PGA	Méthodologie d'évaluation des pertes	Source
Tomate	Atmosphère modifiée (MAP)	Oui	Expérience	Mathooko 2003, Roy 2007 (Kenya et Japon)
	Réfrigération (LT)			
Mini-concombre	Vrac	Oui	Modèle de consommation	Denkstatt (Autriche)
	Barquette carton et PP			
	Barquette PP et PET			
Endive	Vrac	Non, seulement durée de conservation	Estimations à partir de la durée de conservation	CTIFL (France)
	Préemballé			
	Film protecteur			
	Carton Open-Close			

Opter pour un régime respectueux des limites planétaires nécessiterait de consommer 300g de légumes par jour.



4.3. Etude 1 : Tomate réfrigérée et tomate sous atmosphère modifiée

PRÉSENTATION ET MÉTHODOLOGIE

En France, la consommation annuelle moyenne de tomate fraîche par personne s'élève à 12,3kg, ce qui en fait le légume le plus consommé par les ménages [45].

Cette étude vise à comparer l'impact sur le gaspillage de deux systèmes de conservation : l'emballage à atmosphère modifiée (MAP) et la réfrigération (LT). Les données utilisées proviennent de la littérature scientifique [47], [48]. Roy et al. donnent des éléments techniques et des évalua-

Tableau 6 : Origine des données pour la comparaison de deux systèmes de conservation : atmosphère modifiée (MAP) et réfrigération (LT).

tions d'impact pour les deux systèmes d'emballage. Mathooko et al. donnent des résultats expérimentaux concernant le pourcentage de tomates gaspillées après quatre semaines de conservation et une semaine de mise en étal pour chacun des systèmes de conservation. En ce qui concerne l'impact des pertes alimentaires, les données proviennent d'Agribalyse 3.0 [37]. Le mix de consommation choisi est celui de la tomate moyenné sur une année, il contient donc de la tomate de saison et de la tomate hors saison. Les calculs ont aussi été effectués sur un mix de tomate de saison et un mix de tomate hors saison afin de déterminer l'impact de la saisonnalité (développé en annexe 2).

DONNÉES

Plusieurs hypothèses ont dû être retenues afin de mener à bien les calculs. Tout d'abord, l'information sur la dimension de l'emballage MAP n'étant pas renseignée dans l'article, les dimensions de l'emballage pour la réfrigération ont été utilisées car dans les deux cas, quatre kilogrammes de tomates sont emballés. De plus, les taux de pertes n'étant pas renseignés dans l'article de Roy et al, ceux de Mathooko et al ont été appliqués malgré des conditions expérimentales différentes. Nous ne prenons pas en compte les impacts environnementaux liés à la différence de température.

Système de conservation	MAP	LT	Source
Matériaux du packaging	Papier et OPP	Carton	Roy 2007
Dimensions	Inconnues	43 x 29 x 7,5 cm	Roy 2007
Poids de tomates par emballage (kg)	4	4	Roy 2007
Pertes après 5 semaines	26%	50%	Mathooko 2003

En France, la consommation annuelle moyenne de tomate fraîche par personne s'élève à 12,3kg, ce qui en fait le légume le plus consommé.

RÉSULTATS

Sur la Figure 13, on peut distinguer :

- l'impact de l'emballage : celui de l'emballage MAP est supérieur de 42% à celui de l'emballage LT.
- l'impact des PGA : celui de l'emballage LT est 2 fois supérieur à celui de l'emballage MAP.
- l'impact total : celui de l'emballage LT est supérieur de 16% à celui de l'emballage MAP

La Figure 14 indique que le MCI de l'emballage LT est 1,8 fois plus élevé que celui de l'emballage MAP à cause de la présence d'OPP, non recyclable, dans ce dernier.

Le fait que le scénario MAP se trouve dans le quart inférieur droit de la Figure 15 indique que les deux indicateurs évoluent donc différemment, améliorer le MCI implique d'augmenter l'impact et inversement.

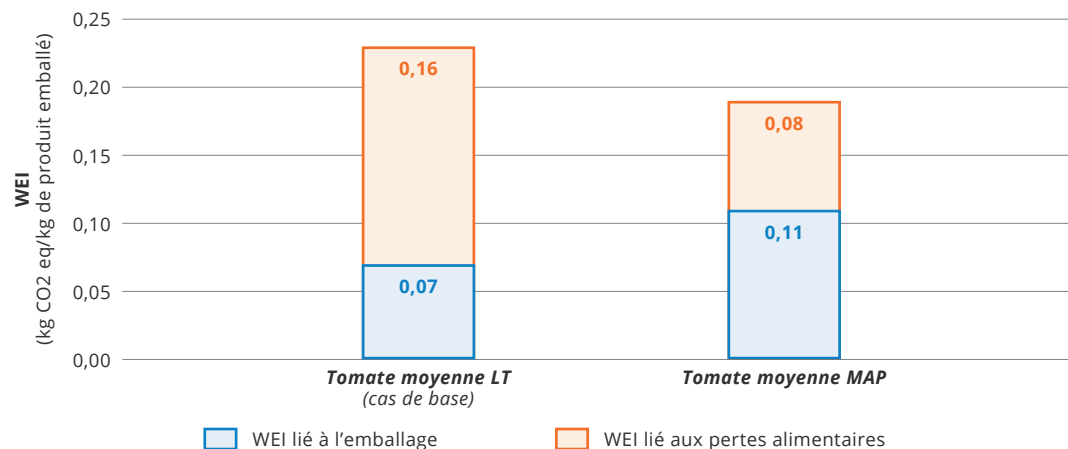


Figure 13 : Impact sur le changement climatique des différents systèmes d'emballage. Comparaison atmosphère modifiée (MAP) et réfrigération (LT) pour le mix de consommation moyen de la tomate.

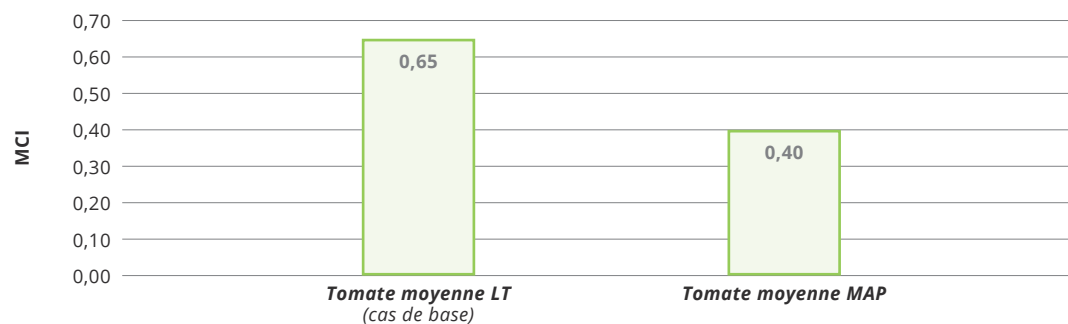


Figure 14 : MCI des différents systèmes d'emballage. Comparaison atmosphère modifiée (MAP) et réfrigération (LT) pour le mix de consommation moyen de la tomate.

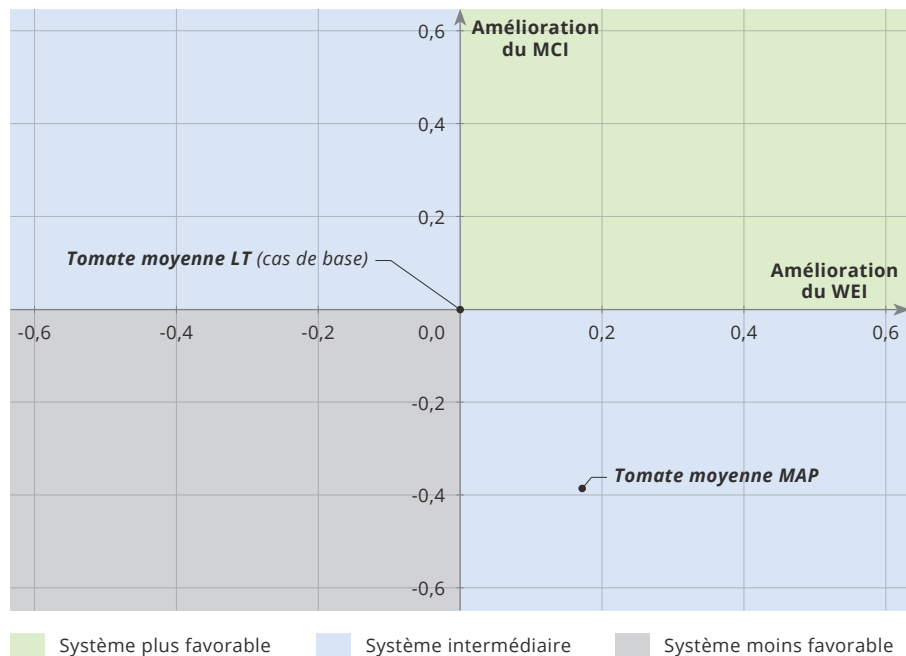


Figure 15 : Représentation de la réduction d'impact sur le changement climatique en abscisse et de l'amélioration de la circularité en ordonnées des différents systèmes d'emballage. Comparaison atmosphère modifiée (MAP) et réfrigération (LT) pour le mix de consommation moyen de la tomate.

DISCUSSION

Possible approche de prise de décision².

Si on choisit de réduire l'impact environnemental et les PGA, on peut se baser sur la figure 12. La meilleure alternative est alors celle qui a le WEI global (addition de la partie bleue et de la partie orange) le plus faible : c'est l'atmosphère modifiée. Si on choisit de se concentrer sur la circularité, on s'appuie sur la figure 13 et on choisit le scénario pour lequel le MCI est le plus élevé : on préférera donc la réfrigération.

Compromis emballage/PGA. Bien que les données techniques d'emballage et les taux de pertes soient issues de conditions de laboratoire plutôt que de conditions réelles, on peut constater la grande variabilité de la part du WEI liée aux PGA par rapport à la part liée à l'emballage. On voit également qu'un effort d'éco-conception ne prenant pas en compte l'impact des pertes peut être contre-productif et augmenter l'impact global.

Saisonnalité. L'impact carbone de cet aliment varie grandement selon les saisons et les modes de cultures. Ainsi, l'impact d'une tomate sous serre chauffée est dix fois plus élevé que celui d'une tomate sous serre non chauffée [37]. Ces variations importantes justifient la comparaison des impacts des pertes alimentaires pour plusieurs modes de culture (annexe 2).

² NB : ce rapport ne hiérarchise pas le choix des deux indicateurs pour la prise de décision. Nous exposons ici une ou plusieurs possible(s) démarche(s) d'un décideur. Cependant, suivant la sensibilité de celui-ci, d'autres approches et un autre choix final pourraient être justifiés.



4.4. Etude 2 : Mini-concombre en vrac et en barquette filmée

PRÉSENTATION ET MÉTHODOLOGIE

La consommation française moyenne de concombre frais est de 2,6 kilogrammes par personne et par an, ce qui en fait le 8^{ème} légume le plus consommé [45].

Cette étude vise à comparer trois présentations du mini-concombre en rayon : en vrac, en barquette filmée macroperforée³ et en barquette filmée microperforée⁴. Les

données sont tirées d'un rapport autrichien du think tank Denkstatt [20]. Les données de pertes y sont estimées grâce à une modélisation de la consommation mise en rapport avec la durée de conservation. Concernant l'emballage, seuls les matériaux sont décrits et non les dimensions. Celles-ci ont été trouvées en grande surface. L'impact de la perforation a été négligé.

DONNÉES

Tableau 7 : Origine des données pour la comparaison de trois systèmes de conservation : vrac, macroperforé et microperforé [20]

Nom du système	Vrac	Macroperforé ³	Microperforé ⁴
Système de conservation	Vrac	Barquette en carton, sachet en PP flowpack macroperforé	Barquette en PP, sachet en PET flowpack microperforé
Quantité de concombre par emballage (kg)	0,2	0,2	0,2
Dimensions		10 x 20 x 5 cm	10 x 20 x 5 cm
Durée d'exposition (j)	6	12	12
Taux de pertes (%)	14,5	4	0

³ Perforations généralement supérieures à 5mm de diamètre.

⁴ Perforations entre 70 et 150 µm.

La consommation française moyenne de concombre frais est de 2,6 kg par personne et par an, ce qui en fait le 8^{ème} légume le plus consommé.

RÉSULTATS

Les WEI des emballages macroperforé et microperforé ne diffèrent que de 4% (Figure 16). En effet, la réduction du WEI pour l'emballage carton et PP est compensée par l'augmentation des PGA. En raison de PGA bien plus élevées, le vrac cause un doublement des émissions de GES.

Sur la Figure 17, il est visible que le MCI du vrac est le meilleur. Le MCI de l'emballage macroperforé est quasiment trois fois plus élevé que celui de l'emballage microperforé.

Sur la Figure 18, on observe que tous les systèmes se trouvent dans le quart inférieur droit. Tous améliorent le WEI et réduisent le MCI car le cas de base est le vrac qui a un MCI et un WEI maximal.

DISCUSSION

Possible approche de prise de décision. La décision n'est pas immédiate car toutes les alternatives se trouvent dans la partie bleue du graphe 12. Le vrac ayant un WEI deux fois plus élevé que les autres alternatives, il est cohérent de l'éliminer. Les deux autres emballages peuvent être discriminés grâce au WEI. En l'occurrence, la meilleure solution visible est la barquette filmée macroperforée. En effet, elle réduit moins le MCI que l'alternative microperforée et elle réduit grandement le WEI.

Compromis emballage/PGA. La réduction d'émissions de CO₂ liée à l'adoption de l'emballage macroperforé est de l'ordre de 270 g de CO₂ eq pour 1 kg de concombre. Rapporté à la consommation annuelle d'une personne en France, cela correspond à 3,6 km en voiture [50]. Un point intéressant est la compensation de la réduction de l'impact de l'emballage par l'augmentation des PGA.

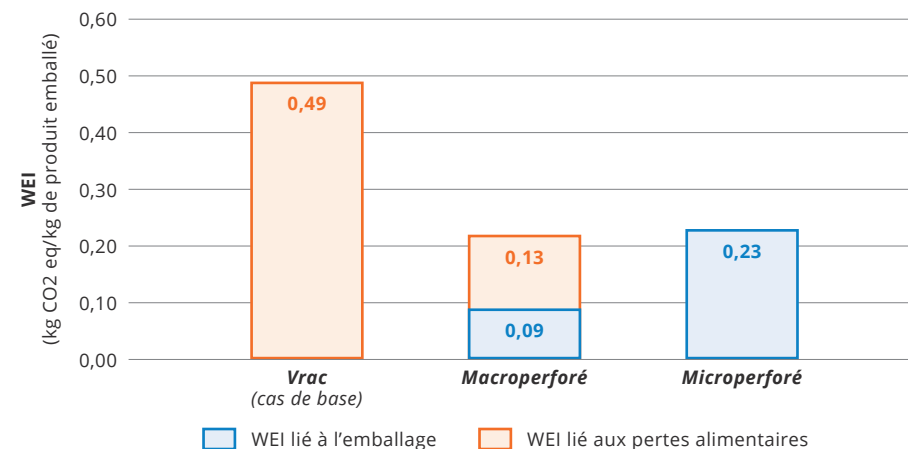


Figure 16 : Impact sur le changement climatique des différents systèmes d'emballage. Comparaison vrac, macroperforé et microperforé pour le mini-concombre.

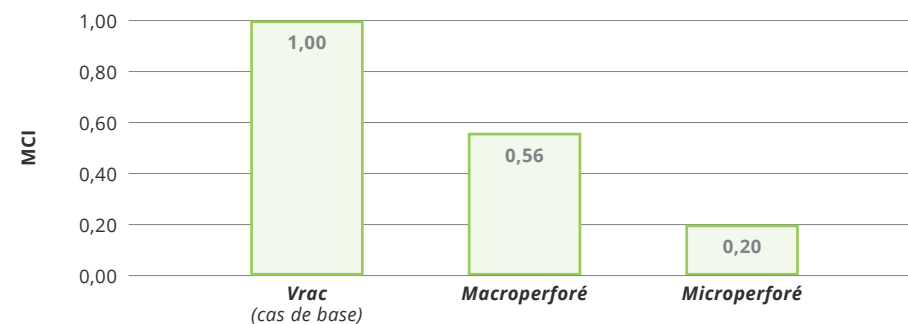


Figure 17 : MCI des différents systèmes d'emballage. Comparaison vrac, macroperforé et microperforé pour le mini-concombre.

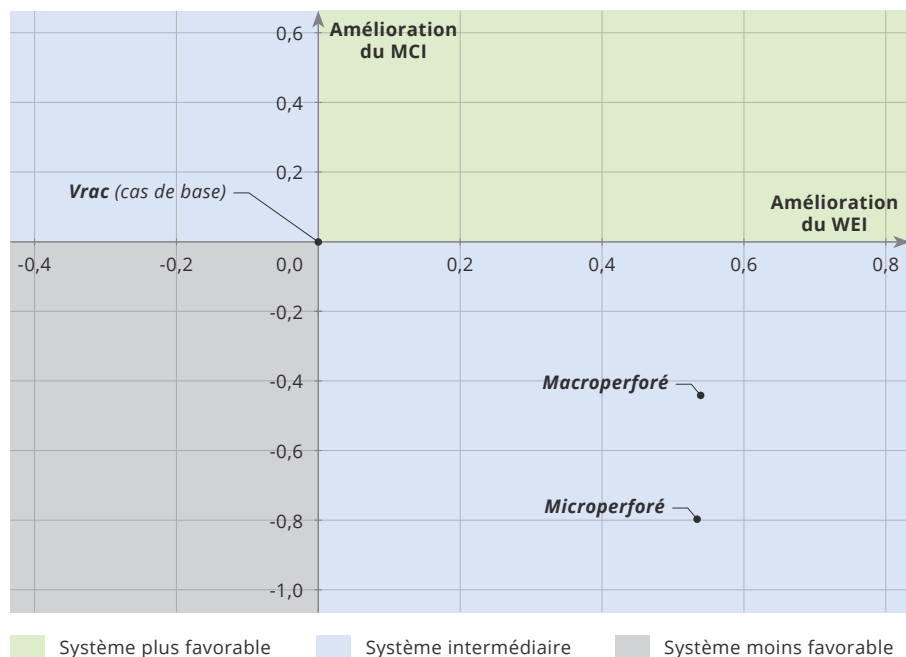


Figure 18 : Représentation de la réduction d'impact sur le changement climatique en abscisse et de l'amélioration de la circularité en ordonnées des différents systèmes d'emballage. Comparaison vrac, macroperforé et microperforé pour le mini-concombre.

En effet, le vrac est plus impactant que les deux autres alternatives alors que l'impact lié à son emballage est nul. Cela souligne l'importance de prendre les PGA en compte dans une démarche d'éco-conception. La circularité est ici ce qui permet de trancher entre les deux emballages, il est donc tout aussi primordial de la prendre en compte.

Prise en compte de la durée d'exposition.

Contrairement aux deux autres études de cas, les durées d'exposition considérées ici ne sont pas communes aux différents systèmes d'emballage. Le gaspillage lié au vrac est mesuré après 6 jours quand celui lié aux concombres emballés est mesuré après 12 jours. Cette étude suggère en effet de prendre en compte le taux de pertes en fonction du temps moyen que le produit passe à l'étal plutôt que de choisir le même temps d'exposition pour tous les systèmes d'emballages. Nous n'avons cependant pas procédé ainsi dans les deux autres études de cas et avons choisi des temps d'exposi-

tions égaux pour tous les systèmes d'emballage. En effet, les données disponibles étaient construites ainsi. Ce point mérite d'être discuté davantage à l'avenir. En effet, la gestion d'un rayon peut nécessiter de disposer de petites quantités de produits fragiles et d'effectuer des rotations plus fréquentes. Au contraire, les produits moins fragiles pourront être placés en grande quantité pour des durées plus longues. De fait, les PGA du produit fragile seront diminués car ils nécessitent plus de soin et inversement pour le produit moins fragile. Ces aspects comportementaux sont difficiles à prévoir et une étude chiffrée serait riche d'enseignement.



4.5. Etude 3 : Endive en vrac et préemballée avec ou sans film protecteur contre l'exposition lumineuse

PRÉSENTATION ET MÉTHODOLOGIE

L'endive est le 9^{ème} légume le plus consommé en France, avec une consommation de 2,5 kilogrammes par an et par habitant en moyenne [45]. C'est un légume fragile, il supporte notamment mal l'exposition à la lumière qui le fait verdir. Cette dégradation de qualité entraîne un déclassement des produits d'après la norme CEE-ONU FFV-38 [49], concernant la commercialisation et le contrôle de la qualité commerciale des endives. Le verdissement cause donc des pertes. Afin de répondre à cette fragilité, 75% des endives sont vendues préemballées [49]. Le CTIFL s'est penché sur le sujet du verdissement en 2017. Il a étudié l'effet de différents films protecteurs sur la qualité des endives. Des comparaisons ont été menées entre des films d'opacité différentes sur divers lots d'endives préemballées ou en vrac. Les pourcentages de pertes ne sont pas renseignés mais les durées de conservation le sont. N'ayant pas accès à des modèles de




consommation comme dans le cas du mini-concombre, il est également possible d'estimer les pertes à partir des durées de conservation [3], la formule est explicitée dans l'annexe 4.

DONNÉES

Cinq systèmes d'emballage différents sont comparés (Tableau 8). Le premier est un conditionnement en caisse de 5 kilogrammes (appelé vrac), sans film de protection contre la lumière. Le deuxième est une caisse contenant 5 sachets d'endives préemballées avec du film en PP, sans film protecteur. Le troisième et le quatrième sont un conditionnement en vrac et un condi-

tionnement préemballé, tous deux avec un film protecteur en complexe Papier-OPP. Enfin, le dernier est un conditionnement en carton "open-close" par 5 kilogrammes, où le couvercle du carton, complètement opaque, fait office de protection contre la lumière.

Tableau 8 : Origine des données pour la comparaison de cinq systèmes de conservation des endives, vrac sans film, préemballé sans film, vrac avec film, préemballé avec film et carton open-close. Les taux de pertes sont estimés avec la formule de l'annexe 4. (données et images du CTIFL) [49].

Nom du système	Vrac sans film	Préemballé sans film	Vrac avec film	Préemballé avec film	Carton open-close
Préemballage	Vrac	Préemballé	Vrac	Préemballé	Boîte en carton
Film protecteur	Sans film		Film en complexe Papier-OPP		Couvercle en carton
Photographie du film					
Dimensions du film			70*80	70*80	26*38*15
Quantité d'endive (kg)	5	5*1kg	5	5*1kg	5
Durée de conservation (h)	12,5	38,5	18,5	44,5	62,5
Taux de pertes (%)	82	43	73	34	8

RÉSULTATS

Bien que le carton open-close ait le WEI lié à l'emballage le plus élevé, il a également le WEI total le plus faible grâce à un taux de pertes minimal (Figure 19). Les WEI totaux les plus élevés sont ceux du vrac avec et sans film à cause de taux de pertes maximaux. Entre ces deux extrêmes, on trouve le préemballé sans film et le préemballé avec film. Le WEI lié à l'emballage du préemballé avec film est 6 fois plus élevé que celui du préemballé sans film et sont donc écartés. Les MCI des deux systèmes préemballés sont plus de 2 et 3 fois inférieurs à celui du carton open close. C'est donc ce dernier emballage qui est la solution préférable, il réduit peu le MCI par rapport au vrac tout en réduisant fortement le WEI.

Le MCI le plus haut est celui du vrac (Figure 20). Ensuite, vient le carton-open close qui est entièrement recyclable. Puis viennent le vrac avec film, le préemballé avec film et le préemballé sans film.

Sur la Figure 21, on observe que tous les systèmes se trouvent dans le quart inférieur droit. Tous améliorent le WEI et réduisent le MCI car le cas de base est le vrac qui a un MCI et un WEI maximal.

DISCUSSION

Possible approche de prise de décision.

Dans cette situation, il n'y a pas de réponse immédiate étant donné qu'aucun emballage ne se trouve dans le quart vert de la Figure 21. La prise de décision peut débuter en éliminant les emballages ayant les WEI les plus élevés. Les emballages restant pourront être discriminés avec le MCI. Les deux emballages vrac ont un WEI plus de 2 fois supérieur à celui du carton open-close et sont donc écartés. Les MCI des deux systèmes préemballés sont plus de 2 et 3 fois inférieurs à celui du carton open close. C'est donc ce dernier emballage qui est la solution préférable, il réduit peu le MCI par rapport au vrac tout en réduisant fortement le WEI.

Compromis emballage/PGA.

La comparaison entre le préemballé sans film et le préemballé avec film OPP nous apprend que, contrairement au cas des concombres (étude 2), augmenter l'impact environnemental de l'emballage en tentant de réduire le gaspillage peut également s'avérer contre-productif. On remarque aussi que l'emballage qui a l'impact le plus élevé (carton open-close) est aussi celui qui permet d'avoir l'impact total le plus faible. D'où l'importance de calculer le compromis.

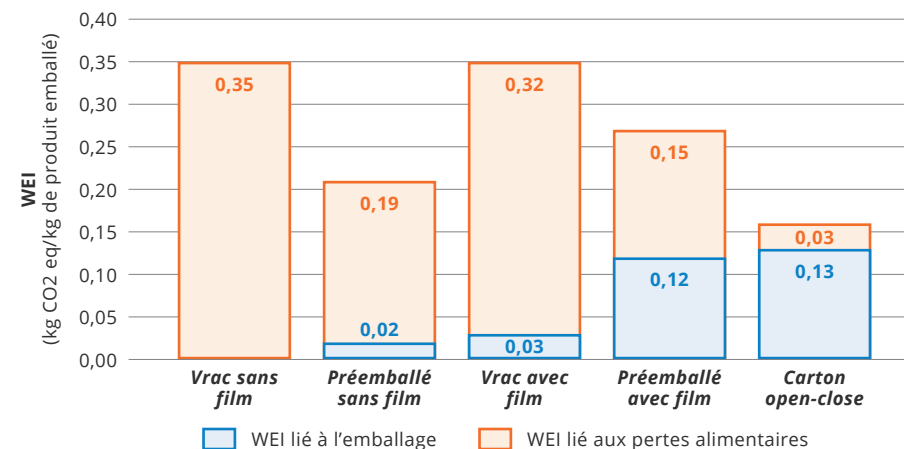


Figure 19 : Impact sur le changement climatique des différents systèmes d'emballage de l'endive. Comparaison vrac sans film, préemballé sans film, vrac film OPP, préemballé film OPP, carton open-close.

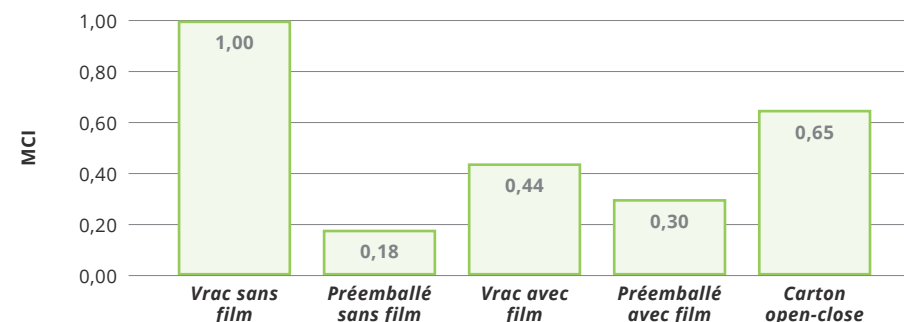


Figure 20 : MCI des différents systèmes d'emballage de l'endive. Comparaison vrac sans film, préemballé sans film, vrac film OPP, préemballé film OPP, carton open-close.

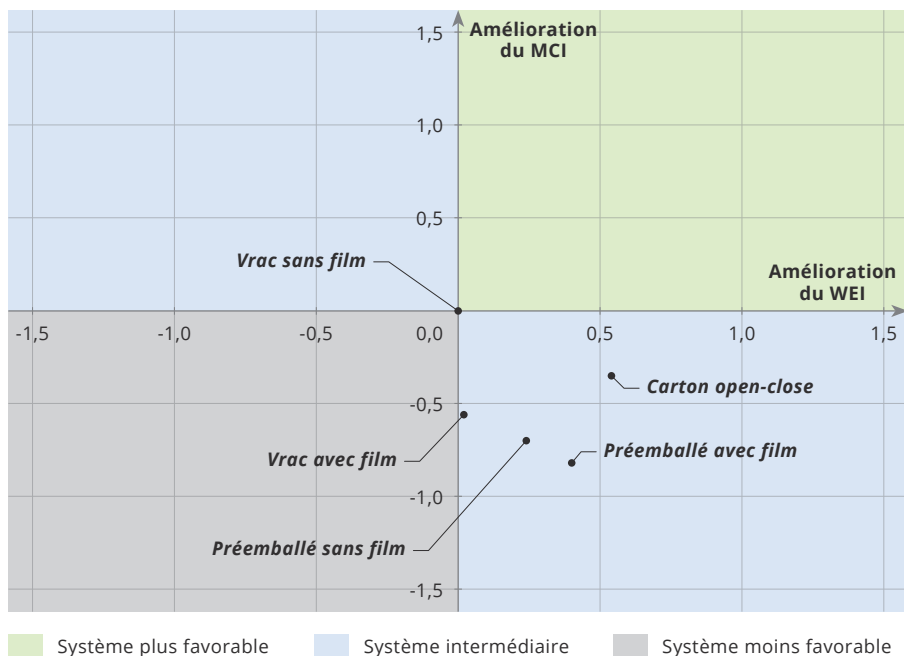


Figure 21 : Représentation de la réduction d'impact sur le changement climatique en abscisse et de l'amélioration de la circularité en ordonnées des différents systèmes d'emballage de l'endive. Comparaison vrac sans film, préemballé sans film, vrac film OPP, préemballé film OPP, carton open-close.

Limite du MCI. Le fait que le préemballé avec film ait un meilleur MCI que le préemballé sans film souligne une limite du MCI. En effet, les deux systèmes d'emballages contiennent la même quantité de plastique de préemballage. Le préemballé avec film est protégé en plus par un film composé en partie de papier. Or, l'ajout de papier améliore le MCI car il est recyclable. In fine, le MCI du préemballé avec film est meilleur que le préemballé sans film. On peut donc améliorer le MCI en alourdissant un emballage avec l'ajout d'un matériau recyclable.

Modèle d'estimation des pertes. Le modèle utilisé pour estimer les pertes à partir de la durée de conservation a plusieurs limites. Premièrement, l'hypothèse d'une évolution linéaire des pertes avec la durée de conservation ne repose pas sur l'expérience. De plus, augmenter la durée de conservation peut avoir des effets adverses. Le distributeur ou le consommateur peut être amené à penser qu'il peut stocker et acheter du surplus qui sera possiblement gâché si trop abondant. Cela va dans le même sens du choix de durées d'exposition différentes dans l'étude de cas sur les mini-concombres : une durée de conservation plus courte peut

encourager à être plus vigilant sur la quantité mise en étal ou achetée. De plus, dans le cas du vrac, le consommateur peut n'acheter que la quantité nécessaire pour sa consommation des prochains jours.

Application concrète. Le carton open-close est visiblement la meilleure solution environnementale. Cependant, elle est peu utilisée dans la distribution car le client ne peut pas voir le produit et doit ouvrir et refermer la boîte de son propre chef. Afin de pallier ces inconvénients, l'enseigne allemande Edeka a développé la Chicorée Box : une boîte à couvercle rabattable associée à une photographie d'endive sur le couvercle [49].



Chicorée Box sur un étal de l'enseigne Edeka en Allemagne (image du CTIFL)

4.6. Conclusion des études de cas

Ces études de cas permettent d'illustrer l'intérêt du calculateur et des indicateurs proposés pour l'évaluation comparée des emballages.

Elles montrent qu'il est primordial de considérer les PGAs induites pour chaque type d'emballage.

Nous préconisons l'utilisation de cet outil dans une démarche d'écoconception par les professionnels. Soulignons cependant que la qualité des résultats dépend de la qualité des données en entrée. C'est le cas en particulier, dans le WEI, du taux de PGA par type d'emballages, qui est une notion nouvelle dans ce type d'évaluation. Les taux de PGA par type d'emballage sont en général variables suivant les comportements : nous suggérons de tester des taux de PGA minimum et maximum pour affiner l'évaluation.

Différentes méthodologies d'estimation des pertes sont illustrées dans les études de cas. La mesure en laboratoire (utilisée dans le

cas de la tomate) doit chercher à s'approcher des conditions en étal. La détermination de scénarios de consommation (utilisée dans le cas du concombre) nécessite de bien connaître le comportement des consommateurs. Enfin, l'application d'un modèle de pertes déduites de la durée de conservation (utilisée dans le cas de l'endive) nécessite de connaître les délais de commercialisation.

Il est important de progresser dans la connaissance des taux de PGA en fonction du type d'emballage. Dans nos études, la durée de conservation est supposée corrélée avec le taux de pertes. Nous suggérons de mener des études complémentaires pour tester les différents modèles de corrélation et déterminer s'il n'y a pas d'effets contre-intuitifs de l'augmentation de la durée de conservation sur les PGA.

Encadré 6 : Innovation emballage, Apeel Sciences

Afin de faire face au gaspillage alimentaire, Apeel Sciences a été fondé en 2012 et compte aujourd'hui 351 employés. Cette entreprise a récemment réalisé une levée de fonds de 250 millions de dollars pour développer son activité. Ses membres ont mis au point un spray permettant d'allonger la durée de vie des fruits et légumes. Il est appliqué comme une "seconde peau". Ce spray est produit à partir de composés naturels, par exemple des épiluchures de fruits. Cette pellicule forme une barrière à l'oxygène et réduit l'oxydation des aliments. Selon ses concepteurs, la durée de vie d'un citron peut être allongée d'une quinzaine de jours, et celle d'un avocat d'une dizaine de jours. [46]

Source photographie Apeel Sciences [46].



5. Discussion et perspectives

5.1.
Discussion

5.2.
Limites

5.3.
Pistes d'amélioration du calculateur

5.4.
Questions pour la recherche et
les décideurs



5.1. Discussion

Choix du produit, de sa provenance et du mode de distribution. Dans les études de cas, nous nous sommes concentrés sur le compromis entre emballage et PGA. De fait, nous avons uniquement évoqué la réduction de l'impact environnemental du produit par le biais de la réduction des PGA. Cependant, trois choix sont à effectuer en amont : le choix du produit, de sa provenance et celui du mode de distribution. Ces choix peuvent avoir des impacts environnementaux : comme montré en annexe 2 par exemple, un produit de saison a un impact bien plus faible qu'un produit hors saison.

Ces choix influent sur le besoin en emballage. Par exemple, un produit subissant moins de transport nécessitera souvent moins de protection. La décision sur l'emballage se fait donc en aval en fonction des caractéristiques de la chaîne de distribution. Le calculateur que nous avons développé pourrait tenir compte des choix amonts et avals à la condition que de

nouvelles données produit soient ajoutées, concernant le mode de culture, le transport et le mode de distribution.

Aspects sociaux-économiques. Le calculateur ne traite pas de ces aspects directement. Cependant, comme évoqué précédemment, les PGA ont aussi des implications sociales et économiques. Le calculateur permet de faire un choix entre la réduction des PGA et l'aspect environnemental. Les deux aspects peuvent également être pris en compte simultanément. Le but final étant de définir des pistes d'éco-conception en fonction des objectifs de l'utilisateur.

5.2. Limites

Limites du MCI. Comme évoqué dans l'étude de cas sur l'endive, il est possible d'améliorer le MCI en alourdissant un emballage d'un matériau recyclable. Par exemple, un emballage avec 10g de plastique non recyclable et 5g de carton a un meilleur MCI qu'un emballage composé uniquement de 10g de ce même plastique. Cela

est dû à la façon dont est pondéré le MCI. De plus, la masse de l'emballage complet n'a pas d'incidence sur le MCI. Un emballage de 10g de carton est plus circulaire qu'un emballage d'1g de plastique non recyclable. En effet, la pondération par la masse ne s'effectue que dans le cas d'un emballage composite.

Limites du WEI. Le WEI est novateur car il est le premier indicateur permettant d'envisager la combinaison entre emballage et PGA et donc une **approche systémique de la fonction d'emballage** : celui-ci n'existerait en effet pas sans le produit. L'utilisation que nous en avons faite dans le calculateur n'est cependant pas exempte d'approximations. En effet, le type d'emballage est également lié au mode et la durée de stockage (réfrigération ou non) ainsi qu'au mode et à la durée de transport. Ces deux points sont à ce jour non traités dans le calculateur, faute de données spécifiques.

Dans une première approche, ces paramètres sont de moindre importance. Une

exception notable est celle du transport par avion. Celui-ci est très émetteur de gaz à effet de serre et par conséquent, il peut avoir un impact non négligeable. Par exemple, une mangue transportée par avion a un impact 4 fois plus élevé qu'une mangue transportée par bateau [37]. Ainsi, dans le cas d'une mangue transportée par avion, il est crucial de prévoir un emballage protecteur pour éviter les pertes.

Prise de décision. Les indicateurs développés viennent en complément des éléments à disposition des décideurs : attente des consommateurs, aspect sanitaire liés à l'emballage, circuit de distribution... Lorsque les deux indicateurs évoluent différemment, la prise de décision comprend un élément additionnel de compromis. La décision est alors influencée par la sensibilité de l'utilisateur et ses objectifs d'éco-conception. Elle relève également de choix stratégiques du décideur ou de l'entreprise.

5.3. Pistes d'amélioration du calculateur

Les études de cas ont permis d'illustrer l'utilisation du calculateur et d'esquisser certaines pistes d'approfondissement.

PRODUITS ALIMENTAIRES

Données sur les fruits et légumes. En termes de données, celles sur les fruits et légumes gagneraient à être étoffées. Par exemple en incorporant davantage de modes de cultures, labels et modes de distribution (vente directe, marchés). En effet, les différences d'impact pour un même produit peuvent être importantes, comme vu dans le cas de la saisonnalité de la tomate (annexe 2).

Estimations des pertes en fonction du type d'emballage. Plusieurs méthodes ont été proposées au cours des études de cas : modèle de consommation, estimation des pertes à partir de la durée de conservation et suivi d'un indicateur qualité. Un développement des connaissances au sujet de ces

méthodes serait la bienvenue. La solution idéale consisterait à collecter des données de pertes en conditions réelles. D'autant qu'une part importante des PGA est liée au comportement des consommateurs. Ainsi deux emballages différents peuvent être classés différemment dans l'échelle du WEI selon le comportement du consommateur.

Vrac et emballages en libre service. Lors des études de cas, les cas de vrac ne prennent pas en compte les emballages présents en libre service dans les magasins. Or leur impact serait à mettre en regard de l'impact des emballages préemballés. La prise en compte de ces emballages viendraient dégrader le WEI des solutions dites 'vrac'.

Élargissement à d'autres filières alimentaires. Le spectre des produits pourrait également être élargi à d'autres filières. Par exemple, aux produits animaux qui ont un impact environnemental bien plus important que les fruits et légumes. Il serait donc pertinent de prendre les PGA dans l'éco-conception des emballages de ces produits.

Une part importante des PGA est liée au comportement des consommateurs.

Ainsi deux emballages différents peuvent être classés différemment dans l'échelle du WEI selon le comportement du consommateur.

20% des déchets recyclables français sont traités dans d'autres pays de l'Union Européenne, où le mix électrique est souvent plus carboné.

EMBALLAGES

Données sur les emballages. Les données concernant les emballages ne sont pas exhaustives, notamment sur la fin de vie. L'expertise de Citéo [51] en la matière est la source d'information référente. Elle constitue le point de départ pour étudier l'impact des emballages.

Fin de vie des emballages. L'impact de la fin de vie des emballages n'est pas pris en compte dans le calculateur, par manque de données. Pouvoir appliquer une modélisation de l'impact de la fin de vie des emballages cohérent avec les directives européennes [52] serait un enrichissement important du WEI. La fin de vie pourrait également prendre en compte les différents mix énergétiques des pays pour le traitement des déchets. En effet, 20% des déchets recyclables français sont traités dans d'autres pays de l'Union Européenne, où le mix électrique est souvent plus carboné [24].

Autres fonctionnalités de l'emballage. La principale fonctionnalité étudiée dans les études de cas est la protection des aliments.

Or, les solutions aux PGA liées à l'emballage sont multiples. Les autres critères évoqués en partie 2, tels que l'impact de la réduction des portions, la meilleure information sur les dates limites, les modes de préparation ou la facilitation de vidage pourraient bénéficier de mise en application pratique. Le calculateur pourrait tout à fait être appliqué à ces cas, la seule limite étant la disponibilité des données.

INDICATEURS

Autres catégories d'impacts pour le WEI. Concernant le WEI, les catégories d'impact peuvent être élargies au-delà du changement climatique (eutrophisation, consommation d'eau, acidification, consommation d'énergies fossiles, ...), afin de s'approcher d'une véritable démarche d'ACV.

Prise de décision. Pour l'instant, nous proposons deux indicateurs pour la prise de décision, le WEI et le MCI. La priorisation de l'un ou de l'autre est laissée au libre arbitre de l'utilisateur. Il n'existe pas

à ce stade d'éléments scientifiques permettant de prioriser l'un plutôt que l'autre. Si cependant, à l'avenir, nous augmentons le nombre de catégories comme suggéré dans le paragraphe précédent, il sera souhaitable de les rendre compatibles avec l'un ou l'autre des indicateurs existants afin de limiter les dimensions de la prise de décision.

5.4. Questions pour la recherche et les décideurs

Ce travail s'inscrit dans un cadre d'actualité et de recherche, nous proposons dans cette section plusieurs points qui à l'avenir peuvent être pris en compte afin d'améliorer les prises de décisions et approfondir nos connaissances du sujet.

Fuites de plastique. La question des fuites de macro et microplastiques (Encadré 1) est de mieux en mieux appréhendée ; mais, malgré les nombreuses études, il n'existe pas encore de méthodologie d'évaluation consensuelle de leurs impacts environnementaux. Les

avancées dans ce domaine sont primordiales et permettront d'évoluer vers un emballage plus respectueux de l'environnement.

Plastiques compostables. Les infrastructures nécessaires au traitement de ces plastiques ne sont pas répandues en France et faute d'une collecte systématisée, il est difficile d'évaluer les effets d'une substitution des plastiques actuellement utilisés par ces matériaux. Les problèmes de complexification des consignes de tri sont un des freins à son développement. La mise en place de cette filière sur un territoire test serait riche en enseignement.

Comportement du consommateur. Un autre point d'investigation majeur est le sujet du comportement du consommateur. Il s'agit d'un des facteurs clés dans la réduction des PGA. Les conclusions de nos études de cas vont dans le sens de l'allongement de la durée de conservation du produit ; cependant, il est possible qu'il se produise une sorte "d'effet rebond" : les durées de conservation plus longues

entraînant un stockage plus important chez le consommateur et une gestion des pertes moins attentive. La réduction des portions évoquées dans la partie 2 pourrait aussi signifier plus de trajets pour faire des achats. Une telle augmentation peut avoir des conséquences environnementales si le trajet est effectué en voiture. La poursuite des études comportementales sur ce sujet est donc nécessaire.

Information consommateur sur l'emballage. Le recyclage et le vrac sont de plus en plus plébiscités. Cependant, les nuances "recyclabilité/taux de recyclage" et "tri/recyclage" sont souvent méconnues. De plus, l'impact de l'emballage est plus visible que celui des PGA, bien que ce dernier soit souvent supérieur, comme montré dans les études de cas. De fait, un emballage avec un WEI plus élevé peut être plébiscité par le consommateur alors qu'il a un impact environnemental important. Il est donc important de permettre au consommateur et aux décideurs d'effectuer des décisions éclairées.

Collecte de données. Ces avancées dans la recherche et la décision nécessitent de nombreuses données qui sont parfois difficiles à obtenir, notamment sur les taux de pertes. Il serait grandement profitable d'avoir accès à des données concrètes sur ce point et de mener davantage d'études chez le consommateur afin de déterminer l'impact de différents emballages sur les pertes observées lors des étapes de distribution et de consommation. Nous espérons que la mise à disposition du calculateur permettra d'initier ou d'améliorer la collecte de ces données.





6. Conclusion

L'agriculture et l'élevage ont des impacts avérés sur l'environnement, cependant, un tiers de la nourriture produite dans le monde est perdue ou gâchée. Pour les pertes situées en aval du conditionnement, l'emballage joue un rôle majeur. Nous avons explicité une diversité de solutions permettant de réduire les PGA via l'emballage.

Ces solutions peuvent nécessiter d'augmenter l'impact environnemental de l'emballage afin de réduire celui lié aux PGA, d'où la nécessité d'établir un compromis entre ces deux éléments. Il est donc nécessaire de développer une vision nouvelle de l'emballage, avec un point de vue systémique qui prend en compte les PGA comme liés intrinsèquement à l'emballage. Afin de permettre une prise de décision éclairée, nous avons mis en regard deux indicateurs : le WEI, indicateur systémique, qui mesure l'impact de l'emballage et des PGA associées et le MCI qui mesure la circularité de l'emballage. Le calculateur développé à partir de ces indicateurs permet aux acteurs de la filière agroalimentaire d'optimiser leurs systèmes d'emballages.

Nous avons ensuite illustré l'utilisation de ce calculateur par trois études de cas. Elles ont montré qu'agir sur l'emballage ou les PGA sans envisager leur interaction peut mener à des aberrations environnementales. Mettre en rapport l'impact environnemental des emballages avec celui des PGA afin de trouver un compromis est donc primordial. Ces études de cas ont également permis d'entrevoir des pistes d'amélioration du calculateur, notamment en ce qui concerne les données et les indicateurs.

Plus largement, nous avons évoqué les perspectives qu'il est important d'explorer sur le sujet de l'emballage et des PGA. Ce sujet a non seulement une grande importance environnementale mais également sociale et économique. Nous sommes convaincus qu'il est nécessaire d'investir des moyens et des efforts afin de récolter des données, de faire avancer la recherche, de trouver des solutions techniques et d'informer davantage les citoyens sur le lien entre PGA et emballage.

***“ Il est donc nécessaire de
développer une vision nouvelle
de l’emballage ”***

AVEC UN POINT DE VUE SYSTÉMIQUE QUI PREND EN COMPTE LES PGA
COMME LIÉS INTRINSÈQUEMENT À L'EMBALLAGE.



7. Annexes

Annexe 1 :

Détails sur le MCI : Material
Circularity Indicator

Annexe 2 :

L'influence de la saisonnalité de la
tomate sur le WEI

Annexe 3 :

Calcul du WEI de la tomate avec l'impact
sur la raréfaction en eau et le single score

Annexe 4 :

Estimation des pertes à partir de la
durée de conservation

Annexe 1 : Détails sur le MCI : Material Circularity Indicator

Toutes les informations présentées sont traduites du document méthodologique du MCI publié par la fondation Ellen MacArthur (source).

M	Masse du produit
F_R	Fraction du matériau source provenant du recyclage
F_U	Fraction du matériau source provenant de la réutilisation
F_S	Fraction biosourcée du matériau source provenant d'une production soutenable. Les biomatériaux recyclés ou réutilisés ne sont pas pris en compte.
V	Masse de matériau vierge. Masse ne provenant ni du recyclage ni de la réutilisation. Si c'est un matériau biosourcé, la fraction provenant d'une production soutenable n'est pas prise en compte.
C_C	Fraction du matériau en fin de vie qui est destinée au compostage.
C_E	Fraction du matériau biosourcé en fin de vie qui est destinée à la valorisation énergétique.
C_R	Fraction du matériau en fin de vie qui est destinée au recyclage.
C_U	Fraction du matériau en fin de vie qui est destinée à la réutilisation.
E_C	Efficacité du recyclage pour le matériau en fin de vie.

E_E	Efficacité de la valorisation énergétique pour le matériau biosourcé.
E_F	Efficacité du recyclage pour le matériau source.
B_C	Contenu carbone des matériaux biosourcés. La valeur par défaut est de 45%.
W₀	Masse de déchets irrécupérables (incinérés ou enfouis) associés à un produit.
W_C	Masse de déchets irrécupérables causés par le recyclage du matériau en fin de vie
W_F	Masse de déchets irrécupérables causés par le recyclage du matériau source
LFI	Linear Flow Index (Index de flux linéaire)
F(X)	Facteur d'utilité
X	Utilité du produit
L	Durée de vie moyenne du produit
L_{av}	Durée de vie moyenne des produits similaires dans l'industrie
U	Nombre d'utilisation du produit pendant un cycle de vie
U_{av}	Nombre d'utilisation de produits similaires pendant un cycle de vie dans l'industrie
MCI_p	Material Circularity Indicator (Indicateur de Circularité du Matériau) du produit

Tableau 9 : Facteurs présents dans les formules du MCI

Calcul de la masse de matériau vierge :

$$V = M(1 - F_R - F_U - F_S)$$

Calcul de la part de déchets irrécupérable en fin de vie :

$$W_0 = M(1 - C_R - C_U - C_C - C_E)$$

Calcul de la part de déchets irrécupérable provenant du recyclage du matériau en fin de vie :

$$W_C = M(1 - E_C)C_R$$

Calcul de la part de déchets irrécupérable provenant du recyclage du matériau source :

$$W_F = M \frac{(1 - E_F)F_R}{E_F}$$

Calcul de la part de déchets irrécupérable sur l'ensemble du cycle :

$$W = W_0 + \frac{W_F + W_C}{2}$$

Calcul du LFI (Linear Flow Index) :

$$LFI = \frac{V + W}{2M + \frac{W_F - W_C}{2}}$$

Calcul de l'utilité :

$$F(X) = \left(\frac{L}{L_{av}}\right) \cdot \left(\frac{U}{U_{av}}\right)$$

Calcul du facteur d'utilité :

$$F(X) = \frac{0,9}{X}$$

Calcul du MCI* :

$$MCI^*_p = 1 - LFI \cdot F(X)$$

**Si le MCI* est négatif, on considère que le MCI est nul.
Sinon, MCI* = MCI.**

Annexe 2 : L'influence de la saisonnalité de la tomate sur le WEI

Comme indiqué dans l'étude de cas de la tomate, les impacts de ce produit varient grandement selon les saisons. Nous avons souhaité calculer le WEI pour différentes saisonnalités, celles-ci n'ayant pas d'impact sur le MCI. Nous avons choisi la tomate moyenne utilisée dans le corps du rapport, la tomate de saison et la tomate hors saison. Les données proviennent d'Agribalyse.

L'impact de la saisonnalité sur les émissions sur le WEI est important (Figure 22). Les différences entre les deux types d'emballage sont exacerbées (Figure 23) par l'impact plus important de la tomate hors saison. Dans ce cas, réduire le gaspillage de moitié réduit l'impact carbone global de 40%. Il serait donc cohérent de protéger en priorité les tomates hors saison car leur gaspillage a des effets plus importants.

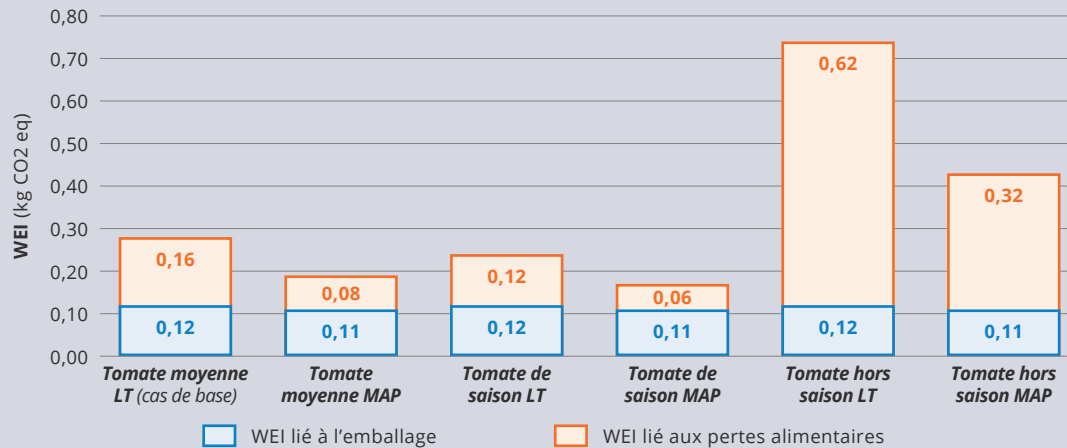


Figure 22 : Impact sur le changement climatique des différents systèmes packaging/pertes alimentaires. Comparaison atmosphère modifiée (MAP) et réfrigération (LT) pour 3 mix de consommation de tomate (moyen, saison, hors saison).

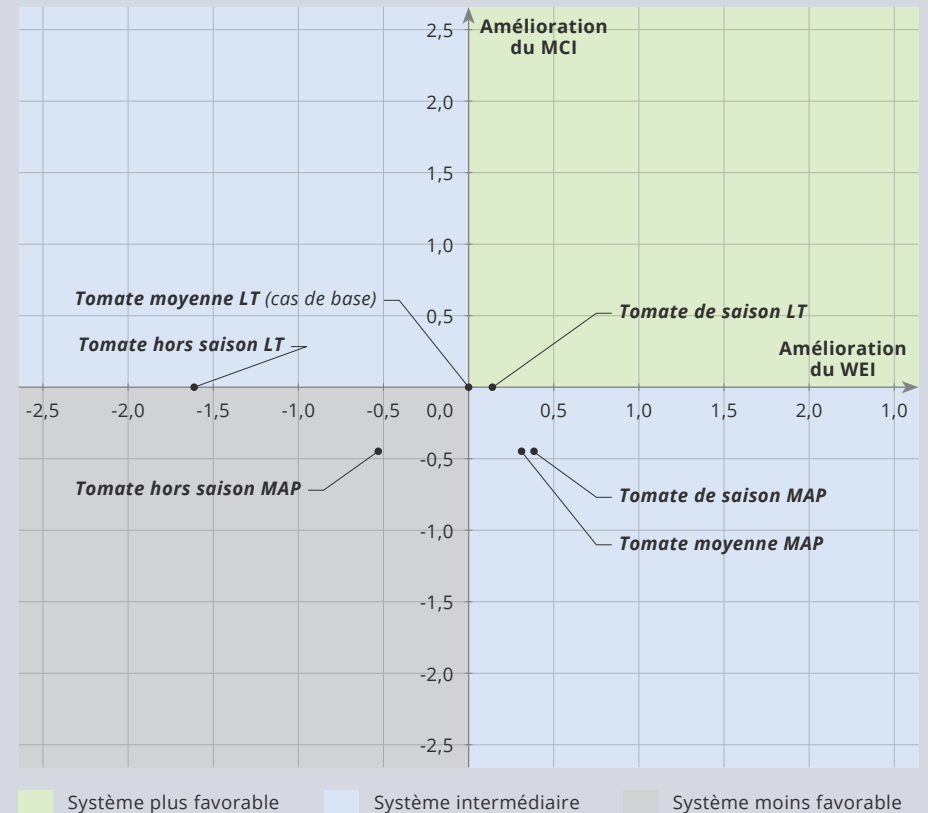


Figure 23 : Représentation de la réduction d'impact sur le changement climatique en abscisse et de l'amélioration de la circularité en ordonnées des différents systèmes packaging/pertes alimentaires. Comparaison atmosphère modifiée (MAP) et réfrigération (LT) pour 3 mix de consommation de tomate (moyen, saison, hors saison).

Annexe 3 : Calcul du WEI de la tomate avec l'impact sur la raréfaction en eau et le single score

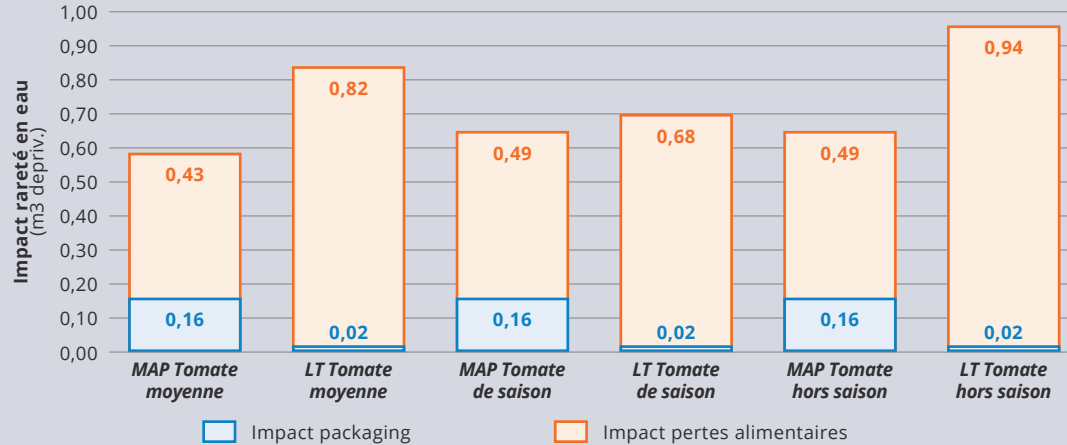


Figure 24 : Impact sur la raréfaction en eau des différents systèmes packaging/pertes alimentaires. Comparaison atmosphère modifiée (MAP) et réfrigération (LT) pour 3 mix de consommation de tomate (moyen, saison, hors saison)

MÉTHODOLOGIE

Afin d'étoffer l'analyse d'impact, cette étude s'intéresse à d'autres indicateurs environnementaux que l'impact sur le changement climatique et s'appuie sur une démarche d'ACV. La méthode EF 3.0 publiée par la Commission Européenne est utilisée pour réaliser cette ACV. Il a été choisi de présenter la raréfaction en eau en plus de l'impact climatique afin de donner un exemple d'autre indicateur, puis de calculer le « single-score » des deux systèmes. Ce score est une pondération des différentes catégories d'impact selon la méthodologie EF. Celui-ci combine différents impacts environnementaux (changement climatique, raréfaction en l'eau, utilisation des terres, eutrophisation...). Nous étudions également l'indicateur de la raréfaction en eau, qui a l'impact le plus important dans cette pondération.

RÉSULTATS

L'étude d'impact sur la raréfaction en eau (Figure 24) donne un impact 8 fois plus faible à l'emballage LT. Cependant, les pertes rendent toujours l'impact total de cet plus important.

L'étude du single score (Figure 25) donne des résultats similaires à l'impact carbone en termes de classement des systèmes de conservation.

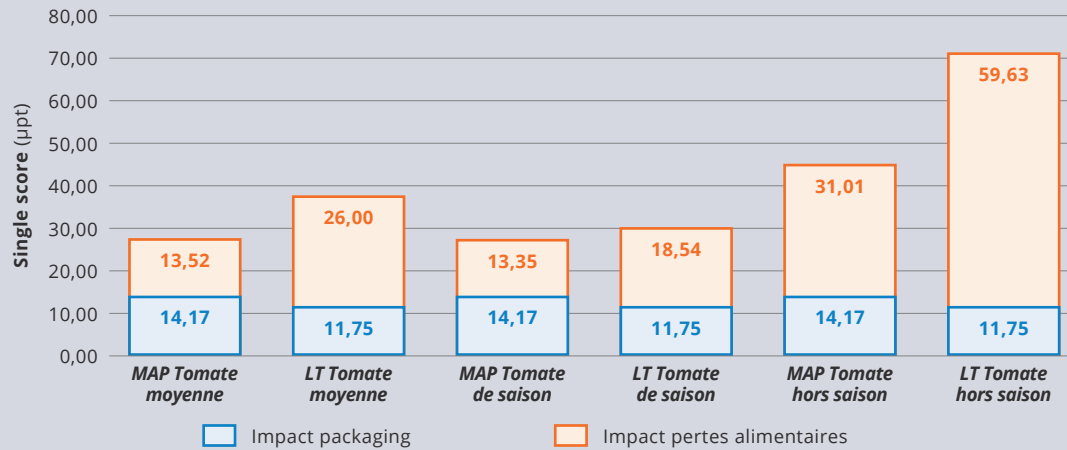


Figure 25 : Single score des différents systèmes packaging/pertes alimentaires. Comparaison atmosphère modifiée (MAP) et réfrigération (LT) pour 3 mix de consommation de tomate (moyen, saison, hors saison)

DISCUSSION

Le résultat est particulièrement intéressant dans le cas de la raréfaction en eau où l'impact du packaging LT est très faible mais où l'impact total du système dépasse celui du MAP. Il en est de même pour le single score mais dans une moindre mesure. C'est dans ce genre de cas qu'intégrer les PGA liés à l'emballage lors d'une analyse d'impact prend tout son sens. Si on ne le fait pas, on peut réduire drastiquement l'impact de l'emballage par un effort d'éco-conception ciblé, tout en ayant un effet délétère sur l'ensemble de la chaîne de valeur.

Annexe 4 : Estimation des pertes à partir de la durée de conservation

Afin de simplifier, nous choisissons le modèle linéaire développé par Conte et al et supposons que l'emballage 0 pour lequel la durée de conservation (P_0) est la plus élevée, entraîne un taux de perte T_0 de 8% [3]. Il est ainsi possible d'en déduire par un calcul simple (Formule 1) les taux de pertes correspondant à des durées de conservations plus faibles.

$$T_i = 1 - C_i \frac{1 - T_0}{P_0}$$

FORMULE 1

Avec T_i le taux de pertes lié à l'emballage i , C_i la durée de conservation liée à l'emballage i et T_0 et P_0 , le taux de pertes et la durée de conservation de l'emballage 0, les deux sont connus.

8. Références

[1] « Material circularity indicator ».

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/resources/apply/material-circularity-indicator> (consulté le 25 août 2020).

[2] S. Farigoul, « Les Objectifs de développement durable », Développement durable.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/objectifs-de-developpement-durable/> (consulté le 25 août 2020).

[3] A. Conte, G. M. Cappelletti, G. M. Nicoletti, C. Russo, et M. A. Del Nobile, « Environmental implications of food loss probability in packaging design », *Food Res. Int.*, vol. 78, p. 11 —17, déc. 2015, doi: 10.1016/j.foodres.2015.11.015.

[4] J. Gustavsson, C. Cederberg, U. Sonesson, R. Van Otterdijk, et A. Meybeck, « Pertes et gaspillages alimentaires dans le monde – Ampleur, causes et prévention », FAO, Rome, 2012.

[5] A. Vernier, « Pertes et gaspillages alimentaires : l'état des lieux et leur gestion par étapes de la chaîne alimentaire », ADEME, 2016.

[6] « Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems », IPCC, 2019.

<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/08/200730-IPCCJ7230-SRCL-Complete-BOOK-HRES.pdf> (consulté le 25 août 2020).

[7] « IEA – International Energy Agency », IEA.

<https://www.iea.org> (consulté le 25 août 2020).

[8] « L'état des ressources en terres et en eau pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde », FAO, Rome, 2011.

<http://www.fao.org/3/a-i1688f.pdf> (consulté le 24 août 2020).

[9] S. Farigoul, « Objectif 12 : Établir des modes de consommation et de production durables », *Développement durable*.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/sustainable-consumption-production/> (consulté le 25 août 2020).

[10] « World Bank Open Data | Data ».

<https://donnees.banquemondiale.org/> (consulté le 25 août 2020).

[11] « Single-use plastics », *European Commission - European Commission*.

https://ec.europa.eu/commission/news/single-use-plastics-2018-may-28_en (consulté le 26 août 2020).

[12] *Code de l'environnement - Article L541-10-5*, vol. L541-10 –5.

[13] *LOI AGECE n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire*. 2020.

[14] « Breaking the Plastic Wave », PEW Charitable Trust, Systémiq, 2020.

[15] « Plastic Leak Project », *Quantis*.

<https://quantis-intl.com/strategy/collaborative-initiatives/plastic-leak-project/> (consulté le 26 août 2020).

[16] C. Wallis, « Terrestrial fugitive plastic packaging: the blind spot in resolving plastic pollution », *Green Mater.*, vol. 8, n° 1, p. 3-5, juin 2019, doi: 10.1680/jgrma.19.00044.

[17] W. Wang, J. Ge, X. Yu, et H. Li, « Environmental fate and impacts of microplastics in soil ecosystems: Progress and perspective », *Sci. Total Environ.*, vol. 708, p. 134841, mars 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134841.

[18] M. Smith, D. C. Love, C. M. Rochman, et R. A. Neff, « Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health », *Curr. Environ. Health Rep.*, vol. 5, n° 3, p. 375-386, sept. 2018, doi: 10.1007/s40572-018-0206-z.

[19] « MarILCA - Marine Impacts in Life Cycle Assessment ».

<https://marilca.org/> (consulté le 26 août 2020).

- [20] Denkstatt, « Food Packaging Sustainability : A guide for packaging manufacturers, food processors, retailers, political institutions & NGOs. Based on the results of the research project “STOP waste – SAVE food” ».
- [21] *Code de l'environnement - Article R543-43*, vol. R543-43. .
- [22] B. Wohner, E. Pauer, V. Heinrich, et M. Tacker, « Packaging-Related Food Losses and Waste: An Overview of Drivers and Issues », *Sustainability*, vol. 11, n° 1, p. 264, janv. 2019, doi: 10.3390/su11010264.
- [23] « Les chiffres du recyclage en France », *Citéo*.
<https://livepreview.citeo.com/le-mag/les-chiffres-du-recyclage-en-france> (consulté le 27 août 2020).
- [24] « Accueil », *Citéo*.
<https://livepreview.citeo.com/node/373> (consulté le 25 août 2020).
- [25] « La feuille de route économie circulaire (FREC) », *Ministère de la Transition écologique*.
<https://www.ecologie.gouv.fr/feuille-route-economie-circulaire-frec> (consulté le 25 août 2020).
- [26] « Fiche Technique : Plastiques Biosourcés », ADEME, 2012.
- [27] « Pandobac • Solution Logistique Zéro Déchet • Bac de transport réutilisable », *Pandobac*.
<https://www.pandobac.com/> (consulté le 26 août 2020).
- [28] « Carrefour s'engage avec Loop », *Carrefour.fr*.
<https://www.carrefour.fr/engagements/loop> (consulté le 26 août 2020).
- [29] « Tesco in partnership with Loop - Tesco Groceries ».
<https://www.tesco.com/groceries/en-GB/zone/loop> (consulté le 24 août 2020).
- [30] « FUSIONS : lutte contre le gaspillage alimentaire », *Deloitte France*.
<https://www2.deloitte.com/fr/fr/pages/sustainability-services/articles/fusions-lutte-contre-le-gaspillage-alimentaire.html> (consulté le 25 août 2020).
- [31] F. Wikström, H. Williams, J. Trischler, et Z. Rowe, « The Importance of Packaging Functions for Food Waste of Different Products in Households », *Sustainability*, vol. 11, n° 9, p. 2641, mai 2019, doi: 10.3390/su11092641.
- [32] *LOI n° 2018-938 du 30 octobre 2018 pour l'équilibre des relations commerciales dans le secteur agricole et alimentaire et une alimentation saine, durable et accessible à tous - Article 62*. 2018.
- [33] L. Sirieix, J. Lála, et K. Kocmanová, « Understanding the antecedents of consumers' attitudes towards doggy bags in restaurants: Concern about food waste, culture, norms and emotions », *J. Retail. Consum. Serv.*, vol. 34, p. 153-158, janv. 2017, doi: 10.1016/j.jretconser.2016.10.004.
- [34] M. Miroso, Y. Liu, et R. Miroso, « Consumers' Behaviors and Attitudes toward Doggy Bags: Identifying Barriers and Benefits to Promoting Behavior Change », *J. Food Prod. Mark.*, vol. 24, n° 5, p. 563-590, juill. 2018, doi: 10.1080/10454446.2018.1472699.
- [35] 14:00-17:00, « ISO 14040:2006 », *ISO*.
<https://www.iso.org/cms/render/live/fr/sites/isoorg/contents/data/standard/03/74/37456.html> (consulté le 26 août 2020).
- [36] 14:00-17:00, « ISO 14044:2006 », *ISO*.
<https://www.iso.org/cms/render/live/fr/sites/isoorg/contents/data/standard/03/84/38498.html> (consulté le 26 août 2020).
- [37] « Ecolab - l'information environnementale au plus près des citoyens », *Ecolab - l'information environnementale au plus près des citoyens*.
<https://ecolab.ademe.fr/agribalyse> (consulté le 24 juillet 2020).

- [38] E. Pauer, B. Wohner, V. Heinrich, et M. Tacker, « Assessing the Environmental Sustainability of Food Packaging: An Extended Life Cycle Assessment including Packaging-Related Food Losses and Waste and Circularity Assessment », *Sustainability*, vol. 11, n° 3, p. 925, févr. 2019, doi: 10.3390/su11030925.
- [39] Économie circulaire - Ellen Macarthur Foundation ». <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/fr/economie-circulaire/concept> (consulté le 17 août 2020).
- [40] D. Wille, « Food loss and packaging », OVAM, 2012. <http://www.refreshcoe.eu/wp-content/uploads/2017/06/2015-Report-OVAM-Food-loss-and-packaging-DEF.pdf> (consulté le 10 juillet 2020).
- [41] G. Lonca, R. Muggéo, H. Tétreault-Imbeault, S. Bernard, et M. Margni, « A Bi-dimensional Assessment to Measure the Performance of Circular Economy: A Case Study of Tires End-of-Life Management », in *Designing Sustainable Technologies, Products and Policies*, E. Benetto, K. Gericke, et M. Guiton, Éd. Cham: Springer International Publishing, 2018, p. 33-42.
- [42] W. Willett et *al.*, « Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems », *The Lancet*, vol. 393, n° 10170, p. 447-492, févr. 2019, doi: 10.1016/S0140-6736(18)31788-4.
- [43] « Ministère des Solidarités et de la Santé - », *Ministère des Solidarités et de la Santé*. <http://solidarites-sante.gouv.fr/> (consulté le 24 juillet 2020).
- [44] B. Jeannequin, D. Plénet, F. Carlin, J.-E. Chauvin, et F. Dosba, « Pertes alimentaires dans les filières fruits, légumes et pomme de terre. », 2015, doi: 10.15454/1.4622706360085347E12.
- [45] « CTIFL - Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes ». <https://www.ctifl.fr/> (consulté le 25 août 2020).
- [46] « Home - Apeel Sciences ». <https://apeelsciences.com/> (consulté le 24 août 2020).
- [47] P. Roy, D. Nei, H. Okadome, N. Nakamura, T. Orikasa, et T. Shiina, « Life cycle inventory analysis of fresh tomato distribution systems in Japan considering the quality aspect », *J. Food Eng.*, vol. 86, n° 2, p. 225-233, mai 2008, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.09.033.
- [48] M. Francis, « A Comparison of modified atmosphere packaging under ambient conditions and low temperatures storage on quality of tomato fruit », p. 12.
- [49] V. Mérendet, « La commercialisation des endives, effet des films protecteurs contre le verdissement », *Infos CTIFL*, n° 335, oct. 2017.
- [50] « Ecolab - l'information environnementale au plus près des citoyens », *Ecolab - l'information environnementale au plus près des citoyens*. <https://ecolab.ademe.fr/transport> (consulté le 25 août 2020).
- [51] Citéo, « Guide méthodologique Bilan Environnemental des Emballages », mai 2019. https://bee.citeo.com/pdfdoc/guide_methodologique.pdf (consulté le 07 juillet 2020).
- [52] « Single Market for Green Products - Environment - European Commission ». https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/ef_news.htm (consulté le 25 août 2020).



Contact

Bureau X-Food : xfood.secretariat@gmail.com

Devenez membre d'X-Food

[https://www.helloasso.com/associations/
x-food/adhesions/adhesion-a-x-food](https://www.helloasso.com/associations/x-food/adhesions/adhesion-a-x-food)