Fraunhofer
CCPE

FRAUNHOFER CLUSTER OF EXCELLENCE CIRCULAR PLASTICS ECONOMOMY CCPE

# LES SYSTÈMES RÉUTILISABLES À BASE DE PLASTIQUE DANS L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

## - UNE ANALYSE DE SYSTÈME

AU NOM DE LA FONDATION INITIATIVE MEHRWEG (SIM)

OBERHAUSEN/DORTMUND | AVRIL 2022

# SYSTÈMES RÉUTILISABLES À BASE DE PLASTIQUE DANS L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE - une analyse de système

**Auteurs :** Jürgen Bertling, Kerstin Dobers, Stephan Kabasci, Anna Schulte

**Contacts :**

**Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Techniques énergétiques UMSICHTOsterfelder** Straße 3, 46047 Oberhausen
www.umsicht.fraunhofer.de

Jürgen Bertling
juergen.bertling@umsicht.fraunhofer.de

**Institut Fraunhofer pour le flux de matériel et la logistique IML**
Joseph-von-Fraunhofer-Strasse 2-4, 44227 Dortmund
www.iml.fraunhofer.de

Dr. Kerstin Dobers
kerstin.dobers@iml.fraunhofer.de

**Photo de couverture :** Mario Iser, Jürgen Bertling © 2022

**mandant :** **STIFTUNG INITIATIVE MEHRWEG**
Taubenstraße 26, 10117 Berlin

**Responsable du dossier :**
Dr. Jens Oldenburg
j.oldenburg@stiftung-mehrweg.de

**édition :** Avril 2022

**Disponible sur Internet :** https://publica.fraunhofer.de
DOI : 10.24406/publica-11

**Conditions d'utilisation :** CC-BY-SA 4.0

**Mode de citation :** Bertling, J., Dobers, K., Kabasci, S. , Schulte, A. : Kunststoffbasierte Mehrwegsysteme in der Circular Economy - eine Systemanalyse, Oberhausen/Dortmund 2022

# Contenu


| | | |
|---|---|---|
| **1** | **Résumé** | **1** |
| 1.1 | Pourquoi cette étude ? | 1 |
| 1.2 | Coup d'œil sur trois systèmes réutilisables importants | 2 |
| 1.3 | Performance des systèmes réutilisables à base de plastique | 3 |
| 1.4 | Recommandations | 9 |
| 1.5 | Quinze questions et réponses | 14 |
| **2** | **Organisation et structure du présent rapport** | **19** |
| **3** | **Objectif de l'étude** | **21** |
| 3.1 | Objet et procédure | 21 |
| 3.2 | Présentation des résultats | 22 |
| **4** | **Aperçu théorique des systèmes à usage unique et réutilisables** | **23** |
| 4.1 | Systèmes à usage unique et réutilisables dans la perception du public | 23 |
| 4.2 | Définitions et classifications | 23 |
| 4.3 | Approche systémique des systèmes à usage unique et réutilisables | 25 |
| 4.4 | Comparaison préliminaire de la dépense d'énergie primaire entre réutilisables et à usage unique | 26 |
| 4.5 | Statut de la consommation d'emballages en Allemagne | 29 |
| 4.6 | Situation en matière de déchets et de substances | 30 |
| 4.7 | Instruments pour des investissements durables | 36 |
| **5** | **Systèmes étudiés et approche** | **39** |
| 5.1 | Les démonstrateurs de cette étude | 39 |
| 5.2 | Procédure - des catégories au profil du démonstrateur | 40 |
| 5.3 | Définition des paramètres : Taux de rotation, taux de perte, taux de casse, attrition | 43 |
| 5.4 | Gestion des incertitudes | 44 |
| **6** | **Évaluation des alternatives à usage unique et réutilisables à l'aide de catégories sélectionnées** | **45** |
| 6.1 | Catégories de circularité | 47 |
| 6.1.1 | Re-use/cycles et durée de vie | 47 |
| 6.1.2 | Efficacité et intensité des matériaux | 50 |
| 6.1.3 | Retours et pertes de matériaux | 52 |
| 6.1.4 | Réparabilité | 56 |
| 6.1.5 | Recyclabilité | 57 |
| 6.1.6 | Taux de recyclage | 62 |



© CCPE Fraunhofer

| | | |
|---|---|---|
| 6.1.7 | Part de matières recyclées | 64 |
| 6.1.8 | Émissions de matières plastiques | 67 |
| 6.2 | Catégories de performance | 70 |
| 6.2.1 | Besoin en surface et modularité | 71 |
| 6.2.2 | Réductibilité du volume | 74 |
| 6.2.3 | Protection des produits | 77 |
| 6.2.4 | Possibilité de numérisation | 81 |
| 6.2.5 | Frais de transport | 85 |
| 6.3 | Catégories de durabilité | 91 |
| 6.3.1 | Émissions de gaz à effet de serre | 93 |
| 6.3.2 | Dépenses énergétiques cumulées | 99 |
| 6.3.3 | Rentabilité relative | 103 |
| 6.3.4 | Souveraineté technologique | 107 |
| **7** | **Résultats pour les systèmes réutilisables étudiés** | **112** |
| 7.1 | Monter (conteneurs, caisses O+G) | 112 |
| 7.1.1 | Description de l'application | 112 |
| 7.1.2 | Statut des solutions à usage unique et réutilisables | 112 |
| 7.1.3 | Circularité, performance et durabilité | 114 |
| 7.1.4 | Potentiels d'optimisation | 118 |
| 7.2 | Plateaux à plantes | 120 |
| 7.2.1 | Description de l'application | 120 |
| 7.2.2 | Statut des solutions à usage unique et réutilisables | 121 |
| 7.2.3 | Circularité, performance et durabilité | 122 |
| 7.2.4 | Potentiels d'optimisation | 125 |
| 7.3 | Gobelets Coffee to go | 127 |
| 7.3.1 | Description de l'application | 127 |
| 7.3.2 | Statut des solutions à usage unique et réutilisables | 128 |
| 7.3.3 | Circularité, performance et durabilité | 130 |
| 7.3.4 | Potentiels d'optimisation | 133 |
| **8** | **Autres catégories sans évaluation** | **135** |
| 8.1 | Criticité des matériaux | 135 |
| 8.2 | Additifs critiques | 137 |
| 8.3 | Appauvrissement des ressources | 140 |
| **9** | **Annexe** | **142** |
| 9.1 | Calcul de comparaison pour la dépense d'énergie primaire | 142 |
| 9.2 | Entretiens d'experts réalisés | 144 |
| 9.3 | Limites de l'étude | 145 |
| 9.3.1 | Évaluation de la qualité des données | 145 |
| 9.3.2 | Comparabilité des études d'ACV | 146 |
| 9.4 | Données tabulaires relatives aux catégories étudiées | 148 |
| 9.4.1 | Nombre de rotations | 148 |
| 9.4.2 | Efficacité des matériaux | 149 |
| 9.4.3 | Retours et pertes de matériel | 151 |
| 9.4.4 | Réparabilité | 152 |



© CCPE Fraunhofer

| | | |
|---|---|---|
| 9.4.5 | Recyclabilité | 153 |
| 9.4.6 | Taux de recyclage | 155 |
| 9.4.7 | Part de matières recyclées | 156 |
| 9.4.8 | Besoin en surface et modularité | 158 |
| 9.4.9 | Réductibilité du volume | 159 |
| 9.4.10 | Protection des produits | 160 |
| 9.4.11 | Numérisabilité | 161 |
| 9.4.12 | Frais de transport | 162 |
| 9.4.13 | Émissions de gaz à effet de serre | 164 |
| 9.4.14 | Dépenses énergétiques cumulées | 169 |
| 9.4.15 | Rentabilité relative | 173 |
| 9.4.16 | Souveraineté technologique | 175 |
| **10** | **Bibliographie** | **177** |



© CCPE Fraunhofer

ERROR! USE THE HOME TAB TO APPLY ÜBERSCHRIFT 1 TO THE TEXT THAT YOU WANT TO APPEAR HERE.

# 1 Résumé

## 1.1 Pourquoi cette étude ?

La hiérarchie des déchets joue un rôle particulier dans la législation européenne et allemande sur les déchets. Elle définit un ordre de priorité dans la production et la manipulation des déchets. Cependant, une hiérarchie des déchets n'a de sens que si des avantages sont associés aux pratiques attribuées à un niveau par rapport aux pratiques des niveaux inférieurs. La hiérarchie des déchets donne donc la priorité aux options probablement les plus utiles par rapport à celles qui le sont moins, offrant ainsi une sorte de boussole. Pour que la hiérarchie des déchets soit respectée, l'action politique doit s'y référer davantage qu'auparavant, des systèmes d'incitation appropriés doivent être mis en place et leur non-respect doit être sanctionné.

Les actions économiques qui constituent une dérogation à la hiérarchie des déchets doivent être justifiées et ne doivent être possibles que sur la base de conditions clairement définies, comme l'exige le § 6 (2) de la loi sur le recyclage.[1] Un exemple correspondant est la clause de valeur calorifique qui, jusqu'en 2017, permettait une valorisation énergétique des déchets hautement calorifiques comme alternative à la valorisation mécanique. La clause de valeur calorifique a entre-temps été supprimée pour de bonnes raisons, elle n'a d'ailleurs guère favorisé le passage à l'économie circulaire.

Du point de vue de la loi sur le recyclage et de la directive-cadre européenne sur les déchets, la réutilisation des emballages constitue une stratégie importante de prévention des déchets et se situe donc au sommet de la hiérarchie des déchets. Le recyclage se situe en aval et n'arrive qu'au troisième niveau. Cela est également compréhensible dans la mesure où un emballage utilisé plusieurs fois peut être recyclé en fin de vie, mais pas l'inverse.

Malgré le fait que la réutilisation devrait avoir la priorité, elle est mentionnée dans le meilleur des cas comme une alternative dans les règlements, les directives et même les normes et les écolabels. Souvent, cette alternative est même limitée à certains domaines d'application. Dans la mesure où la primauté de la réutilisation est adressée, par exemple, dans des quotas, il n'y a jusqu'à présent pas de mise en œuvre appropriée des directives réglementaires.

Le présent rapport marque le début d'une série d'analyses et d'évaluations des systèmes réutilisables à base de plastique par rapport à leurs concurrents à usage unique. Dans un premier temps, trois systèmes réutilisables ont été analysés et ont montré si et dans quelles conditions ils présentent un avantage par rapport aux systèmes à usage unique. D'autres démonstrateurs réutilisables sont prévus pour l'avenir. Les analyses de cas individuels , basées sur un grand nombre de catégories

[1] Il peut s'agir, par exemple, de preuves d'une meilleure performance écologique ou d'aspects de la sécurité alimentaire.

d'évaluation, devraient permettre de tirer des conclusions généralisables, dans la mesure du possible, à partir d'un grand nombre de catégories d'évaluation.

Du point de vue des auteurs, les résultats plaident d'ores et déjà en faveur d'une mise en œuvre cohérente de la hiérarchie des déchets et donc de la primauté des systèmes réutilisables, de la formulation de conditions permettant de s'écarter de la hiérarchie des déchets et de la remise en question des écarts existants. Une telle démarche pourrait accélérer la mise en œuvre d'une économie circulaire et réduire l'impact environnemental des emballages. En outre, une plus grande diffusion des systèmes réutilisables permettrait d'activer les potentiels d'optimisation existants.

Le Green Deal et la taxonomie montrent clairement la volonté politique de l'UE. Il s'agit également de rendre les solutions durables réutilisables économiquement attractives pour les entreprises qui agissent, par rapport aux solutions à usage unique. La réorientation des flux de capitaux en les liant à des critères de durabilité solides, comme le prévoit la taxonomie, est un moyen approprié à cet effet. La coordination judicieuse des taux d'utilisation de matières recyclées (> 90 pour cent) lors de la production et des taux de rotation minimaux pour les systèmes réutilisables (> 10), telle qu'elle est actuellement discutée au sein des comités d'experts relatifs au règlement sur la taxonomie, semble appropriée à cet effet.

### 1.2 Coup d'œil sur trois systèmes réutilisables importants

L'étude analyse trois exemples d'application : les cagettes, les plateaux de plantes et les gobelets Coffee-to-go. Alors que les cagettes réutilisables sont déjà établies, les gobelets réutilisables sont en phase de lancement et les plateaux de plantes réutilisables sont en préparation pour une utilisation à grande échelle. Les cagettes sont un système d'emballage pour le commerce, les gobelets sont destinés à être distribués au consommateur final, les deux sont envisageables pour les plateaux de plantes.

Avec les trois démonstrateurs choisis, la présente étude se concentre exclusivement sur les systèmes en plastique pour les emballages réutilisables. Du point de vue des commanditaires et des auteurs, cela s'est avéré judicieux, car les propriétés des plastiques - longue durée de vie, inertie et légèreté - les recommandent tout particulièrement pour les systèmes réutilisables.


© CCPE Fraunhofer

Illustration 1:
Solutions réutilisables pour cageots, gobelets et plateaux

## 1.3 Performance des systèmes réutilisables à base de plastique[2]

La performance des systèmes d'emballage à base de plastique peut être évaluée à l'aide d'un grand nombre de critères. Cet ensemble de critères ne peut guère être exhaustif, car le choix doit être fait en fonction de l'application et est également influencé par les attitudes et les convictions des évaluateurs. Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes principalement concentrés sur les aspects que nous considérons comme les plus pertinents pour une gestion moderne, durable et souveraine de l'entreprise, en accord avec les évolutions réglementaires en matière de changement climatique et d'économie circulaire.

Nous considérons que les aspects de la circularité sont des facilitateurs importants pour une performance positive dans l'application et un meilleur impact sur la durabilité environnementale et sociale. Nous résumons ci-dessous les résultats obtenus pour les trois démonstrateurs dans les catégories analysées et tirons, dans la mesure du possible, des conclusions générales pour la comparaison entre les emballages réutilisables et les emballages à usage unique.

**Circularité**

Le **nombre de rotations** est le paramètre le plus important pour décrire la performance des systèmes réutilisables. Nos recherches ont montré que les systèmes B2B établis, comme les cagettes en plastique, atteignent des taux de rotation supérieurs à 100. Des valeurs équivalentes devraient également être possibles pour les bacs à plantes. Les premières expériences avec des gobelets réutilisables, y compris des études sur leur rinçage et les temps de rotation courts auxquels on peut s'attendre, permettent d'espérer des taux de rotation de 85.

Les systèmes réutilisables possèdent une grande **efficacité matérielle**. Dès un nombre de rotations de 5, l'utilisation de matériaux est nettement inférieure à celle des systèmes concurrents à usage unique. Avec un nombre de rotations élevé, mais réalisable dans la pratique, supérieur à 50, il est possible de réaliser des consommations de matériaux pour l'emballage inférieures à un gramme par litre de produit et par utilisation. Une valeur difficilement atteignable pour les systèmes

[2] Les détails, les calculs ainsi que les informations sur les sources utilisées se trouvent dans les chapitres qui traitent en détail de chaque catégorie et de chaque démonstrateur. Pour des raisons de clarté, nous avons renoncé à les répéter ici.


© CCPE Fraunhofer

à usage unique. L'augmentation future du nombre de rotations permettra d'accroître encore l'efficacité matérielle des systèmes réutilisables.

Le **taux de retour** détermine la part qui peut faire l'objet d'une valorisation matière, qu'il s'agisse de réutilisation ou de recyclage. Les systèmes réutilisables atteignent facilement des valeurs supérieures à 90 pour cent, les systèmes établis même plus de 99 pour cent.[3] Des taux de retour aussi élevés sont impossibles à atteindre pour les systèmes à usage unique. Même les caisses en carton, pour lesquelles la récupération des matériaux par la filière du vieux papier est établie, atteignent dans le meilleur des cas une valeur de 87 %. Les plateaux à plantes jetables atteignent un taux de retour de 55% grâce à une logistique de retour partiellement existante et spécifique à la branche. Pour les gobelets jetables en papier, on admet une valeur maximale de 57 %, car une grande partie de ces emballages à emporter est acheminée vers le recyclage thermique via les poubelles publiques et est donc perdue pour le recyclage des matériaux.

En règle générale, la **réparabilité** des emballages n'est pas prévue. Néanmoins, il existe un retour d'information permanent sur les faiblesses de l'emballage via le circuit du système d'emballage, qui peut également conduire à moyen terme à un re-design prévoyant des composants remplaçables et donc une réparation. C'est le cas pour les caisses réutilisables et c'est envisageable à long terme pour les plateaux de plantes réutilisables et les gobelets réutilisables. En revanche, les systèmes à usage unique seront toujours conçus de manière non réparable.

Les systèmes réutilisables considérés dans le cadre de cette étude sont fabriqués à partir de monomatériaux très facilement recyclables, en général du polyéthylène ou du polypropylène. Cela vaut aussi bien pour la **recyclabilité** de principe de ces thermoplastiques que pour la recyclabilité pratique, car les technologies et les infrastructures de recyclage pour le retraitement de ces plastiques font partie de l'état de l'art en Allemagne et en Europe. Les systèmes à usage unique sont généralement fabriqués à partir des mêmes matières plastiques ou de papier, de carton ou de carton et sont donc également facilement recyclables. Les plateaux à plantes jetables en polystyrène constituent une exception, dont la recyclabilité pratique doit être classée moins bonne en raison de la diminution des quantités au cours des dernières années.

En conséquence, les emballages réutilisables qui sont mis au rebut dans le cadre des systèmes de circulation en raison de dommages ou d'usure sont généralement aussi recyclés en tant que matière première. Les **taux de recyclage** indiqués pour les exemples considérés sont supérieurs à 80%. Pour les systèmes à usage unique en papier, carton et carton (jetables, gobelets jetables), des valeurs supérieures à 80 pour cent sont également atteintes. En revanche, les plateaux à plantes jetables restent à la traîne avec un taux de recyclage d'environ 50 pour cent seulement.

L'utilisation de matériaux recyclés dans la fabrication des emballages réutilisables est encore très différenciée : les plateaux à plantes réutilisables sont presque entièrement fabriqués à partir de matériaux recyclés, la **part de matériaux recyclés**

3 Les caisses endommagées et triées ne font pas baisser le taux de retour, mais seulement la démarque inconnue, voir chapitre 5.3.

**dans** les caisses réutilisables varie de zéro à soixante-dix pour cent, soit une moyenne de vingt pour cent, et la part de matériaux recyclés dans les gobelets réutilisables est encore plus faible. La raison invoquée pour expliquer la faible utilisation de matériaux recyclés dans les cagettes et les gobelets est la réglementation relative aux matériaux destinés au contact alimentaire. Pour les systèmes à usage unique, les cagettes atteignent des taux de recyclage de plus de 83 % ; pour les plateaux à plantes, le taux de recyclage dépend du fabricant et ne dépassera pas 50 % en moyenne, mais peut atteindre 100 % dans certains cas. Pour des raisons fonctionnelles, les gobelets jetables ne sont pas fabriqués à partir de matériaux secondaires.

**Les émissions de plastique ont** lieu suite à l'usure et à l'abrasion ainsi qu'au littering. En règle générale, les systèmes consignés ne subissent que peu de littering et sont souvent rapidement récupérés afin d'encaisser la consigne. Néanmoins, les plateaux réutilisables et les plateaux à plantes réutilisables, qui sont soumis à de fortes contraintes mécaniques, peuvent présenter une usure, de sorte que de faibles émissions se produisent. Les plateaux jetables sont nettement moins solides que les plateaux réutilisables. Les dommages, les ruptures et l'usure, et par conséquent le littering, sont donc plus probables. Dans le cas des plateaux jetables en carton, le carton lui-même est certes bien dégradable, de sorte que le littering et l'abrasion ne sont pas aussi critiques. Mais dans de nombreux cas, les cartons contiennent des encres, des colles, des rubans adhésifs ou des ficelles polymères, qui doivent être considérés comme des émissions de plastique. Après leur introduction généralisée, les gobelets réutilisables ne devraient guère être victimes de littering en raison de la consigne, et l'abrasion est également peu probable. Du point de vue de la prévention des émissions de plastique, il serait important de prévoir une possibilité de retour même si le gobelet est endommagé. Les gobelets jetables sont un objet classique de la littering, que l'on trouve en grande quantité lors des nettoyages. Comme les gobelets sont au moins recouverts de plastique, cela entraîne des émissions.

**Performance**

Les dimensions extérieures des systèmes d'emballage doivent être aussi standardisées que possible et s'adapter aux systèmes de stockage et de transport - ils doivent présenter une grande **modularité**. Nous constatons cette modularité surtout dans les systèmes réutilisables, qui se sont généralement développés parallèlement aux systèmes de transport. Les systèmes à usage unique s'en sortent généralement moins bien ici en raison de l'individualisation et de la différenciation - souvent en raison de la pression de la concurrence. En ce qui concerne les gobelets, nous ne reconnaissons toutefois pas encore d'avantages aux solutions réutilisables par rapport aux solutions jetables en termes de modularité.

La **possibilité de réduire le volume, surtout** lors du transport à vide et de l'élimination, est d'une grande importance pour des processus de stockage et de transport efficaces. Les systèmes réutilisables modernes, grâce à leur construction mince, leur capacité d'emboîtement ou leur pliabilité, ont permis de réaliser de nets progrès par rapport aux premières variantes répandues auparavant. Pour les cageots, les systèmes à usage unique et les systèmes réutilisables sont donc déjà à

égalité. Pour les plateaux à plantes et les gobelets, pour lesquels les solutions réutilisables n'ont pas une histoire aussi longue et ne sont pas encore aussi répandues, les systèmes à usage unique se montrent aujourd'hui encore supérieurs en ce qui concerne la possibilité de réduire le volume.

La **protection du produit** est l'une des fonctions essentielles de l'emballage. Les systèmes réutilisables permettent, grâce à l'utilisation d'un plus grand nombre de matériaux, d'obtenir des modèles plus robustes qui augmentent la capacité d'empilement et réduisent la casse lors du transport et de la manipulation. Ces avantages sont particulièrement visibles dans le cas des cageots et des gobelets Coffee-to-go. Pour ces derniers, le taux de casse des emballages réutilisables est environ cinq à dix fois inférieur à celui des emballages jetables. Pour les gobelets, la protection du produit est également étroitement liée à la protection contre les brûlures - un aspect important en faveur du système réutilisable. En ce qui concerne les plateaux pour plantes, nous voyons encore aujourd'hui des avantages dans les systèmes à usage unique qui, grâce à une grande diversité de produits, permettent une adaptation parfaite à la plante ou au pot de plante. Des systèmes réutilisables adaptés sont en cours de développement, mais leur introduction n'a pas encore eu lieu.

La question de savoir si un emballage présente une grande **capacité de numérisation dépend d'**une part de l'importance des coûts des codes optiques ou des radio-étiquettes et d'autre part de la possibilité de transmettre des informations tout au long du cycle de vie. Ce dernier point est particulièrement important dans le cas d'un circuit non destructif. C'est le cas de tous les systèmes réutilisables étudiés. Pour les caisses à usage unique, les codes optiques (code-barres, code QR) sont également répandus aujourd'hui. En revanche, des radio-étiquettes plus élaborées pour la saisie des pulsations ou même des indicateurs permettant de saisir l'état du produit semblent exclus pour tous les systèmes à usage unique. On peut donc s'attendre à une extension des fonctionnalités d'emballage à la fois exigeante et respectueuse de l'environnement, surtout dans le système réutilisable.

Le **coût du transport** est un critère important pour l'évaluation comparative des systèmes d'emballage. La distance de transport est, avec le volume et le poids de l'emballage, le paramètre central. On attribue souvent aux systèmes réutilisables des distances de transport plus élevées en soi. Notre analyse montre cependant que la situation est différente si l'on tient compte de la distance de transport pour la production et l'élimination des emballages à usage unique. Tant pour les cagettes que pour les plateaux à plantes, les distances de transport de 250 à 500 kilomètres par utilisation sont nettement inférieures à celles des systèmes concurrents à usage unique, qui nécessitent des distances de transport de 500 à 1000 kilomètres, même dans leur état optimisé. Il n'est pas encore tenu compte du fait que les systèmes réutilisables favorisent, le cas échéant, une plus grande régionalisation de l'économie.

**Durabilité**

L'indicateur **des émissions de gaz à effet de serre** est actuellement la catégorie d'impact la plus discutée pour évaluer l'impact environnemental. Comme il s'agit d'une catégorie d'impact liée à la production, la valeur des émissions de gaz à effet de serre résulte également, entre autres, de la performance et du recyclage des différents systèmes d'emballage. Les systèmes réutilisables à base de plastique étudiés présentent globalement des émissions de gaz à effet de serre plus faibles par unité de service,[4] c'est-à-dire qu'ils obtiennent globalement de meilleurs résultats que les systèmes à usage unique respectifs composés de différents matériaux. Dans tous les cas, le nombre de rotations et les structures de distribution ont été décisifs pour l'avantage d'un système réutilisable. Plus le nombre de rotations est élevé et plus les distances de transport sont faibles, par exemple grâce à une gestion de pool décentralisée, plus les variantes réutilisables sont avantageuses par rapport aux variantes à usage unique.

L'**effort énergétique cumulé** est une donnée importante du bilan physique et représente la somme de l'effort énergétique primaire dépensé pour un produit ou un service. Comme pour les émissions de gaz à effet de serre, cette catégorie est indiquée par unité de service. Bien qu'une partie importante de l'énergie primaire puisse être partiellement récupérée en fin de vie, surtout pour les systèmes à usage unique en carton, la dépense énergétique cumulée pour tous les systèmes réutilisables étudiés est en moyenne meilleure que pour les systèmes à usage unique. Comme pour les émissions de gaz à effet de serre, ce résultat dépend également du nombre de rotations et de la distance de transport par unité de service. Étant donné que la production de systèmes réutilisables nécessite en général une quantité d'énergie primaire cumulée plus élevée par unité, cette dépense supplémentaire doit être compensée par un nombre de rotations correspondant. Ce qui a toutefois été clairement réussi dans tous les cas étudiés.

Les systèmes réutilisables présentent une **rentabilité relative** améliorée pour un coût de transport comparable à celui des systèmes concurrents à usage unique.[5] Dans toutes les applications étudiées, les systèmes réutilisables étaient déjà compétitifs à partir de 5 rotations et clairement avantagés à partir de 50 rotations. Pour les systèmes réutilisables avec un nombre élevé de rotations, comme c'est le cas pour Steigen et comme on peut s'y attendre pour les plateaux de plantes, les coûts spécifiques du cycle de vie sont inférieurs à 1 centime d'euro par utilisation et par litre de produit de remplissage (sans compter les coûts de transport et de stockage). Pour les systèmes à usage unique tels que les cagettes et les plateaux à plantes, ces coûts se situent plutôt autour de 4 centimes d'euro par utilisation et par litre de produit rempli, et pour les gobelets jetables, ils dépassent même 16 centimes d'euro par utilisation et par litre de produit rempli.

La pandémie Corona et la crise russo-ukrainienne ont clairement montré que la dépendance vis-à-vis des matières premières a des conséquences dramatiques sur l'évolution des prix et la disponibilité des matières premières, des matériaux et des produits intermédiaires. Le concept de **souveraineté technologique** prend donc de

4 Afin de comparer les systèmes à usage unique et les systèmes réutilisables, l'unité de service a été définie ici comme une circulation de 1000 litres de produit emballé.

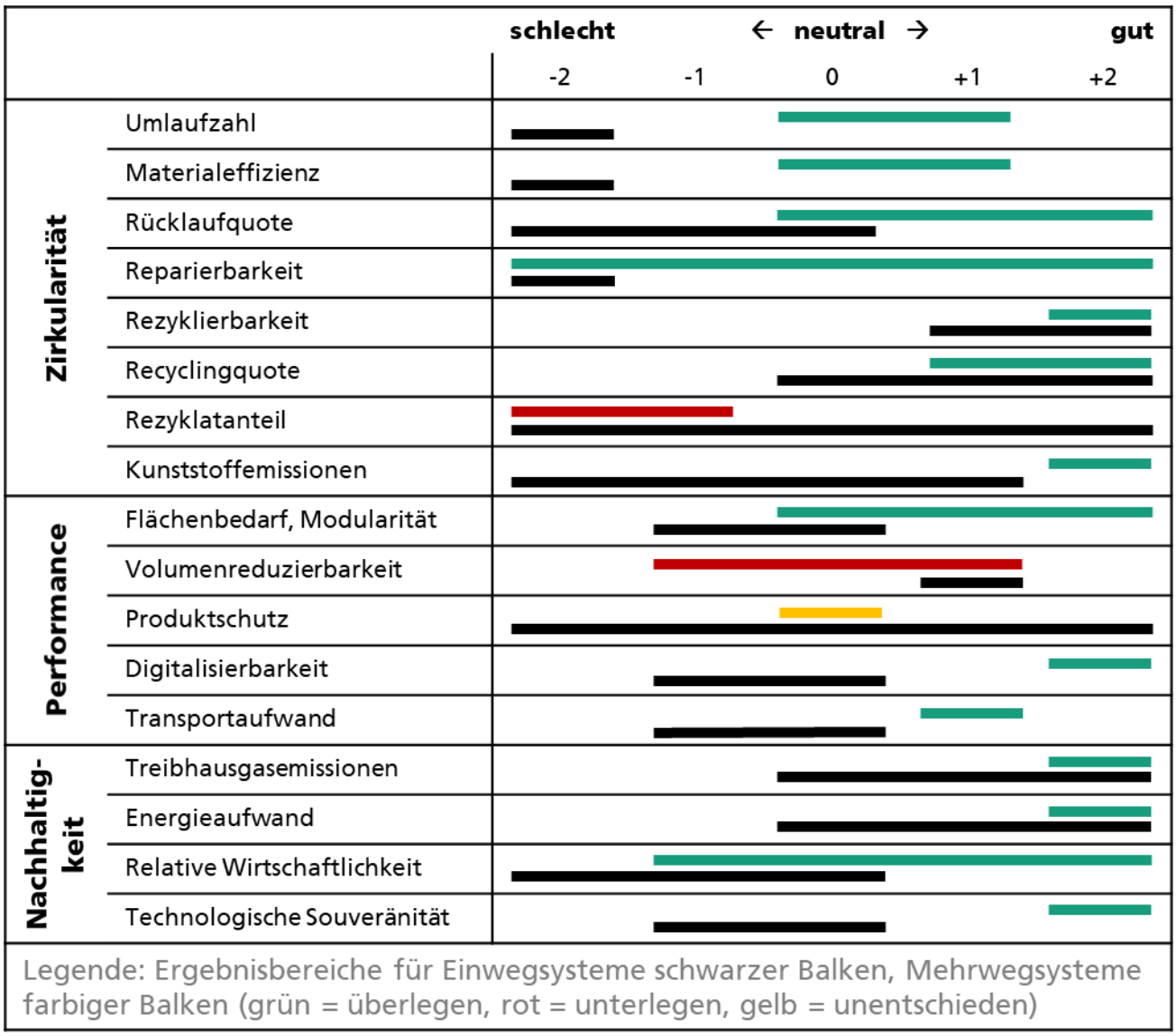
5 Pour la définition spécifique de la rentabilité relative dans cette étude, voir la section 6.3.3

plus en plus d'importance dans la politique et l'économie. D'un point de vue national et entrepreneurial, un système technique est d'autant plus indépendant qu'il n'est pas nécessaire d'importer des composants de la chaîne en amont. Pour cette étude, l'indicateur utilisé est l'indépendance des importations pour le matériau principal du système d'emballage. Pour tous les systèmes réutilisables, celle-ci a atteint des valeurs supérieures à 95 %, car seule une petite partie doit être importée pour couvrir les pertes. Les systèmes réutilisables en plastique s'en sortent donc même nettement mieux que le papier et le carton, bien que l'industrie papetière allemande gère une grande partie des déchets en circuit fermé et atteigne ainsi un taux d'indépendance élevé vis-à-vis des importations, de 80 à 90 pour cent, pour les cageots et les gobelets Coffee-to-go. Nous constatons la plus faible indépendance vis-à-vis des importations pour les plateaux à plantes jetables, avec seulement 71 pour cent environ. Les systèmes réutilisables apportent donc également une contribution importante à la souveraineté technologique.

Au total, nous avons considéré 17 catégories pour les trois démonstrateurs, en analysant les données disponibles dans la littérature et les interviews d'experts, et en effectuant nos propres calculs. Pour 14 de ces catégories, les systèmes réutilisables étudiés ont été clairement avantagés. Dans deux cas, les systèmes à usage unique sont avantagés et dans une catégorie, le résultat est indécis. (Figure 2).


© CCPE Fraunhofer

Figure 2: Comparaison des résultats de l'évaluation dans 17 catégories pour les trois systèmes réutilisables et jetables étudiés (cagettes, plateaux à plantes, gobelets Coffee to go)




## 1.4 Recommandations

Les résultats de cette étude montrent que les systèmes réutilisables présentent des avantages par rapport aux systèmes à usage unique. Mais cette constatation ne fait finalement rien de plus que confirmer l'attente déjà intégrée dans la hiérarchie des déchets, à savoir que la réutilisation par des systèmes réutilisables constitue l'étape supérieure et prioritaire dans le traitement des déchets. Il est donc d'autant plus surprenant que les emballages réutilisables constituent plutôt une niche que la norme. Les recommandations qui suivent ont donc deux objectifs principaux :

1. proposer des pistes pour la mise en œuvre de la hiérarchie des déchets et donc un changement vers plus de réutilisation, et

2. de mettre en évidence les potentiels d'optimisation des systèmes réutilisables, afin qu'ils puissent développer leurs avantages déjà existants par rapport aux systèmes à usage unique et combler les lacunes encore présentes dans 2 des 15 catégories étudiées

Dans ce contexte, les auteurs de cette étude formulent les recommandations suivantes :

**... pour les associations et organisations du secteur des produits réutilisables**

- Les associations devraient promouvoir les initiatives visant à créer des solutions sectorielles (européennes) afin d'éviter les solutions isolées de certains fournisseurs.

- Les systèmes réutilisables devraient, dans la mesure du possible, être normalisés au niveau national et international afin d'optimiser les processus logistiques. Les tables rondes et les activités de normalisation de tous les acteurs impliqués dans le cycle de vie d'un emballage réutilisable peuvent y contribuer. Il faut veiller à ce que la normalisation soit ouverte à l'innovation.

- Les associations du secteur des emballages réutilisables devraient soutenir et coordonner l'introduction de systèmes réutilisables à grande échelle, qui nécessitent une entreprise et une coopération entre les différents niveaux de la chaîne de valeur.

- Des références de réutilisation devraient être définies pour les différentes applications d'emballage et leur performance en matière de durabilité devrait être déterminée. Les systèmes réutilisables alternatifs et les emballages à usage unique devraient s'orienter sur ces références.

- Les labels et les écolabels devraient permettre de distinguer clairement les emballages réutilisables des emballages jetables consignés et/ou recyclés. L'objectif est de rendre transparentes pour les consommateurs les différences qualitatives entre réutilisation et recyclage.

- Des normes et des règles d'analyse du cycle de vie doivent être développées pour les écobilans comparatifs des emballages réutilisables et à usage unique. ("Product Category Rules", PCR), qui sont déjà établies dans le secteur de la construction, par exemple. La performance de durabilité de la référence réutilisable pourrait également être évaluée sur la base de ces PCR.

**... pour la politique**

- L'accent mis sur les taux de recyclage conduit au downcycling, à l'invention de nouvelles applications pour les produits recyclés et n'exerce qu'une faible pression sur la conception de produits adaptés au recyclage. Il convient donc d'abandonner les objectifs de taux de recyclage et d'exiger

des pourcentages de recyclats dans la production. Parallèlement, l'utilisation de matières recyclées dans la production de matières plastiques (environ 13,4 %) montre très clairement qu'une économie circulaire des matières plastiques est difficilement envisageable sans une extension drastique des systèmes de réutilisation.[6]

- Une taxe d'incitation forfaitaire sur les systèmes à usage unique, comme celle demandée pour les emballages de boissons, serait une option pour atteindre des taux de réutilisation ambitieux. Une taxe d'incitation renchérit les emballages à usage unique et a un effet favorable sur les emballages réutilisables. Mais la taxe d'incitation pourrait également entraîner le passage à des emballages ou produits jetables moins chers. Elle ne suffirait donc probablement pas à elle seule à provoquer un changement en faveur des emballages réutilisables pour toutes les tâches d'emballage imaginables. Il conviendrait notamment d'envisager des mesures permettant d'évaluer plus précisément la meilleure solution écologique pour une tâche d'emballage concrète.

- Il est donc nécessaire d'ajouter à la norme minimale de recyclabilité des emballages à usage unique une preuve de l'avantage écologique par rapport à un système de référence réutilisable concurrent. Cela peut se faire à l'aide d'analyses de cycle de vie standardisées (idéalement basées sur des règles de catégories de produits (PCR)) ou, si celles-ci ne sont pas disponibles, à l'aide de catégories simples telles que celles développées dans le cadre de cette étude (efficacité des matériaux , pourcentage de matières recyclées, émissions de plastique, souveraineté, etc.) Pour les emballages à usage unique qui s'avèrent désavantageux par rapport à un système réutilisable référence, il conviendrait de percevoir, en plus de la redevance actuelle, un supplément qui tienne compte des coûts environnementaux supplémentaires par rapport à un système réutilisable. Celle-ci devrait être utilisée en faveur du développement et de la diffusion de systèmes réutilisables écologiquement avantageux . L'organisation et le contrôle pourraient être assurés par la Centrale des registres d'emballages. Des solutions analogues doivent être développées pour les systèmes d'emballage qui ne sont pas soumis à l'obligation de participation.

- Une taxe spécifique sur les plastiques, basée sur la part non recyclée d'un emballage, aurait un impact positif sur le système de réutilisation. En revanche, la taxe nationale forfaitaire sur les plastiques actuellement appliquée pour financer le budget de l'UE est trop peu spécifique. Elle entraîne en fin de compte des coûts plus élevés pour tous les plastiques et ne distingue pas si les applications concrètes sont écologiquement avantageuses ou désavantageuses. Compte tenu du renchérissement actuel et attendu à long terme des matières premières fossiles et de leur

6 La part de matériaux recyclés dans les systèmes à usage unique correspond à peu près au taux de retour dans les systèmes réutilisables. Ce dernier est nettement plus élevé.

éventuelle raréfaction par des sanctions, on peut en outre se demander si une taxe est nécessaire et socialement acceptable.

- Certains systèmes réutilisables constituent également une alternative plus durable aux emballages jetables dans le cadre du commerce international, par exemple entre l'UE et les pays riverains comme le Royaume-Uni, la Suisse et les pays des Balkans occidentaux. Le risque est que les produits en plastique réutilisables soient soumis à des taxes sur le plastique déjà introduites ou bientôt mises en œuvre à chaque fois qu'ils circulent à travers les frontières des zones économiques. Les législateurs à Bruxelles, dans les États membres de l'UE et chez les partenaires commerciaux à l'étranger doivent mettre en place des règles permettant d'exclure de tels paiements de taxes qui grèvent les systèmes réutilisables.

- Il est nécessaire que le règlement délégué sur l'économie circulaire, nécessaire dans le cadre de la taxonomie de l'UE et qui se trouve encore dans la phase préparatoire, contienne des règles plus étendues pour une économie circulaire réussie.[7] Il faut également prendre en compte le fait de rendre les solutions durables réutilisables économiquement attractives pour les entreprises qui agissent, par rapport aux solutions à usage unique. La réorientation des flux de capitaux en les liant à des critères de durabilité solides, comme le prévoit la taxonomie, est un moyen approprié à cet effet. L'harmonisation judicieuse des taux d'utilisation de matières recyclées (> 90 pour cent) lors de la production et des taux de rotation minimaux pour les systèmes réutilisables (> 10), comme cela est actuellement discuté au sein des comités d'experts concernant le règlement sur la taxonomie, devrait être mise en œuvre à cet effet.

**...pour les fabricants de systèmes d'emballage réutilisables**

- L'optimisation du nombre de rotations devrait être l'un des principaux objectifs du développement de produits et de systèmes. Pour les systèmes réutilisables, il convient de viser une valeur moyenne de 100. Pour augmenter le nombre de rotations, il est par exemple judicieux d'optimiser la résistance à la rupture des caisses pliables. Le cas échéant, de nouvelles procédures de test fixées dans des normes pourraient être utiles. L'amélioration de la communication avec les utilisateurs ou les systèmes d'incitation visant à réduire la déperdition pourraient également faire l'objet d'optimisations.

- Il convient d'augmenter la part de matières recyclées là où cela est autorisé en termes de sécurité alimentaire, en utilisant également des matières premières secondaires provenant d'autres applications pour les pools nouveaux ou en expansion.

7 Initialement, une publication était prévue pour le 31 décembre 2021, mais cela n'a pas encore eu lieu au moment de la publication de cette étude. L'ensemble de la taxonomie, y compris le règlement délégué sur l'économie circulaire, devrait être mis en vigueur d'ici 2023.

- Les matériaux (plastiques et additifs) de différents fabricants devraient être recyclables ensemble. Les matériaux individualisés ne devraient être utilisés que pour les pools fermés. Lors de l'utilisation d'additifs, il est nécessaire d'anticiper afin de ne pas compromettre la recyclabilité en cas de renforcement des exigences environnementales (voir la discussion sur les "additifs hérités" tels que les retardateurs de flamme bromés dans les matières recyclées actuelles).

- Dans la mesure du possible, il convient d'utiliser des solutions monomatériaux. Les emballages composés de plusieurs matériaux devraient pouvoir être facilement démontés en composants monomatériaux au cours du processus de recyclage.

- Des efforts intensifs devraient être faits pour rendre les emballages réutilisables plus compacts (en les emboîtant, en les pliant, etc.). Tout ce qui permet de rendre l'emballage réutilisable plus léger, plus petit et mieux adaptable au produit se révèle être un avantage dans de nombreuses catégories considérées.

- La conception des emballages réutilisables devrait être optimisée afin d'améliorer encore l'efficacité du nettoyage. Il convient d'étudier la possibilité d'un rafraîchissement non destructif (par exemple par imprégnation à haute pression) des emballages réutilisables afin de lutter contre le vieillissement ou les phénomènes liés au vieillissement tels que la décoloration ou la fragilisation des matériaux et d'augmenter leur durée de vie.

- Les potentiels de la numérisation devraient être encore plus exploités, surtout pour les emballages dans le secteur B2C. La séparation de la fonction de communication de l'emballage proprement dit offre un grand potentiel pour de nouvelles fonctions intelligentes (informations sur le produit, comportement d'utilisation, lieux de retour, etc.)

**...pour les exploitants de piscines**

- Pour chaque système multi-emballages, il convient d'estimer, avant son lancement, un nombre minimal de rotations à partir duquel on est sûr d'obtenir un avantage écologique par rapport aux systèmes à usage unique. Il convient ensuite de vérifier si ce nombre de rotations semble pouvoir être atteint de manière réaliste lors de l'exploitation du système.

- Pour chaque système réutilisable important en termes de quantité, il convient d'installer un système de suivi permettant de rendre compte régulièrement et de manière transparente du nombre moyen de rotations atteint par un système réutilisable jusqu'à son élimination pour cause de perte ou de casse. Une comparaison du nombre réel de rotations avec le nombre minimum de rotations calculé au préalable devrait être présentée de manière transparente et peut, le cas échéant, servir à communiquer régulièrement les avantages du système réutilisable.

- Les techniques de nettoyage et la conception d'emballages réutilisables devraient être coordonnées. Lorsque cela est possible, il convient d'évaluer la nécessité d'un nettoyage avant de le réaliser, afin d'économiser les ressources.

- L'utilisation de possibilités de numérisation doit permettre d'atteindre un taux de rotation plus élevé pour les systèmes. Cela permettra d'augmenter encore l'efficacité des systèmes.

## 1.5 Quinze questions et réponses

Nous avons rassemblé ci-dessous quinze questions fréquemment posées sur les solutions réutilisables et les réponses que les auteurs considèrent comme correctes à ces questions. Cette FAQ doit permettre à ceux qui sont intéressés par le sujet, mais qui ne souhaitent pas parcourir le rapport complet, d'avoir un aperçu rapide et d'entrer facilement dans le vif du sujet.

**1Conseil politique scientifique : les études sur l'impact environnemental des différentes solutions d'emballage sont-elles vraiment utiles pour orienter les politiques ?**

Aucune étude ne peut couvrir tous les cas d'application possibles et donc clarifier une fois pour toutes ce qu'il convient de faire. Cette étude ne fait pas exception à la règle. Néanmoins, il est nécessaire de formuler des recommandations générales pour les processus politiques, les stratégies d'entreprise ou le comportement des consommateurs afin de guider l'action. La présente étude montre que les emballages réutilisables présentent de nombreux avantages. Nous pensons donc qu'ils devraient être la solution par défaut. Mais il y aura également des domaines d'application judicieux pour les solutions à usage unique, mais celles-ci devraient, selon nous, être légitimées au cas par cas par la preuve de leurs avantages, conformément aux directives politiques et juridiques.

**2Économie circulaire : comment mieux la réaliser avec le recyclage ou les emballages réutilisables ?**

La question suppose que le recyclage et la réutilisation (réutilisable) sont des alternatives qui s'excluent mutuellement. Ce point de vue est bien établi, mais il est à notre avis erroné. Une économie circulaire digne de ce nom exige la combinaison des deux stratégies. Ce n'est qu'à cette condition que le besoin en matériaux neufs et les effets négatifs sur l'environnement qui en découlent pourront être considérablement réduits. Cela signifie toutefois aussi que la priorité doit être donnée à la réutilisation non destructive, chaque fois que c'est possible[8] , suivie d'un recyclage mécanique. L'inverse n'est évidemment pas possible. Jusqu'à présent, la primauté des solutions réutilisables n'a pas été mise en œuvre dans la loi sur les emballages, bien qu'elle soit inscrite dans la hiérarchie des déchets de la

8 Les exigences en matière d'hygiène ou les distances de transport, par exemple, sont des facteurs limitants.

loi sur le recyclage. Seuls les emballages de boissons et les emballages de service font l'objet de prescriptions pour un quota, mais celles-ci sont peu contraignantes et doivent être considérées comme inefficaces si elles ne sont pas suivies de l'exécution nécessaire.

### 3Nouveaux systèmes réutilisables : Quels sont les défis liés à leur introduction ?

L'introduction de systèmes réutilisables est en effet coûteuse. Pour qu'ils fonctionnent, ils doivent atteindre une certaine taille. Il faut mettre en place suffisamment de surfaces de stockage, de points de retour (éventuellement des distributeurs de consignes), de capacités de nettoyage et de processus logistiques pour que le système soit attractif par rapport à la concurrence des produits jetables. La mise en place d'un tel système est donc généralement un processus impliquant plusieurs entreprises et chaînes de création de valeur, ce qui constitue également un défi en termes de concurrence et de droit des cartels. Les associations et la politique sont donc appelées à créer des conditions-cadres appropriées et à organiser des processus qui permettent la mise en place de ces systèmes. La reconnaissance du fait que de tels systèmes complexes ne peuvent pas être réalisés par le seul marché s'impose toutefois de plus en plus dans le monde politique et économique. Un soutien actif par le biais de programmes de recherche et la promotion d'investissements durables est donc nécessaire.

### 4Retour : les systèmes réutilisables n'entraînent-ils pas une charge logistique importante ?

Les systèmes réutilisables doivent être retournés pour être remplis après une étape de nettoyage. Dans l'hypothèse d'une économie circulaire, cela vaut également pour les systèmes à usage unique. Les produits recyclés doivent également être nettoyés et retournés au transformateur de plastique. L'inconvénient des systèmes réutilisables est le poids plus élevé de l'emballage et parfois le volume plus important qui doit être transporté. Les emballages réutilisables pliables ou emboîtables ainsi que ceux dont le poids est optimisé ont déjà permis de réaliser des optimisations considérables et il est encore possible d'en réaliser d'autres. En outre, les systèmes réutilisables renforcent la tendance à l'économie régionale, de sorte que les chaînes d'approvisionnement peuvent être globalement plus courtes qu'avec les alternatives à usage unique. Par ailleurs, les systèmes à usage unique entraînent naturellement des transports à vide, notamment pour l'élimination des déchets. L'avantage souvent revendiqué des emballages à usage unique en matière de transport n'est pas fondé dans sa globalité et ne tient pas la route.

### 5La consigne : Faut-il que cela fasse mal pour que les systèmes réutilisables soient avantageux ?

Plus la consigne est élevée, plus le taux de retour est important, ce qui a une influence positive sur l'impact environnemental d'un emballage. Par nature, il existe toutefois des limites à l'acceptation de frais de consigne élevés, car ceux-ci réduisent les liquidités des utilisateurs malgré le remboursement. Comme alternative à la consigne, il existe d'autres incitations ou possibilités

(technologiques) pour augmenter les taux de retour. Les logiciels de surveillance et de suivi, qui peuvent être utilisés surtout pour les systèmes réutilisables de grande valeur et de longue durée, en sont un exemple. Il existe des exemples qui fonctionnent bien dans le secteur B2B. Dans le secteur de la consommation finale, il existe déjà les premiers emballages réutilisables non consignés, pour lesquels les utilisateurs peuvent choisir, via un suivi numérique, entre les options d'utilisation gratuite avec retour ou d'achat.

## 6 Innovation : quoi de neuf dans les systèmes réutilisables ?

A l'avenir, nous pouvons nous attendre à une multitude de nouveaux systèmes réutilisables. Le commerce en ligne et le secteur des plats à emporter pourraient notamment proposer de nouvelles solutions intéressantes. Il sera toutefois nécessaire de créer des conditions-cadres et de convenir de standardisations afin d'exploiter le potentiel écologique des systèmes réutilisables. D'autres développements passionnants concernent des solutions telles que "Refill on the go" et "Refill at home", qui constituent des systèmes réutilisables au sens large. Elles nécessitent toutefois un net changement de comportement de la part des consommateurs. Jusqu'à présent, ils sont surtout utilisés pour les cosmétiques, les produits de lavage, de nettoyage et d'entretien. Grâce à l'étroite imbrication du système d'emballage et de la logistique de transport, les systèmes réutilisables offrent un grand potentiel d'optimisation qui n'est pas perceptible dans une telle mesure avec les produits à usage unique.

## 7Littering plastique : les emballages réutilisables peuvent-ils réduire la quantité de déchets plastiques dans l'environnement ?

Les systèmes d'incitation au retour des systèmes réutilisables sont un argument fort contre les déchets sauvages. En revanche, le retour des emballages à usage unique basé sur une participation financière ne comporte aucune incitation économique à prévenir le littering. L'élimination par le biais des systèmes duaux ou de l'environnement est en fin de compte neutre en termes de coûts pour la personne qui élimine les déchets. La perception d'amendes pour le littering et l'élimination illégale des déchets est certes prévue dans son intégralité et sur l'ensemble du territoire, mais elle est difficilement réalisable. Bien entendu, tous les emballages jetables, et pas seulement ceux des boissons, pourraient en outre être consignés. Mais les autres avantages des systèmes réutilisables ne pourraient pas être exploités de cette manière. La réutilisation est la solution évidente pour sortir de la société du tout-jetable !

## 8 Vivre sans plastique : Est-ce nécessaire et raisonnable ?

La renonciation est un élément nécessaire des stratégies de durabilité, même si sa mise en œuvre est difficile. Bien entendu, il est tout à fait envisageable et judicieux de renoncer aux emballages en plastique dans certains domaines. Mais si le plastique est remplacé par d'autres matériaux uniquement pour le plaisir de le remplacer, il vaut la peine d'y regarder de plus près. Le plastique est léger, durable et chimiquement très inerte. Dans de nombreux cas, ces propriétés lui confèrent également un avantage écologique par rapport à d'autres matériaux d'emballage.


© CCPE Fraunhofer

Les systèmes réutilisables combinent un renoncement partiel au plastique avec ses avantages écologiques. En particulier, le faible poids et la durabilité rendent le plastique particulièrement attractif pour les systèmes réutilisables. En revanche, les systèmes à usage unique ne peuvent pas exploiter le potentiel écologique du plastique en raison de leur courte durée de vie.

### 9 Culture de la réparation : vaut-il la peine de réparer les emballages ?

La plupart des emballages ne sont pas conçus pour durer ni pour être réparables. Ils ont ainsi clairement alimenté l'idée d'une société du tout jetable. En revanche, dans le cas des systèmes réutilisables, il existe un intérêt intrinsèque des exploitants du système pour la robustesse et l'interchangeabilité des composants défectueux. Dans le cas des emballages réutilisables, qui sont utilisés depuis longtemps, la réparation est déjà établie aujourd'hui. De nouvelles solutions techniques pour réparer les fissures ou rajeunir le matériau sont également envisageables à l'avenir. D'autres systèmes réutilisables et réparables pourraient donc également permettre à l'idée d'une culture de la réparation de prendre son essor. Il s'agit là d'une contribution considérable à la protection des ressources.

### 10 Changement climatique : les systèmes réutilisables à base de plastique entraînent-ils moins d'émissions de gaz à effet de serre que les systèmes à usage unique ?

Bien sûr, tous les emballages réutilisables ne sont pas supérieurs aux emballages jetables dans tous les cas d'application. Néanmoins, dans la plupart des domaines d'application étudiés jusqu'à présent, la multitude d'analyses de cycle de vie montre des avantages en termes d'émissions de gaz à effet de serre, surtout pour les systèmes réutilisables légers à base de plastique. C'est pourquoi il est judicieux, lorsque les deux systèmes existent, de fixer d'abord comme principe d'action l'utilisation d'emballages légers réutilisables et de ne recourir au système à usage unique que dans des cas particuliers justifiés. Cela correspondrait également à l'idée de base inscrite dans la hiérarchie des déchets.

### 11 Hygiène : les systèmes d'emballage réutilisables sont-ils critiques à cet égard ?

L'utilisation de gobelets, de récipients et de vaisselle réutilisables a fait l'objet d'une demande accrue par le passé. Néanmoins, il arrive parfois que l'on doute, actuellement de manière accrue en raison de la pandémie de Corona, que les systèmes réutilisables soient inoffensifs d'un point de vue hygiénique. La conformité des systèmes d'emballage réutilisables en plastique avec la législation sur les denrées alimentaires est garantie, comme pour tout matériau d'emballage, par des dispositions relatives à la sécurité et aux aspects sensoriels. Pour que les règles d'hygiène soient respectées lors de l'utilisation d'emballages réutilisables, il existe en outre des lignes directrices, des fiches d'information et des vidéos pédagogiques destinées à toutes les personnes travaillant dans la chaîne du processus de circulation. Pour ces raisons, et parce que les matériaux plastiques utilisés disposent de surfaces très faciles à nettoyer, l'utilisation d'emballages réutilisables peut en principe être considérée comme sans risque sur le plan de

l'hygiène. En outre, le circuit et le processus de nettoyage des emballages réutilisables sont nettement mieux définis et plus faciles à suivre que le recyclage des systèmes à usage unique.

### 12 Adieu individualisme : les systèmes réutilisables et les grandes piscines manquent-ils d'originalité ? Les solutions pour piscines manquent-elles d'originalité ?

La différenciation dans la concurrence exige toujours de nouveaux designs et fonctions individuels, même dans le secteur de l'emballage. Si l'on tente de le faire avec des systèmes réutilisables, cela peut entraîner des problèmes dans la logistique de retour et faire perdre les avantages des systèmes réutilisables. Cette question est actuellement débattue, par exemple, dans l'industrie des boissons, où des bouteilles spéciales ont également été utilisées dans le secteur des emballages réutilisables, qui doivent être ramenées sur de longues distances pour être remplies. La question se pose toutefois de savoir si l'individualisation par le biais de l'emballage est encore d'actualité. Les nouvelles possibilités offertes par la numérisation permettent d'étendre virtuellement l'emballage avec des fonctions et des avantages supplémentaires pour les personnes qui l'utilisent. Dans ce domaine, les emballages réutilisables, pour lesquels les radio-étiquettes, les capteurs et les interfaces utilisateur sont rentables d'un point de vue écologique et économique grâce au nombre élevé de rotations et au circuit non destructif, présentent de nets avantages par rapport aux emballages jetables. De nouveaux exemples d'application passionnants pourraient montrer dans les années à venir ce que les emballages réutilisables peuvent apporter.

### 13Responsabilité élargie des producteurs : les systèmes réutilisables sont-ils la meilleure réponse ?

Les systèmes réutilisables nécessitent par définition une reprise par le gestionnaire du pool ou le responsable de la mise sur le marché. En particulier en ce qui concerne les pratiques illégales ou non réglementées en fin de vie, les systèmes d'incitation (consigne, location) mis en place pour garantir le recyclage sont particulièrement performants. Dans leur propre intérêt, les fabricants et les exploitants de pools conçoivent leurs emballages et leurs systèmes de manière à pouvoir maintenir le cycle longtemps et sans pertes. Les circuits basés sur le recyclage, dans lesquels les produits recyclés ne sont que rarement réutilisés pour la même application et encore moins retournés au même fabricant, n'atteignent pas un tel niveau de responsabilité. Dans le cas des systèmes à usage unique, la tendance est plutôt au "loin des yeux, loin du cœur".

### 14Dépendance au pétrole brut : les emballages réutilisables à base de plastique n'augmentent-ils pas notre dépendance aux matières premières fossiles ?

Les systèmes réutilisables augmentent la quantité de matériaux stockés par l'homme dans les nations pauvres en matières premières comme l'Allemagne. Ils équilibrent ainsi les ressources naturelles inégalement réparties dans le sens des besoins et réduisent ainsi la dépendance aux importations et les risques d'entraves

au commerce. En fin de compte, la constitution de stocks anthropogènes par des systèmes réutilisables peut conduire à une plus grande souveraineté technologique, y compris dans le secteur de l'emballage. Les fermetures d'installations ("force majeure") chez les fabricants de plastique, qui sont signalées de plus en plus fréquemment, n'affecteraient guère les systèmes réutilisables.

### 15 Chiffres de circulation : Combien d'emballages jetables remplacent les systèmes réutilisables ?

La réponse à cette question dépend en principe du système utilisé. Pour les trois démonstrateurs examinés dans cette étude - les plateaux réutilisables, les plateaux à plantes réutilisables et les gobelets réutilisables - 70 à 100 rotations sont réalistes. Ils remplacent donc déjà la fabrication de 70 à 100 emballages jetables au cours d'un de leurs cycles de vie. Avec un tel nombre de rotations, les systèmes réutilisables sont nettement plus avantageux que les systèmes à usage unique pour presque tous les critères économiques et écologiques. En fin de vie, ils peuvent en outre marquer des points grâce à la très bonne recyclabilité de leur matériau. Dans le cas des systèmes à usage unique, le recyclage en boucle fermée n'a lieu qu'à titre exceptionnel (par exemple pour les bouteilles en PET à usage unique consignées). Au lieu de cela, le plastique de la plupart des emballages à usage unique doit être recyclé à partir d'une fraction de déchets mélangés ("sac jaune") largement indéfinie et, de plus, souillée par des restes de produits. Les matières recyclées qui en résultent ne conviennent guère pour le même usage, notamment dans le secteur alimentaire. Dans les systèmes réutilisables, il existe un matériau défini à la fin d'un premier cycle de vie, lorsqu'un emballage réutilisable doit être éliminé, par exemple en raison de dommages irréparables. Son utilisation est bien documentée tout au long du cycle de vie et sa composition matérielle est connue. Le matériau recyclé qui en résulte constitue donc la base de départ idéale pour les cycles de vie suivants, qui comptent chacun 70 à 100 cycles supplémentaires.

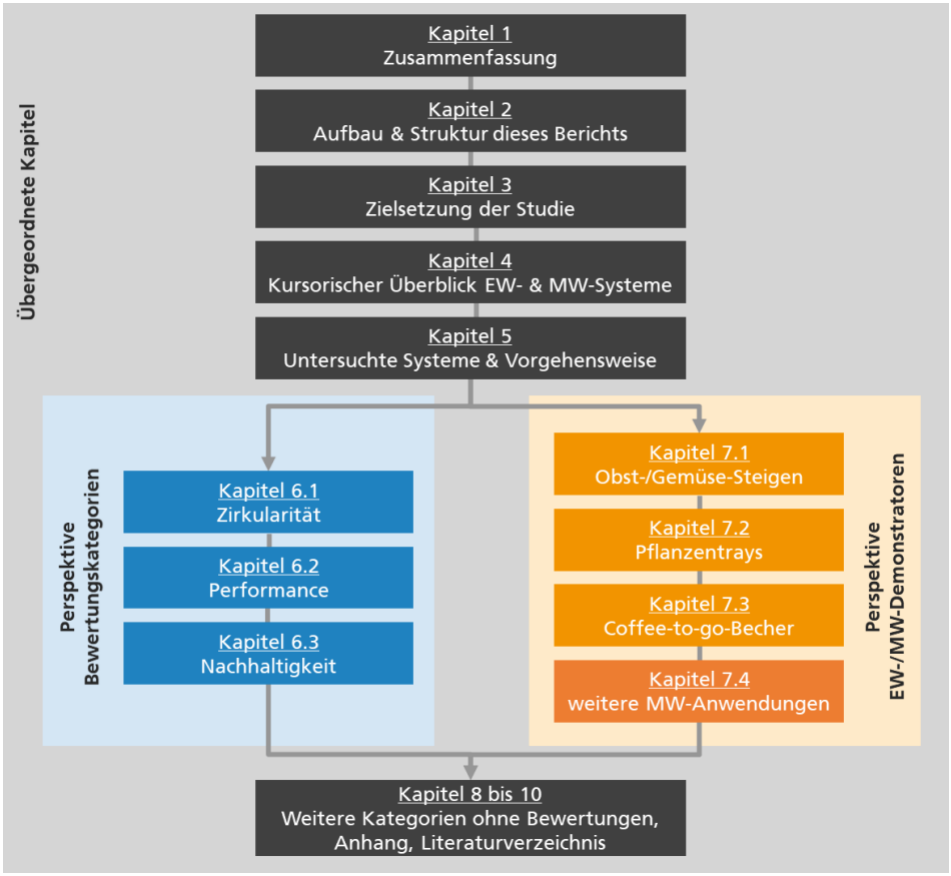
# 2 Organisation et structure du présent rapport

En guise d'introduction, des thèmes généraux tels que l'objectif de l'étude (chapitre 2), un premier aperçu succinct des systèmes à usage unique et réutilisables (chapitre 4) ainsi que les systèmes étudiés en particulier (chapitre 5) sont brièvement abordés. Deux volets parallèles suivent ensuite :

- Les 17 **catégories d'évaluation** retenues dans l'étude sont présentées au chapitre 5.2 présenté de manière méthodique. Les résultats de nos évaluations des trois démonstrateurs choisis, à savoir les cagettes à fruits et légumes, les plateaux à plantes et les gobelets Coffee to go, sont présentés au chapitre 6 sont présentés.
- Les résultats des différents **démonstrateurs à usage unique et réutilisables** sont présentés au chapitre 7 sont présentés. Après une brève description de l'application, le statut de chaque solution à usage unique et réutilisable est esquissé. Les résultats de l'évaluation sont ensuite présentés de manière synthétique pour chaque démonstrateur.

Les chapitres mentionnés sont précédés d'un résumé incluant une liste de questions-réponses (chapitre 1).

Figure 3:
Structure de l'étude





© CCPE Fraunhofer

# 3 Objectif de l'étude

L'objectif de cette étude est d'apporter une contribution scientifique à l'évaluation des systèmes d'emballages réutilisables à base de plastique. Leurs caractéristiques (avantages et déficits), défis et potentiels d'amélioration sont examinés dans une approche multicritère.

## 3.1 Objet et démarche

A cette fin, l'étude compare une sélection de systèmes d'emballages réutilisables à base de plastique avec les alternatives à usage unique existantes en Allemagne[9] . Cette analyse s'effectue par rapport à des catégories issues des champs thématiques de la circularité, de la performance et de la durabilité. Chacun de ces trois thèmes est étayé par un ensemble de catégories détaillées, ce qui permet des analyses différenciées.

Au préalable, trois exemples d'application ont été sélectionnés dans le cadre d'un dialogue avec le client, la fondation Initiative Réutilisable, les membres européens ainsi que dans le cadre d'une discussion lors de la Semaine verte européenne 2021 :

- cageots pour fruits, légumes, viande ou produits industriels
- Systèmes de transport de plantes (plateaux de plantes)
- Gobelets à café (gobelets C2G)

Ces systèmes réutilisables comprennent aussi bien des solutions pour les secteurs business-to-business (B2B) (Steigen) et business-to-consumer (B2C) (gobelets C2G) que des solutions qui peuvent être utilisées de manière transversale dans le cadre du trafic d'entreprises et de clients finaux (B2B et B2C) (plateaux de plantes). Les systèmes réutilisables sont déjà établis à grande échelle depuis des décennies (Steigen) ou quelques années (gobelets C2G), ou sont sur le point d'être introduits à grande échelle après avoir été utilisés pendant de nombreuses années en petites quantités (plateaux végétaux). L'étude est conçue de manière à ce que d'autres applications puissent être ajoutées à l'avenir, afin de permettre à long terme une vue d'ensemble des systèmes réutilisables.

La comparaison des systèmes réutilisables sélectionnés est effectuée avec les systèmes à usage unique établis dans le domaine d'application concerné, que ces derniers soient en carton (cagettes), en plastique (plateaux pour plantes) ou en matériaux composites à base de papier plastifié (gobelets C2G). Dans la mesure où le choix des applications et les données disponibles le permettent, des généralisations sont déduites pour comparer les systèmes réutilisables à base de plastique avec les systèmes concurrents à usage unique. La comparaison avec des matériaux alternatifs pour les systèmes réutilisables ne fait pas partie de l'étude.

9 Cela ne signifie pas que les systèmes d'emballage transfrontaliers sont exclus.

Les sources de données utilisées sont la littérature scientifique, les informations sur les produits fournies par les fabricants et les gestionnaires de pools d'emballages à usage unique et réutilisables, ainsi que des entretiens avec des experts. Des calculs approximatifs simplifiés ont été effectués à partir de ces données. Il n'a pas été procédé à des calculs approfondis ou à des analyses de cycle de vie. Les interviews ont été menées principalement avec des membres de la Fondation Initiative Réutilisation (SIM), qui a mandaté l'étude, et complétées par des entretiens avec d'autres acteurs au niveau européen afin de clarifier des situations spécifiques.

Une attention particulière a été accordée à la classification de la disponibilité et de la qualité des données. L'incertitude des données provenant à la fois de sources bibliographiques et de déclarations d'experts a été prise en compte par une approche pedigree (cf. section 9.3.1), qui permet d'évaluer et de documenter la qualité des données de manière compréhensible.

## 3.2 Présentation des résultats

Pour introduire le sujet, nous commencerons par quelques définitions de termes, des considérations systémiques, des comparaisons préliminaires ainsi que le statut de la consommation d'emballages et la situation réglementaire (chapitre 4). Ensuite (chapitre 5), les systèmes étudiés et la démarche suivie sont décrits.

Les résultats dans les catégories étudiées sont présentés sous forme de comparaison par paires des systèmes à usage unique et réutilisables dans les applications étudiées (chapitre 6). Lorsque cela était possible, les comparaisons par paires ont été classées par rapport à une référence absolue. Les résultats de toutes les catégories pour lesquelles des valeurs quantifiables ont pu être obtenues (par exemple, les émissions de gaz à effet de serre) ont été traduits en valeurs d'indice sur une échelle à cinq niveaux (-2,
-1, 0, +1, +2). Ainsi, des considérations comparatives avec des catégories évaluables de manière purement qualitative (p. ex. la recyclabilité) sont possibles. Ce classement a abouti à une représentation graphique et tabulaire commune des résultats par catégorie.

La présentation par catégorie est suivie d'une présentation par démonstrateur (chapitre 7). Elle commence par une description détaillée de l'application et de l'état d'avancement des systèmes réutilisables et à usage unique. Ensuite, les valeurs d'indice de toutes les catégories ont été résumées sous forme de graphique en forme de harpe pour chaque système réutilisable considéré et pour le système à usage unique concurrent. Cette représentation des résultats permet de mettre en évidence les avantages, les déficits et les potentiels d'amélioration. En ce qui concerne le statut technologique et systémique existant des systèmes réutilisables dans les catégories d'évaluation examinées (circularité, performance et durabilité), les potentiels de développement sont mis en évidence et des mesures sont recommandées.

# 4 Aperçu théorique des systèmes à usage unique et réutilisables n[10]

## 4.1 Systèmes à usage unique et réutilisables dans l'esprit du public

Le débat public sur les systèmes réutilisables - souvent désignés de manière simplifiée par le terme "réutilisable" dans la suite de cette étude - se concentre presque exclusivement sur les bouteilles de boissons. La consignation et le retour séparé des bouteilles de boissons à usage unique contribuent ici à la confusion du consommateur, car les emballages à usage unique et les emballages réutilisables sont de moins en moins distincts pour le consommateur. Certes, le littering des bouteilles a diminué (notamment grâce aux collecteurs de consigne) et l'industrie du recyclage a eu accès à des fractions de matériaux collectés séparément, mais le consommateur ne peut plus guère faire la différence entre "recyclage et réutilisation", ce qui est tout à fait pertinent sur le plan écologique. (NABU 2021 ; Verbraucherzentrale 2020).

Les labels établis sur le marché ne contribuent pas non plus à une plus grande clarté. Le symbole des emballages de boissons jetables consignés ne donne, par le langage visuel choisi, aucune indication sur le mode de recyclage et de valorisation complètement différent (Illustration 4 - milieu) dans ce système.

Illustration 4: Étiquette réutilisable, symbole de consigne à usage unique et étiquette réutilisable Blue Angel

Ce n'est que récemment qu'un Ange bleu a été attribué aux emballages réutilisables pour les boissons à emporter, mais il n'existe pour l'instant que trois titulaires de ce label. Il n'existe pas encore d'autres labels en Allemagne, notamment pour le secteur B2B.

## 4.2 Définitions et classifications

La délimitation des systèmes à usage unique et des systèmes réutilisables n'est pas triviale. Dans le §3 de la loi sur les emballages, on trouve les définitions légales suivantes (VerpackG 2021):

*"(3) Les emballages réutilisables sont des emballages conçus et destinés à être réutilisés plusieurs fois après usage aux mêmes fins et dont la restitution et la réutilisation effectives sont rendues possibles par une logistique suffisante et*

10 Nous attirons votre attention sur le fait que les explications données dans ce chapitre constituent une évaluation scientifique et technique et non une évaluation juridique de la classification juridique.

*encouragées par des systèmes d'incitation appropriés, en général par une consigne. (4) Les emballages à usage unique sont des emballages qui ne sont pas réutilisables".*

La directive européenne sur les plastiques à usage unique (UE 2019/904) définit de manière cohérente les articles en plastique à usage unique (donc pas seulement les emballages) comme suit :

*"Article en plastique à usage unique : article entièrement ou partiellement en plastique qui n'est pas conçu, développé et mis sur le marché pour suivre plusieurs cycles de vie du produit au cours de sa durée de vie en étant renvoyé à un fabricant pour être rempli ou réutilisé pour son usage initial".*

Dans la définition de la directive européenne sur les emballages (94/62/CE), modifiée par (2018/852/UE) il est encore ajouté que les emballages réutilisables doivent être conçus dès le départ de manière à pouvoir être utilisés plusieurs fois :

*"Emballages réutilisables : Emballages conçus et mis sur le marché de telle manière que leur nature permette plusieurs cycles au cours de leur vie, en les remplissant à nouveau ou en les réutilisant conformément à leur destination initiale".*

Selon les définitions légales ci-dessus, les emballages réutilisables sont ceux-là,

- qui, après une première utilisation avec maintien de la forme, sont utilisés plusieurs fois dans le même but (c'est-à-dire qu'ils ont un nombre de rotations minimum de trois),
- avoir une conception fonctionnelle et robuste pour un usage multiple
- pour lesquels il existe une logistique appropriée permettant une utilisation multiple avec maintien de la forme pour le même usage, et
- pour lesquels il existe un système d'incitation qui favorise précisément ce type de recyclage par rapport à la valorisation (mécanique) ou énergétique.

On ne peut parler de système réutilisable que si ces conditions sont remplies. Les systèmes à usage unique qui ne conduisent qu'occasionnellement et pas systématiquement à une utilisation multiple ou pour lesquels il n'existe ni système d'incitation ni logistique de réutilisation ne répondent pas à ces exigences. Les récipients qui sont vendus directement au consommateur et qui sont apportés plusieurs fois pour être remplis dans le commerce de détail ne répondent pas non plus aux exigences, car ni l'incitation ni la logistique ne sont organisées en tant que système. C'est pourquoi ces variantes ne sont pas prises en compte dans la présente étude.

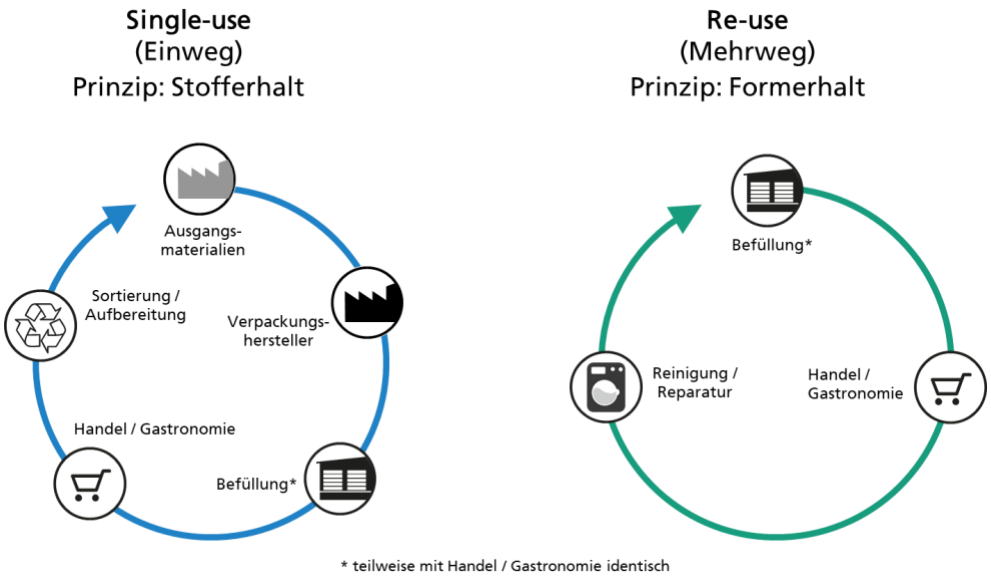
On attend des systèmes réutilisables qu'ils présentent des avantages écologiques par rapport aux systèmes à usage unique. Dans ce contexte, la question de savoir s'il serait judicieux de préciser la notion de réutilisable à l'aide d'objectifs, par exemple sur la base du nombre de rotations, est discutée. Des critères techniques tels qu'un nombre minimal de rotations compliqueraient toutefois l'introduction de nouveaux systèmes réutilisables et pourraient varier considérablement en fonction de l'application. Il semble plus judicieux de fixer le nombre minimal de rotations à

atteindre après une phase d'introduction dans les labels tels que l'Ange bleu, en fonction de l'application, par le biais d'un processus qui reste à définir. En revanche, un processus de conception global qui aborde les valeurs que l'on souhaite voir associées aux systèmes réutilisables ne peut être initié qu'au niveau de l'association.

### 4.3 Considération des systèmes à usage unique et réutilisables

Hormis le problème de délimitation décrit précédemment, les termes "à usage unique" et "réutilisable" ne décrivent que très imparfaitement les différences entre les deux systèmes. En principe, un circuit peut être mis en place dans les deux systèmes. Dans la mesure où les systèmes à usage unique doivent être gérés en circuit fermé, cela se fait par une réutilisation des matériaux (usuels). Les systèmes réutilisables, en revanche, misent sur la conservation de la forme et de la fonction tout au long du cycle. Les systèmes à usage unique nécessitent dans chaque cycle une nouvelle fabrication de l'emballage, les systèmes réutilisables surtout des étapes de nettoyage et, le cas échéant, de réparation. Les circuits sont représentés de manière simplifiée dans l'idéal en Illustration 5 représentés.

Illustration 5: Circuits idéaux-typiques en cas de Single-use (à usage unique) et Re-use (réutilisable)




Dans cette représentation, on néglige le fait que les matériaux se fatiguent, qu'il y a des pertes et que les besoins en énergie pour le fonctionnement du circuit doivent également être couverts par l'utilisation de ressources. Pour une économie circulaire performante, les mesures suivantes sont donc nécessaires (Figure 6) :

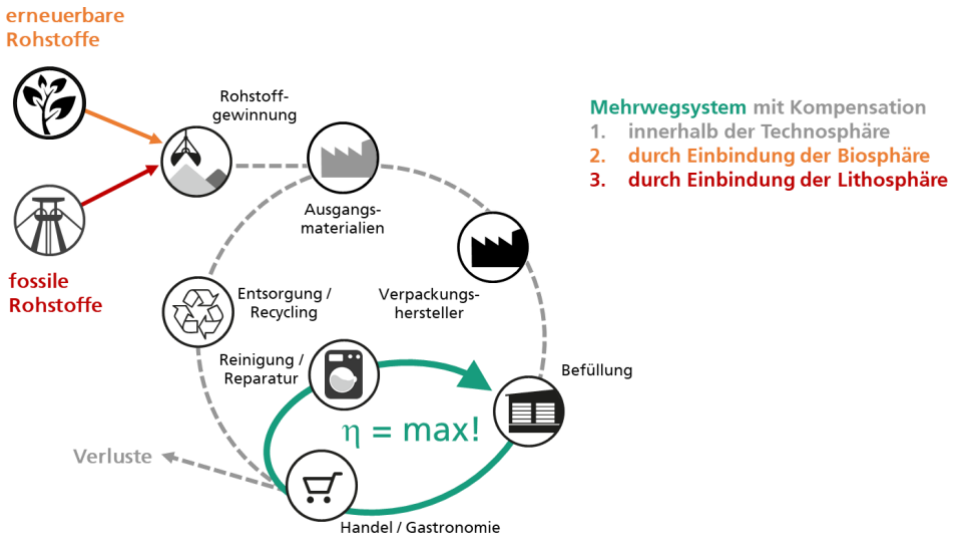
1. Tout d'abord, des mesures doivent être prises pour maximiser l'efficacité (). Pour ce faire, il convient d'augmenter les rendements et de réduire les pertes.
2. Là où la réutilisation atteint ses limites, elle devrait être complétée par des cycles de recyclage. Les produits ou les emballages qui ne sont plus utilisables

en raison de dommages sont recyclés dans un circuit fermé (compensation au sein de la technosphère).

3. Dans l'idéal, les pertes de matériaux et les besoins énergétiques nécessaires sont couverts par des matières premières renouvelables. La fermeture du cycle se fait alors par l'intégration des cycles naturels dans leurs limites de charge (compensation par l'intégration de la biosphère).
4. Les pertes de matériaux et les besoins en énergie, dans la mesure où ils ne peuvent pas être représentés par des ressources renouvelables, sont finalement couverts par des sources non renouvelables (compensation au sein de la lithosphère).

Une combinaison de systèmes réutilisables et de recyclage après un premier cycle de vie possède le potentiel de réduire les pertes du système et les ressources nécessaires pour boucler le cycle (Figure 6).

Figure 6: Cycle combiné avec réutilisation (réutilisable) et usage unique (jetable) comme deuxième option ainsi que la compensation des pertes par des ressources renouvelables et fossiles.




## 4.4 Comparaison préalable de la dépense d'énergie primaire entre réutilisables et à usage unique

Les systèmes réutilisables ont un sens sur le plan écologique tant que les ressources et les émissions générées par un circuit sont inférieures à celles d'un circuit concurrent à usage unique (cf. Illustration 5). En simplifiant, on peut dire que le circuit réutilisable est écologiquement avantageux si les dépenses liées à la fabrication, au lavage, à la réparation et au transport de l'emballage réutilisable sont inférieures à celles liées au transport et au recyclage de l'emballage à usage unique. Cette dernière hypothèse est judicieuse pour le papier et le verre usagé, pour lesquels il existe déjà aujourd'hui un circuit à usage unique quasiment fermé. En revanche, elle est trop optimiste pour les emballages jetables en plastique, car les taux de recyclage et de réutilisation sont aujourd'hui encore loin d'une fermeture du circuit (cf. section 4.5).

Dans ce qui suit, nous allons montrer, à l'exemple de la dépense d'énergie primaire[11] de processus partiels, que le résultat peut être très différent. Chacun des systèmes, qu'il soit à usage unique ou réutilisable, nécessite en fin de compte une optimisation globale pour pouvoir être qualifié d'option durable.

La dépense d'énergie primaire pour la transformation des matières plastiques par moulage par injection peut être estimée à environ 1,8 à 3,6 kWh par kilogramme. (Kent 2009). La dépense énergétique pour la transformation des déchets d'emballages plastiques en matières premières secondaires devrait être principalement déterminée par le broyage et se situer entre 0,2 et 1,8 kWh par kilogramme. (Morris 1996) .

Un lave-bande industriel consomme environ 0,11 kWh par kilogramme de poids d'emballage. (Meiko 2021).[12] On peut toutefois supposer que le coût du lavage est au moins aussi élevé pour le recyclage, en particulier pour les applications dans le secteur alimentaire. Il est même probablement plus élevé, car le rapport surface/masse des déchets plastiques broyés, qui détermine le coût du nettoyage, est nettement plus important que celui des emballages réutilisables entiers. La réparation des systèmes réutilisables consiste essentiellement en un remplacement de pièces également fabriquées par moulage par injection.

En outre, il convient de tenir compte des transports nécessaires entre les différents processus d'un circuit et de la consommation d'énergie qui en découle. L'opinion souvent exprimée selon laquelle les distances de transport des systèmes réutilisables sont en soi plus élevées en raison du transport des emballages vides n'est pas correcte. Dans la mesure où l'objectif d'une économie en circuit fermé est également supposé pour les emballages à usage unique, ceux-ci sont d'abord éliminés en tant que déchets après leur utilisation, puis transportés et traités avant d'être à nouveau transportés en tant que matière première secondaire vers le lieu de fabrication de l'emballage. L'idée d'une économie circulaire exige donc, pour les emballages à usage unique également, que l'ensemble du flux de matières soit transporté via le circuit. La gestion du circuit implique donc, même pour les systèmes à usage unique, des dépenses de transport à prendre en compte, y compris un grand nombre de trajets à vide (par exemple pour les transports de déchets) ainsi que des dépenses énergétiques. Elles doivent être déterminées dans le cas d'application concret. Il n'est pas possible d'affirmer de manière générale que l'une des deux alternatives, usage unique ou réutilisable, est favorisée par rapport à la distance totale de transport (pour plus de détails, voir le chapitre 6.2.5).

Les besoins énergétiques du transport sont notamment déterminés par la distance à parcourir ainsi que par le poids à transporter (distance [km] x poids [t] = performance de transport [tkm]). Comme les distances dépendent fortement du domaine d'application de la solution d'emballage, l'accent est mis ici sur le poids : en effet, les solutions réutilisables sont généralement un peu plus lourdes que leur alternative à usage unique. Ce n'est que dans de rares cas, par exemple pour les

11 Facteurs d'énergie primaire utilisés pour l'électricité 1,8, le diesel 1,2 et le gaz naturel 1,1

12 Cette hypothèse a été estimée à l'aide de la fiche technique indiquée. Nous avons également supposé qu'une assiette normalisée en plastique pesait 125 grammes et que son rapport surface/masse était proche de celui des emballages réutilisables.

emballages très lourds, qu'il y a une limitation de la quantité de chargement en raison de l'atteinte du poids total autorisé. En outre, une limitation du volume peut résulter de rapports de taille défavorables entre le produit et l'emballage. Ces deux effets peuvent se produire avec des emballages jetables ou réutilisables et ne sont pas pris en compte ici. Une grande partie de la consommation de carburant lors du transport est déjà causée par le poids propre ainsi que par la résistance à l'air et au roulement, la part liée au chargement est nettement plus faible. Sur la base des données du manuel des facteurs d'émission (Infras 2019) nous avons calculé : Consommation à vide : 2,9 kWh/km plus 0,09 kWh/tkm pour le chargement

Le site Figure 7 est représenté le résultat du calcul d'une comparaison de la dépense d'énergie primaire de l'usage multiple à l'usage unique. Le rapport d'énergie primaire est représenté sur l'axe des y en fonction du nombre de rotations (axe des x, échelle logarithmique) ainsi que des rapports de distance et de masse (paramètres de la grille). Différentes hypothèses ont été formulées pour les rapports de distance de transport entre trajets multiples et trajets uniques (SV) et les rapports de poids correspondants (MV). Le rapport des distances de transport SV a été fixé à 1 (SV id) dans le calcul de base (lignes continues), c'est-à-dire que l'on calcule les mêmes distances de transport. Les variantes représentées sont une distance de transport réduite de moitié (SV min = 0,5 ; lignes pointillées) et une distance de transport doublée (SV max = 2,0 ; lignes pointillées). Le rapport entre la masse de l'emballage réutilisable et la masse de l'emballage à usage unique a été supposé avoir deux valeurs, la faible, MV low = 2 (lignes orange), et la haute, MV high = 5 (lignes bleues).

Résultats : Pour des distances de transport identiques (SV id), un emballage réutilisable deux fois plus lourd (MV low) est déjà supérieur à partir de 3 rotations, un emballage réutilisable cinq fois plus lourd (MV high) n'atteint ce point qu'après environ 6 rotations (échelle logarithmique de l'axe x du diagramme). En même temps, on peut voir sur le graphique que les conditions de transport ont également une influence. Lorsque la distance totale du système de transport réutilisable est deux fois plus longue (s max), il faut effectuer nettement plus de rotations (35) pour obtenir un avantage. En revanche, lorsque la distance totale est deux fois plus courte (s min), le système de transport réutilisable est déjà avantagé par un nombre de rotations réduit.

La pertinence de la représentation est limitée, car elle ne considère qu'approximativement la dépense d'énergie primaire directe. Du point de vue des systèmes réutilisables, elle doit toutefois être considérée comme plutôt conservatrice, étant donné que l'on a supposé un recyclage à 100 % pour le système à usage unique. Néanmoins, la représentation montre qu'avec un rapport de masse relativement faible de 2, on peut déjà s'attendre à des avantages à partir d'un nombre de rotations de l'ordre de 2, même pour de longues distances de transport. Pour un rapport de masse élevé de 5, les avantages apparaissent également pour des distances de transport inférieures et identiques à partir d'un nombre de rotations de 5. Ce n'est qu'avec une masse nettement plus élevée et des distances de transport plus longues qu'il devient difficile, mais pas impossible, pour les systèmes réutilisables d'atteindre la compétitivité en termes de dépenses d'énergie primaire. Les distances de transport dépendent alors non seulement de

la qualité de la planification logistique, mais aussi et surtout de la régionalité du circuit économique.

Le calcul se trouve en annexe (chapitre 9.1). Une analyse plus détaillée de la dépense énergétique cumulée est présentée au chapitre 6.3.2.

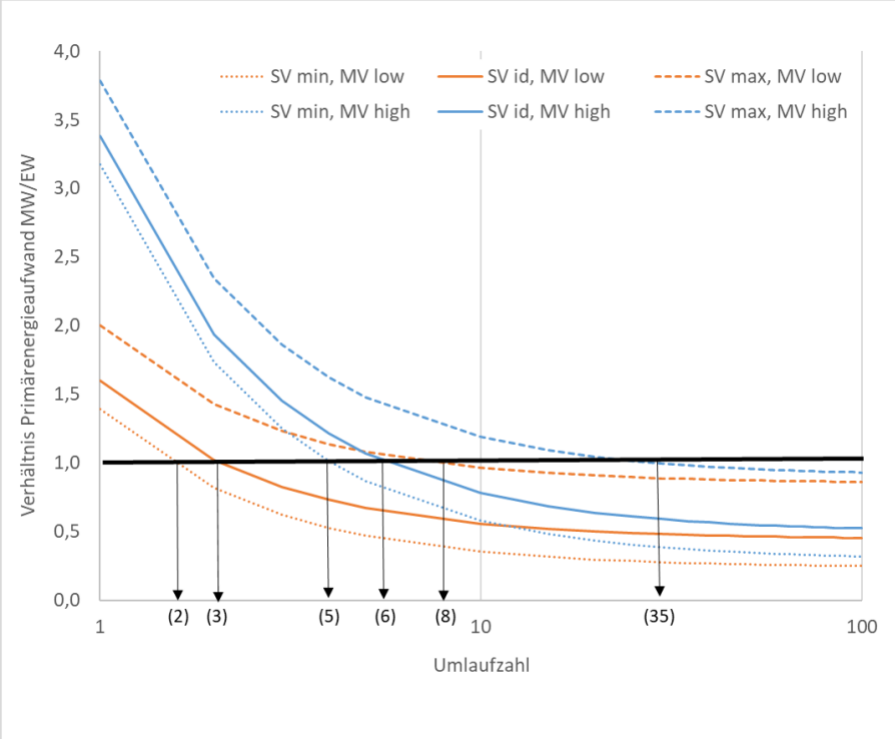



Figure 7: Comparaison des dépenses d'énergie primaire pour les emballages réutilisables et les emballages à usage unique en fonction du nombre de rotations [Calcul propre].

SV : rapport des distances de transport réutilisable/jetable ;
SV min = 0,5
SV id = 1,0SV
max = 2,0

MV : Rapport de la masse des réutilisables par rapport aux non réutilisables ;
MV low = 2
MV high = 5

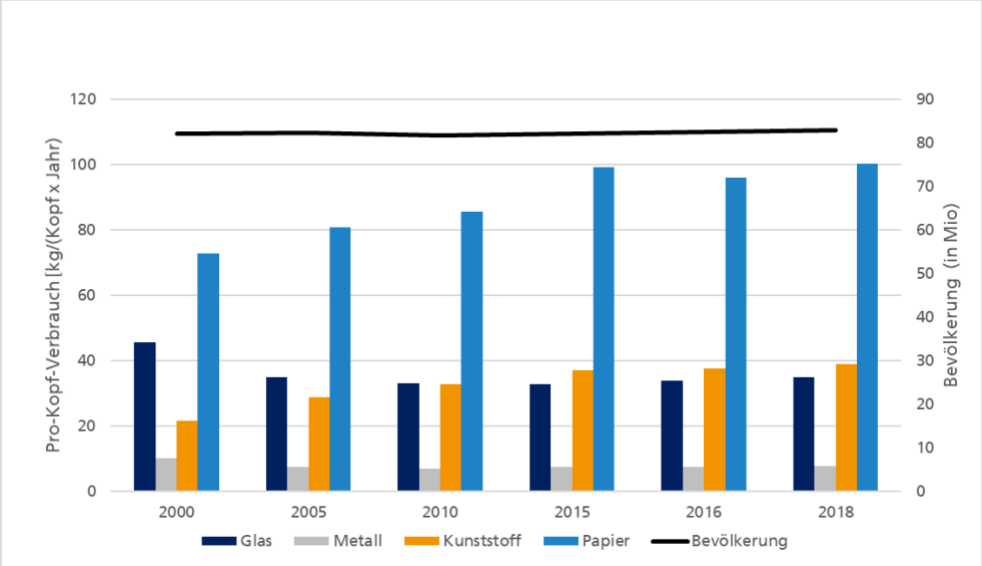
## 4.5 Statut de la consommation d'emballages en Allemagne

Malgré l'introduction du décret sur les emballages et de la loi sur le recyclage dans les années 1990, la quantité d'emballages consommée par personne en Allemagne n'a cessé d'augmenter alors que la population est restée à peu près stable. (Agence fédérale de l'environnement 2018). En 2016, la consommation totale en Allemagne s'élevait à environ 220 kilogrammes par personne et par an, dont environ 190 kilogrammes par personne et par an pour les quatre principaux groupes de matériaux : papier, plastique, verre et métal (Figure 8).

En chiffres absolus, les plus fortes augmentations concernent les emballages en papier, avec une croissance de 27,5 kilogrammes par personne et par an, et les plastiques atteignent 17,3 kilogrammes par personne et par an. En revanche, la consommation de métaux stagne, tandis que le secteur du verre, après une réduction temporaire, affiche à nouveau une croissance depuis 2010. En chiffres relatifs, les matières plastiques affichent la plus forte croissance sur la période considérée de 18 ans, avec 4,4 % en moyenne annuelle, devant le papier avec 2,1 %.

La croissance de la consommation de plastique ne s'accompagne guère d'une augmentation du recyclage. En 2019, la part des matériaux secondaires n'était que de 10,5 %. (Conversio 2020), tandis que 44,4 pour cent de la consommation correspond à la croissance depuis 2000. En d'autres termes, même si l'on suppose que les plastiques recyclés n'existaient pas dans le secteur de l'emballage en 2000, ils représentent moins d'un quart (23,6 %) de la croissance. En revanche, la part des matières recyclées dans le secteur des emballages en papier et en carton est restée largement constante depuis 2000, à environ 90 pour cent. Cela signifie que la croissance de la consommation de papier a également été rendue possible à environ 90%, mais pas entièrement, par le recyclage. (vdp 2015, 2021) .[13] De facto, il n'y a donc pas de réduction de la consommation de matières premières primaires pour le papier et encore moins pour les plastiques. On peut donc se demander si, pour les emballages en plastique en particulier, il n'est pas nécessaire, outre le recyclage, de passer davantage de systèmes à usage unique à des systèmes réutilisables afin d'améliorer la circularité et de réduire les besoins en matières premières.

Figure 8Evolution de la population et consommation d'emballages par personne et par matériau, représentation propre sur la base de données de l'Office fédéral allemand de l'environnement. (Agence fédérale de l'environnement 2018)




## 4.6 Situation en matière de déchets et de substances

La législation et les documents stratégiques suivants, émanant d'Allemagne et de l'UE, sont d'une grande importance pour le thème des emballages (réutilisables) :

- Directive-cadre européenne sur les déchets (Waste Framework Directive - WFD) (EU RL 2008/98)
- Loi allemande sur les emballages (VerpackG 2021)

[13] Étant donné que le taux de réutilisation des vieux papiers indiqué dans les sources ne correspond pas à la proportion réelle de matières recyclées dans le produit, il a été corrigé en tenant compte du ratio pour le papier ondulé pour tous les types d'emballages à base de papier, afin de permettre la comparaison avec les valeurs relatives aux taux de recyclage des plastiques.

- Directive européenne sur les emballages (2018/852/UE)
- Directive européenne sur les articles en plastique à usage unique (UE 2019/904)
- Plan d'action de l'UE en faveur de l'économie circulaire (COM(2020) 98 final)
- Stratégie de l'UE pour les matières plastiques (COM(2018) 28 final)
- Plan en 5 points du ministère fédéral de l'Environnement (BMU 2018)

On y trouve, pour l'essentiel, les mesures suivantes de réduction des déchets d'emballages :

- Interdictions et limitations quantitatives
- Recyclage des emballages usagés
- Conception d'emballages adaptés au recyclage
- Promotion de la teneur en matières recyclées
- Promotion des emballages réutilisables *(souvent appelés "emballages réutilisables")*

Dans la loi allemande sur les emballages (VerpackG 2021) exigeait déjà dans sa première version de 2017, en introduction du §4, que "la réutilisabilité des emballages et la part de matières premières secondaires dans la masse des emballages soient augmentées au maximum". C'est un signal clair en faveur de l'augmentation de l'utilisation d'emballages réutilisables. Cette exigence n'est limitée que par quelques exceptions, par exemple lorsque cela est "techniquement possible et économiquement acceptable, compte tenu de la garantie de la sécurité et de l'hygiène nécessaires des marchandises à emballer et de l'acceptation par le consommateur". On trouve une restriction analogue dans la directive européenne sur les emballages. Ici aussi, il est exigé que "l'augmentation de la part des emballages réutilisables mis sur le marché" soit encouragée, mais "sans compromettre l'hygiène des denrées alimentaires ou la sécurité des consommateurs". (EU 2019/904 2019). La directive de l'UE sur les articles en plastique à usage unique souhaite également promouvoir "des approches basées sur le cycle, des articles réutilisables durables et non toxiques et des systèmes de réutilisation par rapport aux articles à usage unique".

Conformément au plan d'action de l'UE sur l'économie circulaire, il est demandé de renforcer les exigences essentielles obligatoires pour les emballages sur le marché de l'UE. (COM(2020) 98 final). L'accent doit être mis, entre autres, sur des mesures visant à réduire les emballages et les déchets d'emballages et à promouvoir la conception en vue de la réutilisation et de la recyclabilité des emballages. La stratégie de l'UE pour les matières plastiques est une étape vers la création d'une économie circulaire dans laquelle la conception et la fabrication des matières plastiques et des produits en plastique tiennent pleinement compte des besoins de réutilisation, de réparation et de recyclage, et dans laquelle des matériaux plus durables sont développés et promus. (COM(2018) 28 final). L'un des éléments de la vision d'une nouvelle économie des plastiques pour l'Europe est que, d'ici 2030, tous les emballages plastiques mis sur le marché européen soient réutilisables ou recyclables de manière rentable. Même si l'on constate que la réutilisation joue un

ERROR! USE THE HOME TAB TO APPLY ÜBERSCHRIFT 1 TO THE TEXT THAT YOU WANT TO APPEAR HERE.

rôle central dans ces deux documents stratégiques importants de l'UE, elle y est placée au même niveau que le recyclage, ce qui est contraire à l'idée de la hiérarchie des déchets.

Le ministère fédéral de l'Environnement a présenté fin 2018 le plan en 5 points pour moins de plastique et plus de recyclage. (BMU 2018). Les priorités suivantes y sont formulées pour que l'Allemagne sorte de la société du tout-jetable :

- Éviter les produits et les emballages superflus
- Rendre les emballages plus écologiques, renforcer les emballages réutilisables
- Promouvoir la conception de produits respectueux de l'environnement
- Fermer le cycle des matières grâce à un recyclage intelligent et de qualité
- Réduire drastiquement les rejets de déchets plastiques dans les océans

Dans cette liste, les emballages réutilisables se trouvent avant le recyclage. Dans la description détaillée des priorités, le plan en 5 points se concentre toutefois uniquement sur les applications des bouteilles de boissons et des gobelets Coffee-to-go. Les autres systèmes réutilisables ne sont pas mentionnés.

En résumé, la promotion des emballages réutilisables est mentionnée dans toutes les listes de mesures visant à prévenir les déchets d'emballages. Elle figure dans les documents stratégiques de l'UE (sur l'économie circulaire/circular economy et sur la stratégie plastique/plastics strategy) et est reprise comme objectif politique dans la loi allemande sur les emballages et la directive européenne sur les emballages. Jusqu'à présent, il n'y a cependant que dans la VerpackG (2021) un quota cible pour les emballages réutilisables - mais celui-ci est limité aux emballages/bouteilles de boissons, n'a qu'un caractère d'appel et n'est pas juridiquement contraignant. Il reste donc toujours à savoir si et comment la politique souhaite encourager l'utilisation d'emballages réutilisables par d'autres mesures concrètes à l'avenir.

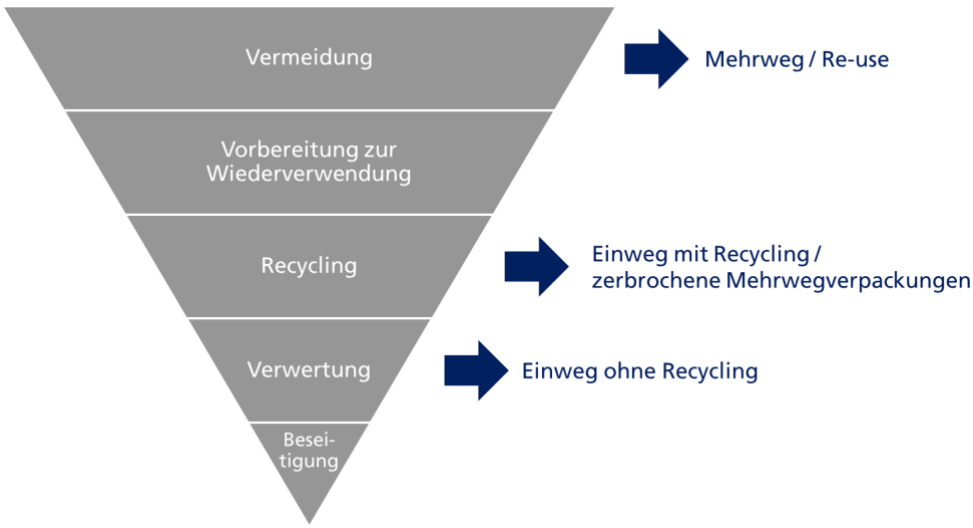



Figure 9: Classification des emballages jetables et réutilisables dans la hiérarchie des déchets

Les emballages réutilisables ne sont pas des déchets tant que leur détenteur ne souhaite pas s'en débarrasser. En outre, la réutilisation de produits - donc également d'emballages - fait partie de la prévention des déchets. L'utilisation d'emballages réutilisables se situe donc au sommet de la hiérarchie des déchets et contribue directement à la préservation des ressources. Le niveau suivant, la préparation à la réutilisation, est lié au début de la propriété de déchet. Tant que l'emballage réutilisable est nettoyé ou réparé par le propriétaire lui-même, ce niveau n'est pas encore atteint. L'utilisation de systèmes réutilisables doit donc, conformément à la directive-cadre européenne sur les déchets (EU RL 2008/98) et dans la loi allemande sur le recyclage (KrWG) la hiérarchie des déchets est prioritaire par rapport aux systèmes à usage unique et à leur recyclage ou valorisation énergétique. Il est possible de s'écarter de la hiérarchie des déchets si cela permet d'obtenir le meilleur résultat en termes de protection de la santé et de l'environnement. Cela concerne notamment

- les émissions prévues,
- la mesure dans laquelle les ressources naturelles sont préservées,
- l'énergie à utiliser et
- l'accumulation de polluants.

La faisabilité technique, l'acceptabilité économique et les conséquences sociales doivent également être prises en compte.

Les prescriptions relatives à la hiérarchie des déchets sont définies dans la directive-cadre européenne sur les déchets (EU RL 2008/98) et la loi allemande sur la gestion du recyclage (KrWG) sont formulées de manière concordante (KrWG 2012). Si la hiérarchie des déchets était appliquée dans la pratique, l'utilisation d'emballages réutilisables serait la norme et les écarts - notamment l'utilisation d'emballages à usage unique, y compris leur recyclage - devraient être justifiés par des preuves correspondantes d'une meilleure compatibilité avec l'environnement et d'une meilleure protection de la santé. Une telle application stricte de la hiérarchie des déchets n'a cependant pas lieu aujourd'hui.

Jusqu'à présent, les mesures concrètes visant à renforcer la prévention des déchets dans le domaine des emballages sont peu nombreuses. Les sacs en plastique dont l'épaisseur des parois est comprise entre 15 et 50 micromètres ainsi que les emballages de service à usage unique en polystyrène ont été interdits. Parallèlement, le programme de prévention des déchets du ministère fédéral de l'Environnement fait référence à des mesures qui ne relèvent pas du tout de la prévention des déchets. (Ministère fédéral de l'environnement (BMU) 2020). Il s'agit notamment de l'obligation de reprise des appareils électriques et électroniques, de l'extension de la consigne obligatoire à d'autres bouteilles et canettes à usage unique et de l'obligation d'utiliser des matériaux recyclés pour les bouteilles en plastique. De même, la loi sur les emballages amendée en 2021 prescrit (VerpackG 2021) prévoit désormais qu'à partir de 2023, les aliments et les boissons à emporter devront également être proposés dans des emballages réutilisables et que ceux-ci ne devront pas être plus chers que les emballages jetables. D'un autre côté, les petits points de vente bénéficient toutefois d'une exception. Ils sont uniquement tenus de remplir les récipients réutilisables

apportés par les consommateurs. S'ils n'en ont pas, ils peuvent continuer à utiliser des emballages alimentaires en plastique jetables et des gobelets jetables pour boissons. Même si les mesures susmentionnées sont tout à fait justifiées aux autres niveaux de la hiérarchie des déchets, elles ne peuvent pas masquer le mauvais état des incitations au niveau le plus élevé de la hiérarchie, à savoir la prévention des déchets.

En ce qui concerne la prévention des déchets, il est également fait référence à la responsabilité élargie du producteur. Même s'il s'agit en principe d'un instrument judicieux, cela ne tient pas compte du fait que les systèmes réutilisables nécessitent justement un système de recyclage inter-producteurs et inter-consommateurs, ce qui ne serait économiquement acceptable pour un producteur isolé que dans des cas exceptionnels.

La taxe européenne sur les plastiques pourrait avoir une influence sur l'utilisation des plastiques dans les emballages et leur recyclage à l'avenir. L'Union européenne a introduit une "taxe sur les plastiques" en tant que première étape du système de ressources propres de l'UE, par lequel l'Union s'est donné les moyens de développer ses politiques de manière ordonnée. (UE, Euratom 2020/2053). Il s'agit principalement d'une ressource propre pour le budget 2021-2027 de l'UE et non d'un impôt direct. Les États membres doivent verser des contributions à l'UE à partir de leur budget, en fonction de la quantité de déchets d'emballages plastiques non recyclés générés dans chaque État membre.

À partir du 1er janvier 2021, cette contribution sera calculée à un taux unique de 0,80 euro par kilogramme. Elle se fonde sur les données d'Eurostat que les États membres fournissent et communiquent déjà dans le cadre des obligations de déclaration existantes, notamment la directive relative aux emballages et aux déchets d'emballages et sa décision d'application. (UE 2019/665). - sont collectées et transmises.

Selon les premières estimations, cette nouvelle contribution pour les emballages plastiques pourrait générer des recettes supplémentaires de 6 à 8 milliards d'euros par an pour l'UE. Conformément à la stratégie européenne, les contributions nationales seront proportionnelles à la quantité de déchets d'emballages plastiques qui ne sont pas recyclés dans chaque État membre. Selon les premières estimations, la contribution de l'Allemagne s'élève à environ 1,3 milliard d'euros par an. (KPMG 2021)

Les plans du nouveau gouvernement fédéral prévoient que cette taxe européenne sur les plastiques soit également -répercutée en Allemagne sur les fabricants d'emballages ou -les metteurs sur le marché. (SPD, Bündnis 90/Die Grünen, FDP 2021). Dans d'autres pays (Italie, Espagne), l'introduction de la répartition nationale des taxes sur les plastiques progresse déjà rapidement et d'autres pays de l'UE devraient suivre. Par conséquent, les entreprises qui fabriquent ou importent des emballages devront faire face à des coûts supplémentaires. Le risque existe que les systèmes réutilisables, dans lesquels les emballages sont transportés au cours des différentes rotations au-delà des frontières nationales ou même au-delà des frontières du marché intérieur de l'UE, soient soumis à ces coûts à chaque rotation.

ERROR! USE THE HOME TAB TO APPLY ÜBERSCHRIFT 1 TO THE TEXT THAT YOU WANT TO APPEAR HERE.

Les législateurs de Bruxelles, des États membres de l'UE et des partenaires commerciaux tels que la Grande-Bretagne, qui a également introduit une taxe sur les plastiques, devraient prendre des dispositions afin d'exclure de tels paiements de taxes qui grèvent les systèmes réutilisables.

Un autre élément à prendre en compte est celui des taxes EPR (Extended Producer Responsibility), qui pourraient être augmentées pour couvrir la contribution à la taxe sur les plastiques. Les entreprises doivent payer des taxes EPR pour l'élimination de leurs emballages en fin de vie. Ces taxes sont utilisées pour la collecte, le tri, le traitement, la gestion et le recyclage des déchets d'emballages. Dans certains pays, une partie des taxes sur la REP peut être utilisée pour financer la taxe européenne sur les plastiques (par exemple en France et en Belgique). Dans ces pays, comme dans d'autres, les taxes liées à la REP pourraient augmenter afin de financer les taxes nationales sur les plastiques. (EY 2021).

En ce qui concerne les emballages (réutilisables), il convient de respecter, outre la législation générale sur les emballages et les déchets, la législation européenne sur les produits chimiques (REACH - Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals). (CE 1907/2006). Pour les produits qui entrent en contact avec des denrées alimentaires, il convient en outre de respecter les dispositions relatives aux matériaux en contact avec les denrées alimentaires (Food Contact Materials - FCM). (CE 1935/2004). Celle-ci régit la conformité des systèmes d'emballage de chaque matériau avec la législation sur les denrées alimentaires en ce qui concerne la sécurité et les aspects sensoriels. Pour les emballages en plastique, des exigences spécifiques sont définies dans le règlement européen sur les matières plastiques (EU) No. 10/2011 (UE) sont définies. Celui-ci contient entre autres des règles détaillées pour la détermination de la migration totale et de la migration spécifique ainsi que des combinaisons temps/température à utiliser pour les tests de migration analytiques. Les produits chimiques de faible poids moléculaire, tels que les monomères et les additifs, ont le potentiel de migrer à partir d'objets entrant en contact avec des denrées alimentaires. La migration de ceux-ci doit être évaluée conformément aux principes scientifiques internationalement reconnus en matière d'évaluation des risques (article 19 du règlement (UE) N° 10/2011 (UE)). Des exigences particulières s'appliquent également aux matériaux recyclés. Le règlement européen sur le recyclage (CE) n° 282/2008 accorde une grande importance à la sécurité des emballages et des aliments lorsque de nouveaux matériaux destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires sont fabriqués à partir de matériaux recyclés post-consommation.

L'état actuel de l'utilisation des plastiques recyclés dans les FCM est présenté dans un article d'une équipe belge. (Tandt et al. 2021). L'article donne un aperçu des exigences légales relatives à l'utilisation de plastiques recyclés mécaniquement dans les articles mis sur le marché de l'UE. Il traite également des interactions entre REACH et la directive-cadre sur les déchets (WFD), (EU RL 2008/98)) y sont abordées. Dans une deuxième partie, l'accent est mis sur l'utilisation des plastiques recyclés comme matériaux de contact alimentaire. Le champ d'application des différents règlements européens applicables en matière de FCM est également

présenté (voir Figure 10), ainsi que les principaux principes juridiques qui y sont liés.

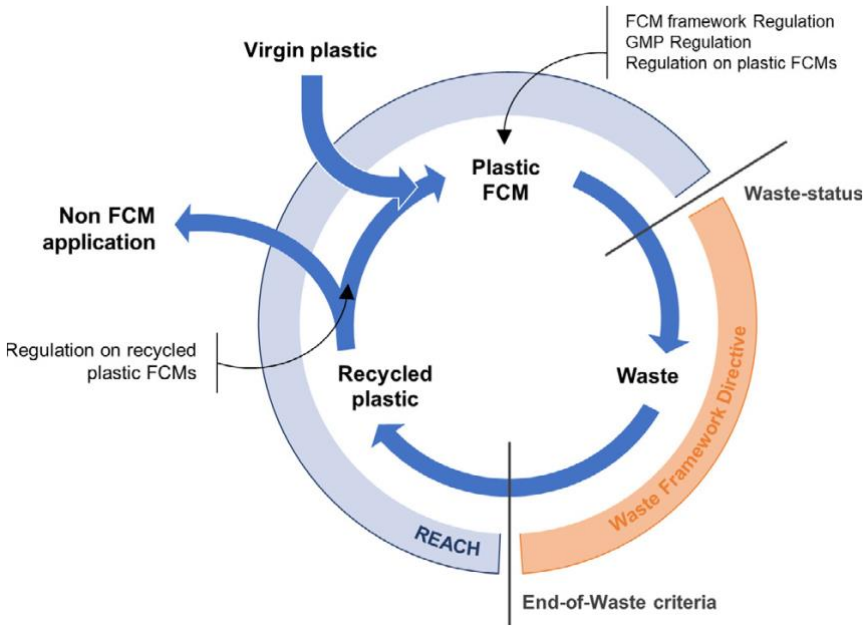



Figure 10: Représentation graphique de l'applicabilité des règlements REACH et FCM de l'UE aux matériaux plastiques (recyclés) entrant en contact avec les aliments (FCM) tout au long du cycle de valeur ajoutée (à partir de Tandt et al. (2021))

En outre, l'article est consacré au débat sur l'autorisation des procédés de recyclage dans le cadre du règlement FCM et aux défis pratiques liés à l'introduction effective de FCM contenant des plastiques recyclés. Dans l'ensemble, il est constaté que la complexité des différentes perspectives juridiques, le manque de communication et de transparence au sein de la chaîne de valeur des plastiques et les défis techniques liés aux procédés de recyclage continuent d'entraver fortement l'introduction effective des FCM à base de plastique recyclé (à l'exception des bouteilles en PET). Les auteurs souhaitent que des solutions ciblées soient élaborées pour l'ensemble de la chaîne de valeur, en tenant compte des différentes perspectives en matière de législation et de protection de la santé, de croissance économique et d'innovations techniques. Ce n'est qu'à cette condition, selon eux, qu'une économie circulaire pour les plastiques, y compris les plastiques recyclés pour les FCM, pourra être mise en place. (Tandt et al. 2021)

### 4.7 Des instruments pour des investissements durables

Dans le cadre du Green Deal convenu en 2019, l'UE prévoit de transformer l'économie de l'UE dans le sens d'un développement durable. (COM(2019) 640 final). Le financement de ce changement est un élément central. De nouvelles directives ont été élaborées à cet effet, qui placent les investissements durables et la communication sur la durabilité sur une base contraignante et fondée sur des données. Il s'agit d'éviter les déclarations sujettes à interprétation et l'écoblanchiment, qui laissent planer le doute sur le caractère durable ou non d'une activité économique ou d'un investissement.

Trois éléments réglementaires sont particulièrement importants à cet égard : le Sustainable Finance Disclosure Regulation (SFDR), la Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) ainsi que la taxonomie de l'UE. (ESG Enterprise)[14]. Alors que la SFDR et la CSRD définissent la nature, l'étendue et la forme des obligations de publication et de rapport des acteurs du marché financier et des entreprises, le règlement sur la taxonomie constitue un système de classification qui permet de décider si et dans quelle mesure une activité financière peut être qualifiée d'écologiquement durable. Outre les effets positifs de la durabilité dans un certain domaine (par exemple la réduction des gaz à effet de serre), l'accent est mis sur la prévention des effets négatifs dans d'autres domaines (par exemple l'absence de polluants). Par le biais de la taxonomie européenne et de la DCDR, les exigences imposées aux acteurs des marchés financiers et à leurs produits financiers atteignent également l'économie réelle. Seule cette dernière peut développer, mettre à disposition et appliquer les technologies nécessaires pour lesquelles les "faits concrets" sont mesurés ou calculés et qui permettent en fin de compte de prendre une décision sur la performance de durabilité d'un investissement et donc d'un produit financier.

La taxonomie de l'UE (2018/852/UE) s'adresse aux objectifs environnementaux suivants :

a) la protection du climat ;
b) l'adaptation au changement climatique ;
c) l'utilisation durable et la protection des ressources en eau et des ressources marines ;
d) transition vers une économie circulaire ;
e) la prévention et la réduction de la pollution ;
f) la protection et la restauration de la biodiversité et des écosystèmes.

L'article 13 de la taxonomie de l'UE mentionne, pour une transition vers une économie circulaire, différentes mesures telles que le recyclage, l'allongement de la durée de vie, l'amélioration de la réparabilité et la réutilisation. Mais c'est surtout la définition du terme "économie circulaire" à l'article 2 qui est intéressante pour la présente étude. (2018/852/UE):

" L'économie circulaire [est] un système économique dans lequel la valeur des produits, matériaux et autres ressources dans l'économie est préservée aussi longtemps que possible et leur utilisation efficace dans la production et la consommation est améliorée, réduisant ainsi l'impact de leur utilisation sur l'environnement et minimisant la production de déchets et le rejet de substances dangereuses à toutes les étapes de leur cycle de vie, notamment par l'application de la hiérarchie des déchets. "

La dernière demi-phrase, en particulier, fait explicitement référence à la hiérarchie des déchets. Celle-ci est décrite dans la présente étude au chapitre 4.6 et c'est elle

[14] Des explications à ce sujet se trouvent par exemple ici : SFDR, NFRD, et CSRD : Guidance on EU Taxonomyhttps://www.esgenterprise.com/esg-reporting/eu-taxonomy-sfdr-nfrd-csrd/

qui a été utilisée pour l'approche de modélisation combinée du chapitre 4.3 sur laquelle elle se fonde.

Les objectifs du règlement sur la taxonomie sont concrétisés par l'UE dans des actes délégués. Jusqu'à présent, de tels actes n'ont été adoptés que pour les deux critères que sont la protection du climat et l'adaptation au changement climatique. Pour les autres objectifs environnementaux, des critères secondaires (critères DNSH, "do no significant harm") y sont déjà pris en compte à certains endroits. Les critères DNSH visent à garantir qu'un effet positif d'une mesure prise par une entreprise dans le cadre d'un objectif environnemental (par exemple la protection du climat) ne soit pas lié à des inconvénients dans le cadre d'autres objectifs environnementaux (par exemple le passage à l'économie circulaire). (EU 2020/852 (DV)).

Un groupe d'experts sur les investissements durables a été mis en place pour préparer le contenu des actes délégués. En particulier, les recommandations relatives à la production de matières plastiques contenues dans l'annexe du rapport final du groupe d'experts présentent un intérêt pour cette étude (Groupe d'experts techniques de l'UE sur le financement durable 2020). Il a été proposé que les entreprises de production de plastique garantissent, en tant que critère secondaire, que 90 % de la quantité produite d'un type de plastique ne soit pas utilisée dans des applications à usage unique ou que cela se fasse à base de plastique recyclé. Avec un taux de recyclage actuel de 13,7 % en Allemagne et une part d'emballages dans la consommation totale d'environ 26,6 %, qui peut être considérée comme jetable, cette exigence aurait donné une impulsion claire à l'augmentation de la part de plastique réutilisable ou à un recyclage nettement amélioré. Bien qu'un grand nombre des recommandations du groupe d'experts se retrouvent dans l'acte juridique délégué relatif à la taxonomie de l'UE, qui a été adopté et publié entre-temps, cette recommandation relative à l'économie circulaire des matières plastiques a été supprimée sans être remplacée. (EU 2020/852 (DV)).

Outre les critères DNSH, des "garanties minimales" sont imposées comme conditions secondaires supplémentaires, ce qui signifie que des normes minimales en matière de droits de l'homme et de normes sociales sont adressées. Il serait intéressant de se demander si des différences existent entre les systèmes à usage unique et les systèmes réutilisables, mais cette question n'a pas été abordée dans cette étude.

Il est nécessaire que le règlement délégué sur l'économie circulaire, qui se trouve encore dans la phase préparatoire, contienne des règles plus étendues pour une économie circulaire réussie.[15] Il faut également tenir compte du fait que les solutions durables réutilisables doivent être rendues économiquement attractives pour les entreprises qui agissent par rapport aux solutions à usage unique. La réorientation des flux de capitaux en les liant à des critères de durabilité solides, comme le prévoit la taxonomie, est un moyen approprié à cet effet. La

15 Initialement, une publication était prévue pour le 31 décembre 2021, mais cela n'a pas encore eu lieu au moment de la publication de cette étude. L'ensemble de la taxonomie, y compris le règlement délégué sur l'économie circulaire, devrait être mis en vigueur d'ici 2023.

coordination judicieuse des taux d'utilisation de matières recyclées (> 90 pour cent) lors de la production et des taux de rotation minimaux pour les systèmes réutilisables (> 10), telle qu'elle est actuellement discutée au sein des comités d'experts relatifs au règlement sur la taxonomie, semble appropriée à cet effet.

# 5 Systèmes étudiés et approche

## 5.1 Les démonstrateurs de cette étude

Comme base de travail pour les analyses de la présente étude, le donneur d'ordre, la fondation Initiative Réutilisation, soutenue par ses membres européens, a d'abord choisi, en accord avec les mandataires, trois démonstrateurs à partir desquels les analyses devaient être effectuées (Illustration 11). Il s'agit de [16]

- **Steige** (caisse de transport réutilisable pour fruits, légumes, produits de boulangerie, etc. )
- **Plateaux** pour le transport et la manipulation de plantes en pots
- Gobelet Coffee to go (**C2G**)

Alors que les systèmes à usage unique et réutilisables sont bien établis pour les cagettes, le marché des plateaux à plantes est jusqu'à présent le domaine des produits à usage unique. Mais il existe déjà des plans de grande envergure pour l'introduction généralisée d'un système réutilisable dans les années à venir. Les deux systèmes sont à classer dans le secteur B2B, mais pour les barquettes, on discute d'une extension au secteur B2C. Les systèmes réutilisables pour les gobelets Coffee to go sont présents sur le marché depuis quelques années et se répandent actuellement à grande vitesse - soutenus par des dispositions légales. Ils représentent une solution purement B2C.

Pour les trois solutions réutilisables, seules les variantes à base de plastique sont considérées. Elles sont comparées à des solutions à usage unique, par exemple en PPK, en plastique ou en bois (plateaux jetables), en plastique (plateaux jetables) et en composite papier-plastique (gobelets jetables). Dans la mesure où d'autres solutions matérielles étaient pertinentes pour les systèmes à usage unique et qu'il existait une base de données suffisante, elles ont également été prises en compte. Pour plus de détails sur les démonstrateurs, veuillez vous reporter aux sous-sections du chapitre 7.

16 Les termes en gras sont également utilisés comme abréviations dans la suite de ce document.

Illustration 11: Démonstrateurs utilisés dans cette étude

## 5.2 Procédure - des catégories au profil de démonstrateur

Comme décrit dans les remarques préliminaires sur la structure du rapport, la présentation de notre analyse se fait en deux dimensions. Tout d'abord, chacun des démonstrateurs sélectionnés est analysé collectivement selon différentes catégories d'évaluation (chapitre 6). Ensuite, les évaluations sont regroupées pour chaque démonstrateur (chapitre 7).

Un système de notation à cinq niveaux est utilisé pour l'évaluation au sein d'une catégorie. Le meilleur niveau par rapport au critère reçoit la valeur +2 et le code de couleur vert foncé, le plus mauvais niveau la valeur -2 et le code de couleur rouge foncé. Les niveaux intermédiaires sont codés +1 (vert clair), 0 (jaune) et -1 (orange). Les valeurs positives sont toujours choisies de manière à décrire un état qui, selon les auteurs, est souhaitable pour atteindre l'idéal d'une économie durable (par exemple, de faibles émissions de gaz à effet de serre ou une part élevée de matières recyclées).

L'évaluation au sein d'une catégorie se fait à l'aide d'indicateurs qualitatifs ou quantitatifs. Dans le cas des indicateurs qualitatifs, une description est établie pour chacun des cinq niveaux, ce qui permet de classer les démonstrateurs. Pour les indicateurs quantitatifs, une mesure concrète est désignée et la manière dont les données ont été obtenues et, si nécessaire, calculées est présentée. Ensuite, les valeurs des indicateurs sont calculées et présentées pour les démonstrateurs à usage unique et à usage multiple sélectionnés.

Il existe deux possibilités pour attribuer les valeurs des indicateurs à un niveau d'évaluation :


© CCPE Fraunhofer

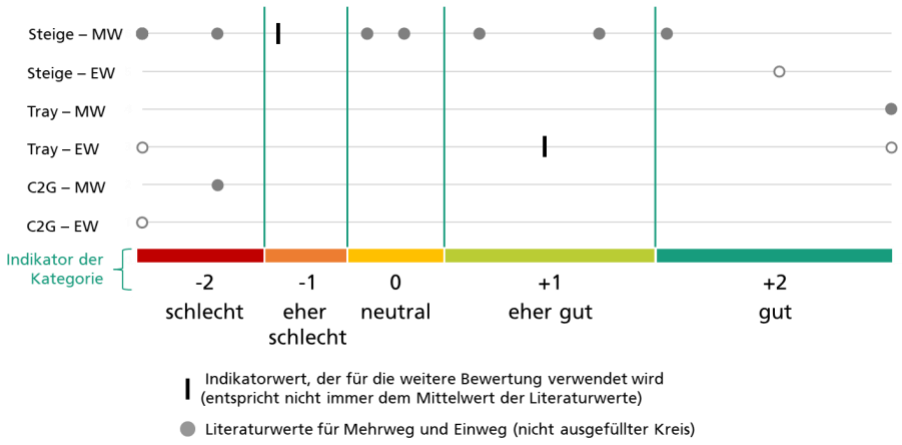
ERROR! USE THE HOME TAB TO APPLY ÜBERSCHRIFT 1 TO THE TEXT THAT YOU WANT TO APPEAR HERE.

a) Il existe des valeurs de référence à l'aide desquelles la répartition des niveaux peut être effectuée. Il peut s'agir de valeurs moyennes statistiques issues d'enquêtes sectorielles, de valeurs issues d'observations par analogie, etc. Pour une répartition judicieuse des niveaux, il existe idéalement plusieurs valeurs de référence qui peuvent être attribuées de manière plausible à des niveaux de qualité.
b) S'il n'existe pas de valeurs de référence ou si elles sont trop peu nombreuses, la répartition des niveaux se fait sur la base de la plage de valeurs calculée pour les démonstrateurs.

Le cas b) donne lieu à une évaluation subjective basée sur des échelles de valeurs déterminées par l'équipe d'auteurs sur la base de la plage de valeurs obtenue par les démonstrateurs sélectionnés. L'analyse d'autres démonstrateurs pourrait conduire à des modifications à l'avenir. Dans la mesure du possible, l'équipe d'auteurs a donc donné la préférence à la méthode a).

L'évaluation des démonstrateurs au sein d'une catégorie est résumée dans un diagramme (Illustration 12). En cas d'évaluation qualitative, les niveaux sont représentés sur l'axe x (sous forme d'échelle de couleurs) ; en cas d'évaluation quantitative, la plage de valeurs absolues des niveaux est également indiquée. L'axe y indique les démonstrateurs pour lesquels des données sont disponibles. S'il y a plusieurs jeux de données par démonstrateur, ceux-ci se retrouvent dans les lignes du diagramme correspondant aux démonstrateurs. Si les différents ensembles de données pour un démonstrateur donné peuvent être expliqués par des paramètres connus, ces valeurs sont indiquées en complément dans le diagramme. Si une valeur d'indicateur qui n'est pas déjà mentionnée comme point de données est utilisée pour l'évaluation synthétique de chaque démonstrateur, elle est indiquée en complément sous forme de trait vertical.

Illustration 12: Exemple de représentation de l'évaluation au sein d'une catégorie



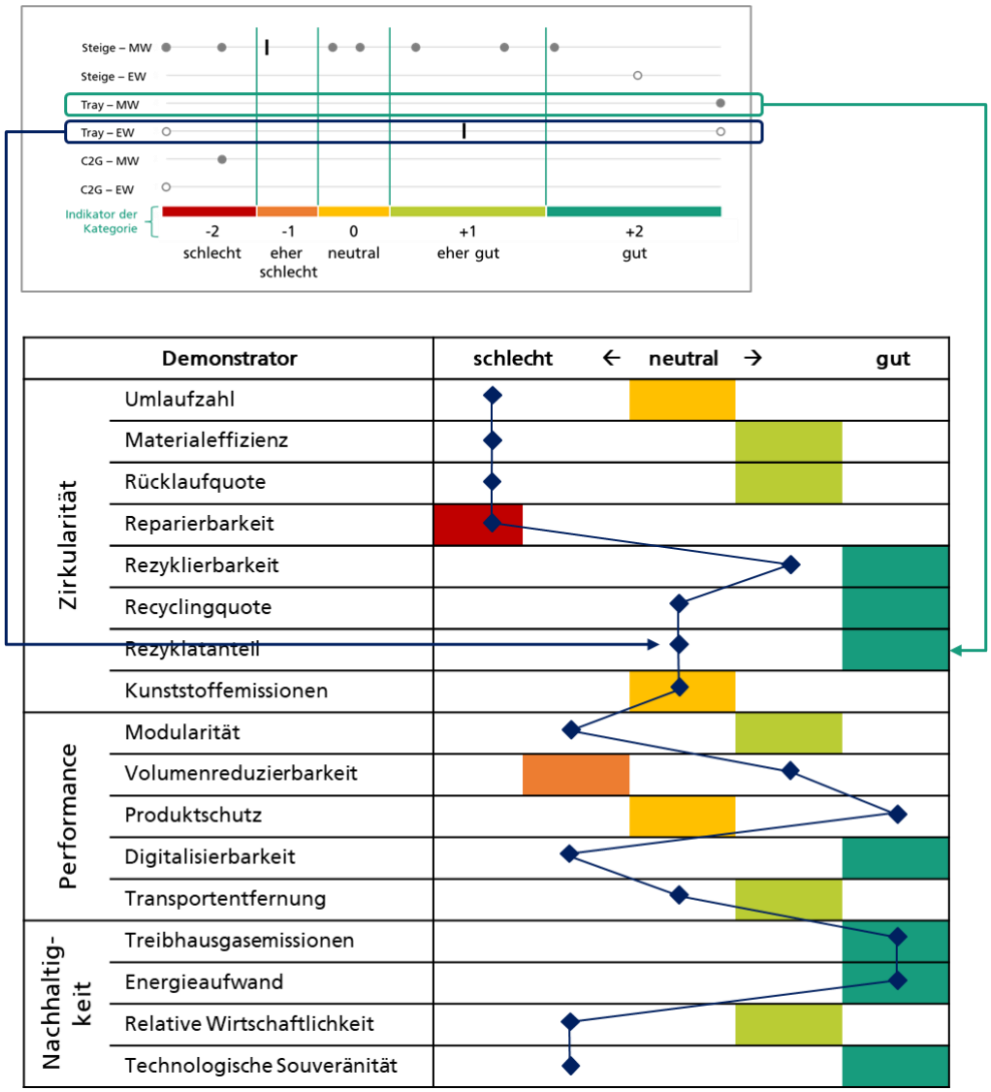

La compilation des résultats pour les différents démonstrateurs dans un seul diagramme permet également de comparer des applications très différentes. Pour que cette comparaison soit pertinente, nous avons utilisé le volume de l'emballage comme valeur de référence pour l'efficacité des matériaux, la rentabilité, les

émissions de gaz à effet de serre et les dépenses énergétiques cumulées.[17] Contrairement à la masse du produit, le volume de l'emballage donne des résultats plus robustes, car la masse du produit dépend de la densité du produit. Il convient néanmoins de noter que, selon la catégorie, il peut y avoir de bonnes raisons pour lesquelles les résultats des démonstrateurs sont très différents, ce qui rend difficile une comparaison directe. Par exemple, les produits à prix élevés et les produits à prix bas peuvent être emballés de manière très différente, indépendamment du volume du produit de remplissage.

Toutes les catégories sont regroupées en un profil pour chaque démonstrateur, qui est présenté dans le chapitre 7 que l'on trouve ici à titre d'exemple dans Illustration 13 est présenté ici. La représentation donne un aperçu de la performance dans trois domaines : circularité, performance et durabilité. Plus les indices sont dans le vert, plus le démonstrateur est performant. Les indices du démonstrateur réutilisable sont indiqués par des parallélépipèdes de couleur, l'alternative à usage unique est représentée en complément par une ligne. De cette manière, les faiblesses et les potentiels d'optimisation de la solution réutilisable sont visibles en un coup d'œil.

17 Pour les plateaux à plantes, le volume des pots à plantes à régler a été utilisé.

Illustration 13: Principe d'évaluation - des catégories au profil du démonstrateur




## 5.3 Définition des paramètres : Taux de rotation, taux de perte, taux de casse, attrition

La définition du **nombre de rotations** par "nombre moyen de phases d'utilisation d'un emballage réutilisable" (Detzel et al. 2016, p. 248) semble simple. Sa détermination pratique présente en revanche des difficultés. La première limite est qu'il ne peut être indiqué que pour des systèmes qui se trouvent dans un état d'équilibre. Cela signifie qu'il existe un nombre fixe d'emballages qui circulent dans le circuit de réutilisation.

Dans ces systèmes MW établis, qui ont atteint la saturation du marché, la quantité d'emballages introduits correspond à la quantité de pertes. Les **pertes** sont dues à la mise au rebut et à la perte d'emballages. Pour les emballages qui ne peuvent plus être réparés, l'**élimination suivie d'**un transfert vers un système de recyclage a généralement lieu lors de l'inspection avant le remplissage par les exploitants de pools ou les utilisateurs. La **démarque** est essentiellement due au retrait du circuit pour une utilisation finale par des tiers, au vol ou au littering. La démarque, qui

entraîne la perte de matériaux du système de recyclage, peut également être exprimée par le taux de retour :
taux de démarque = 1 - taux de retour.

La perte totale d'emballages due à la perte et au rejet doit être compensée par des produits nouvellement fabriqués. Il résulte d'un bilan numérique des emballages que le nombre de rotations et le taux de perte par rotation sont liés : **Nombre de rotations = 1/taux de perte**. Si, après une rotation, un pour cent des emballages ne peuvent pas être remplis à nouveau, que ce soit parce qu'ils n'ont pas pu être retournés à cause de la perte ou parce qu'ils ont été éliminés, le nombre moyen de rotations des emballages est de 100. Avec une perte de deux pour cent, le nombre de rotations est de 50. Le nombre de rotations peut donc être déterminé de manière simple par la quantité d'emballages frais à livrer à nouveau dans un système. Comme nous l'avons déjà mentionné, cela n'est toutefois valable que pour un système en équilibre, c'est-à-dire qui fonctionne avec un nombre constant d'emballages.

Si les systèmes réutilisables sont encore en cours de développement ou d'expansion, le nombre de nouveaux emballages introduits dans le système est supérieur à la compensation des pertes. Dans ce cas - et c'est le cas aujourd'hui pour la plupart des systèmes réutilisables basés sur des emballages plastiques - le nombre de rotations ne peut pas être déduit du nombre d'emballages introduits dans le système. Au lieu de cela, le nombre de rotations que l'on peut attendre à l'équilibre ultérieur doit être estimé à partir de la connaissance des taux d'élimination et de perte, car leur somme donne le taux de perte. Il convient toutefois de garder à l'esprit que les valeurs de tri et de perte dans les systèmes en cours d'élaboration ne correspondent probablement pas à celles des systèmes établis. D'une part, le tri des emballages encore relativement jeunes sera moins important qu'après de nombreuses années d'exploitation du système réutilisable. D'autre part, la déperdition due au prélèvement pour d'autres utilisations diminuera au fil du temps.

La détermination du nombre de rotations dans le cadre de cette étude a été effectuée sur la base d'une recherche bibliographique approfondie et d'entretiens avec des personnes expérimentées dans l'exploitation des systèmes d'exemple considérés (cf. chapitre 6.1.1).

## 5.4 Gérer les incertitudes

Les conclusions de la présente étude se basent sur des études de cas concrètes, des données bibliographiques, des enquêtes auprès d'experts et des calculs propres. Lorsque les résultats sont généralisés dans le sens de l'objectif de l'étude, à savoir établir une comparaison générale entre les systèmes réutilisables à base de plastique et leurs concurrents à usage unique, ils doivent donc être considérés comme provisoires et entachés d'incertitudes. Il ne peut guère en être autrement pour une méta-étude comme celle-ci. Jusqu'à présent, il n'existe que peu d'analyses du cycle de vie des systèmes à usage unique et réutilisables dont la base de données pourrait être recommandée pour des méta-études. Les méthodes complexes et sophistiquées utilisées dans les études d'ACV disponibles ne doivent

pas faire oublier que les calculs reposent en grande partie sur des moyennes sectorielles, des estimations d'experts, des simplifications ou des considérations par analogie. De plus, les limites du système et les règles d'allocation sont choisies de manière très différente. Pour certaines des catégories que nous avons examinées, nous n'avons pu nous appuyer sur aucune étude préalable, si bien que nous avons effectué nos propres analyses simplificatrices. Nous partons du principe que ces analyses et les résultats obtenus ont été présentés de manière suffisamment plausible pour les lecteurs et nous nous tenons, en tant qu'équipe d'auteurs, à votre disposition pour toute question concernant notre démarche. Les incertitudes qui découlent de la procédure choisie devraient toujours être prises en compte lors de généralisations et de conclusions basées sur les résultats rapportés ici.

Nous avons évalué la qualité des sources pour l'analyse des catégories en utilisant l'approche Pedigree (chapitre 9.3.1). Cette méthode permet de soumettre les sources bibliographiques et les avis d'experts à une évaluation qualitative. Nous avons ainsi rendu les incertitudes transparentes. Malgré cela, nous renonçons dans la plupart des cas à indiquer des fourchettes lors de l'évaluation des catégories, car ces données ne représenteraient elles aussi que des estimations et pourraient suggérer une fausse sécurité.

Les décisions politiques et les cadres ne sont généralement pas légitimés pour chaque cas particulier. L'objectif est plutôt de définir la direction la plus raisonnable. Un bon exemple est la hiérarchie des mesures de traitement établie dans la pyramide des déchets, qui n'est pas pertinente pour chaque cas d'application. Son respect n'a pas non plus été vérifié pour chaque cas d'application. Au lieu de cela, elle représente avant tout une estimation préliminaire judicieuse élaborée par les experts. Malgré les incertitudes, nous estimons donc que la tentative de vue d'ensemble et de déduction de recommandations généralisées est nécessaire. Elles peuvent constituer un élément important dans les débats politiques sur les emballages réutilisables et jetables. Néanmoins, la base de données devrait être améliorée à l'avenir afin de pouvoir prendre des décisions individuelles basées sur des faits et de permettre également un réajustement continu des conditions-cadres politiques.

# 6 Évaluation des alternatives à usage unique et réutilisables à l'aide de catégories sélectionnées

Les catégories utilisées pour décrire les avantages et les inconvénients des solutions à usage unique et réutilisables peuvent être réparties en trois groupes (catégories principales) :

- Catégories de circularité,
- les catégories de performance et
- Catégories de durabilité.

ERROR! USE THE HOME TAB TO APPLY ÜBERSCHRIFT 1 TO THE TEXT THAT YOU WANT TO APPEAR HERE.

Les catégories de circularité s'adressent aux aspects interentreprises d'une économie circulaire. Nous partons de l'hypothèse fondamentale, partagée par de nombreux acteurs, qu'une économie circulaire efficace est souhaitable, tant en termes de rentabilité que d'impact environnemental, et qu'elle présente un avantage par rapport à une économie linéaire. Mais cette hypothèse doit finalement se traduire par des avantages dans les catégories de performance et d'environnement. L'économie circulaire est donc avant tout une solution prometteuse, mais elle ne doit pas être une fin en soi. Etant donné que l'économie linéaire telle qu'elle est pratiquée aujourd'hui ne peut manifestement pas être poursuivie sans menacer l'existence humaine, que les gains d'efficacité ne sont possibles que dans une mesure limitée et que les stratégies de renoncement globales (suffisance) ne peuvent guère être mises en œuvre, l'économie circulaire est sans doute aussi largement sans alternative.

Par catégories de performance, nous entendons avant tout les catégories qui se réfèrent à l'impact direct des emballages sur les processus commerciaux des entreprises qui les utilisent. Les catégories de durabilité s'adressent aux effets des systèmes d'emballage sur l'environnement, la société et l'économie.

La sélection des catégories (Figure 14) a été effectuée en fonction de la pertinence du point de vue des auteurs et de la disponibilité des données. Elle n'a pas la prétention d'être exhaustive ou de ne pas se recouper. Néanmoins, nous partons du principe qu'elles représentent une bonne partie des fonctions et caractéristiques généralement associées aux emballages.

Figure 14 : Catégories considérées dans cette étude

Les analyses au sein de chaque catégorie s'orientent selon la structure suivante

1. Brève description de la catégorie et de sa pertinence
2. Proposition d'un critère/indicateur d'évaluation
3. Détermination des valeurs pour les systèmes étudiés

En ce qui concerne les échelles d'évaluation et les indicateurs utilisés, nous utilisons à la fois des grandeurs connues et d'autres qui sont nouvelles et basées sur nos propres réflexions. Afin de permettre une évaluation globale à l'aide de


© CCPE Fraunhofer

différentes catégories, les valeurs absolues des indicateurs sont converties en points d'indice sur une échelle à cinq niveaux allant de -2 à +2. Lorsque cela était possible, nous avons utilisé des références absolues pour l'indexation. Dans d'autres cas, nous avons utilisé comme référence les valeurs des systèmes à usage unique. Un récapitulatif des catégories par démonstrateur est présenté au chapitre 7.

En annexe (chapitre 9.4) contient les valeurs chiffrées des catégories analysées sous forme de tableaux, complétées par une évaluation de la qualité des données selon l'approche Pedigree (cf. chapitre 9.3.1).

## 6.1 Catégories de circularité

Les catégories de circularité analysées ci-dessous doivent permettre de déterminer dans quelle mesure le recyclage d'un emballage est possible. Il est important de ne pas assimiler en bloc les catégories de circularité à des effets positifs en termes de durabilité. Néanmoins, dans une enquête menée par la plus grande société de classification de navires au monde, les entreprises considèrent que le recyclage est une bonne chose. (DNV 2021)Sur 793 entreprises, 57,5 pour cent trouvent dans la mise en œuvre d'une économie circulaire des chances d'améliorer leur performance en matière de durabilité. 65,7 % espèrent qu'une grande circularité permettra de réduire les coûts. En outre, on s'attend à ce que la mise en œuvre de stratégies d'économie circulaire (EC) augmente la valeur de la marque et permette une meilleure prise en compte des intérêts des clients, des parties prenantes et des investisseurs. Les stratégies les plus importantes pour l'EC sont le recyclage des produits, l'allongement de la durée de vie des produits, le partage des produits, la réutilisation des ressources et la mise en œuvre de concepts de systèmes de service de produits.

75 pour cent des entreprises interrogées analysent les opportunités d'une économie circulaire pour leur entreprise, 33 pour cent veulent mettre en œuvre au moins une approche stratégique d'une économie circulaire dans les prochaines années, 26 pour cent ont déjà intégré le concept d'une EC dans leur stratégie de durabilité et 12,4 pour cent la considèrent déjà comme le cœur de leur modèle commercial. Le résultat central de l'enquête est cependant qu'une économie circulaire exige plus que jamais des coopérations interentreprises tout au long de la chaîne d'approvisionnement, du cycle de vie et même avec des concurrents présumés.

Dans ce contexte, l'économie circulaire peut être considérée comme un facilitateur important pour le développement durable. Elle sera donc différenciée et analysée plus en détail dans les chapitres suivants en rapport avec l'objet de cette étude.

### 6.1.1 Re-use/cycles et durée de vie

La réutilisation des solutions d'emballage est l'une des stratégies centrales de l'économie circulaire. Elle permet d'augmenter la durée et la fréquence d'utilisation des produits ou de composants individuels sélectionnés. (Potting et al. 2017). On parle de réutilisation lorsque le produit est réutilisé pour le même usage tout en

conservant sa forme. Si la réutilisation a lieu pour un autre usage, on parle de réutilisation. La conservation de la forme distingue la réutilisation et le réemploi du recyclage, qui consiste uniquement en une réutilisation de la matière (de l'ouvrage).

La réutilisation devrait être prise en compte lors de la conception de la solution d'emballage, étant donné que le recyclage de la variante réutilisable impose des exigences et des possibilités supplémentaires en complément de la tâche d'emballage proprement dite, comme par exemple la réduction du volume (cf. section 6.2.2) ou la réparabilité (section 6.1.4) pour prolonger la durée de vie. Des normes élaborées par le secteur peuvent aider à cet égard à l'avenir.

**Critère d'évaluation/indicateur**

La fréquence de réutilisation d'une solution d'emballage est mesurée par les rotations, représentées par le nombre de rotations. Dans une expertise méthodique sur les écobilans des emballages de boissons pour l'Office fédéral allemand de l'environnement, les auteurs résument Detzel et al. (2016) résument que " les chiffres de rotation [...] ont toujours été un point de discussion dans les écobilans [car] il n'existe pas de méthode obligatoire pour les déterminer et, la plupart du temps, aucune détermination des chiffres de rotation ne repose sur une base empirique. " (Detzel et al. 2016, S. 33)

La définition de Detzel et al. (2016)La définition du **taux de rotation, qui** correspond au "nombre moyen de phases d'utilisation d'un emballage réutilisable", ainsi que d'autres indicateurs connexes, ont été présentés au chapitre 5.3 expliqué.

Les systèmes à usage unique ont donc par définition un taux de rotation de 1. Étant donné que le réemploi/la réutilisation est une stratégie centrale pour la réalisation d'une économie circulaire et qu'il s'agit, avec le recyclage, d'une deuxième option pour boucler les cycles, il est néanmoins judicieux d'indiquer le taux de rotation pour les deux systèmes, même si les systèmes à usage unique obtiennent ici en principe de moins bons résultats. La détermination du nombre de rotations pour les systèmes réutilisables a été effectuée sur la base d'une recherche bibliographique approfondie et de la réalisation d'entretiens avec des personnes expérimentées dans l'exploitation des démonstrateurs considérés.

Pour l'utilisation de l'indicateur "nombre de rotations", l'échelle suivante est utilisée (Tableau 1). Lors de la définition des plages de valeurs, les systèmes MW considérés ont été classés comme "neutres" à "bons", seuls ceux dont le nombre de rotations est supérieur à 150 sont classés comme "très bons". Cela permet de réserver l'échelle vers le "haut" pour les démonstrateurs avec des rotations plus importantes ainsi que pour les futurs développements des systèmes MW considérés.

Tableau 1: Évaluation de l'indicateur "nombre de rotations

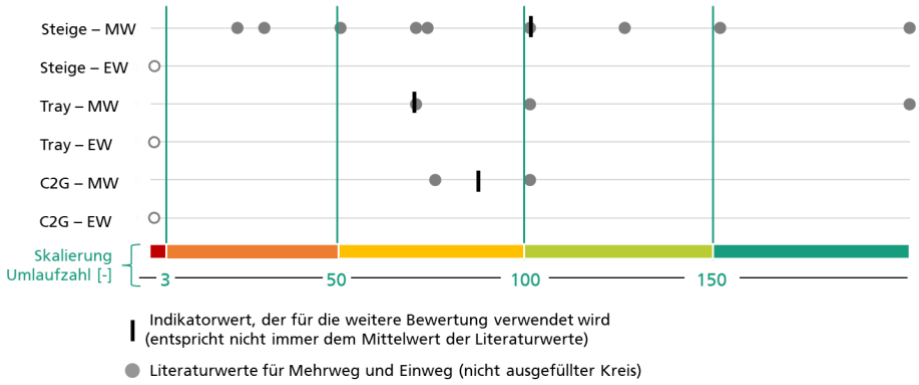
| Indicateur | -2 (mauvais) | -1 (plutôt mauvais) | 0 (neutre) | +1 (plutôt bon) | +2 (bon) |
|---|---|---|---|---|---|

| **Nombre de rotations** | < 3 | 3 à < 50 | 50 à < 100 | 100 à < 150 | ≥ 150 |
|---|---|---|---|---|---|

### Détermination des valeurs pour les systèmes étudiés

Le graphique suivant montre les résultats pour les systèmes réutilisables (RR) étudiés et les alternatives à usage unique (UU) correspondantes. Des indications sur la détermination des valeurs sont données dans le texte sous le graphique. Les tableaux présentant les données utilisées se trouvent au chapitre 9.4.1.

Illustration 15: Comparaison du nombre de rotations des systèmes à usage unique et des systèmes réutilisables




Sur la base des données présentées au chapitre 9.4.1 les valeurs indicatives suivantes ont été déduites pour les **cageots de fruits et légumes**. Les chiffres de rotation les plus souvent recherchés/mentionnés pour les cagettes MW se situent entre 100 et 150. Toutefois, les expériences pratiques de ces dernières années ont plutôt montré un nombre de rotations des cagettes à plusieurs voies pour fruits et légumes de 100 au maximum. Dans ce cas, une valeur indicatrice de +1 est attribuée.

Pour les **plateaux de plantes**, la fourchette de valeurs pour le réutilisable était un peu plus étroite et plus basse, entre 70 et 100. Cependant, il faut tenir compte du fait que la solution réutilisable est encore moins établie que celle du secteur des fruits et légumes. Pour la suite de la comparaison, un taux de rotation de 70 (valeur indicatrice 0) est utilisé.

Le marché des **gobelets Coffee to go** est également encore en cours de développement, les gobelets RECUP actuels étant par exemple en circulation depuis mai 2017 au plus tôt. (Pachaly 2021). Avec 15 rotations par an depuis environ 5 ans, on a donc déjà atteint 75 rotations. Lors de cycles de tests dans des machines à laver industrielles, aucun défaut n'a été constaté sur les gobelets après 1000 lavages. Une fourchette de valeurs de 70 à 100 rotations (en moyenne 85 rotations, valeur indicatrice 0) peut donc être considérée comme réaliste pour les gobelets MW et est utilisée dans cette étude pour la suite de la comparaison. Pour les bouteilles réutilisables en PET, on n'atteint aujourd'hui qu'un nombre de

rotations de 15 à 20. (Deutsche Umwelthilfe e.V. 2020). Il faudra voir à l'avenir si les attentes élevées en matière de rotations pour les gobelets réutilisables sont justifiées.

### 6.1.2 Efficacité et intensité des matériaux

Les besoins en matériaux pour les emballages sont très variables. Dans le cas des systèmes à usage unique, on essaie de réduire autant que possible l'utilisation de matériaux afin d'économiser les coûts de matériel et d'élimination des déchets. En revanche, les emballages réutilisables sont généralement réalisés avec une quantité de matériaux nettement plus importante, dans un design robuste, afin de permettre de nombreuses utilisations et une longue durée de vie. En fin de compte, pour qu'un emballage soit écologiquement et économiquement avantageux, l'un des objectifs fondamentaux doit être de minimiser l'utilisation de matériaux par rapport au volume de remplissage par utilisation. Cela a tendance à avoir un effet favorable sur les coûts, les ressources extraites ou encore le dégagement de dioxyde de carbone lors de l'élimination thermique.

Lors de l'évaluation de l'efficacité des matériaux, il faut tenir compte du fait que les économies réalisées dans le domaine de l'emballage primaire l'ont été, le cas échéant, au détriment d'une augmentation de l'utilisation de matériaux dans les emballages secondaires et tertiaires. Ainsi, un emballage primaire non empilable nécessite des emballages de transport suffisamment solides pour garantir une utilisation efficace des capacités de l'espace de transport et de stockage.

**Critère d'évaluation/indicateur**

Dans cette étude, l'intensité matérielle, définie comme la masse de l'emballage par rapport au volume du produit et au nombre d'utilisations, est utilisée comme critère de mesure de l'efficacité matérielle. Plus l'intensité matérielle est faible, plus l'efficacité matérielle est élevée. Klooster et al. (2017) ont étudié le rapport entre le poids de l'emballage et le poids du produit pour un grand nombre de produits dans le domaine de l'emballage alimentaire. La fourchette s'étendait d'environ 1 gramme à 100 grammes d'emballage par kilogramme de produit, avec peu d'exceptions en dessous ou au-dessus. Les auteurs n'ont pas pu confirmer l'attente selon laquelle le rapport entre la masse de l'emballage et la masse du produit diminue lorsque la masse du produit augmente. Ils expliquent cela notamment par des exigences de stabilité plus élevées pour les emballages plus grands. En supposant que les produits de remplissage ont une densité d'environ 1 kilogramme par litre, une classification a été établie pour l'évaluation de l'intensité matérielle selon Tableau 2 a été définie. Même si cette classification générique permet de comparer les emballages entre eux, il convient de noter qu'il existe des applications spécifiques qui nécessitent des intensités de matériaux nettement différentes (par exemple pour des raisons de protection du produit). Des analyses plus détaillées sont alors nécessaires au cas par cas.

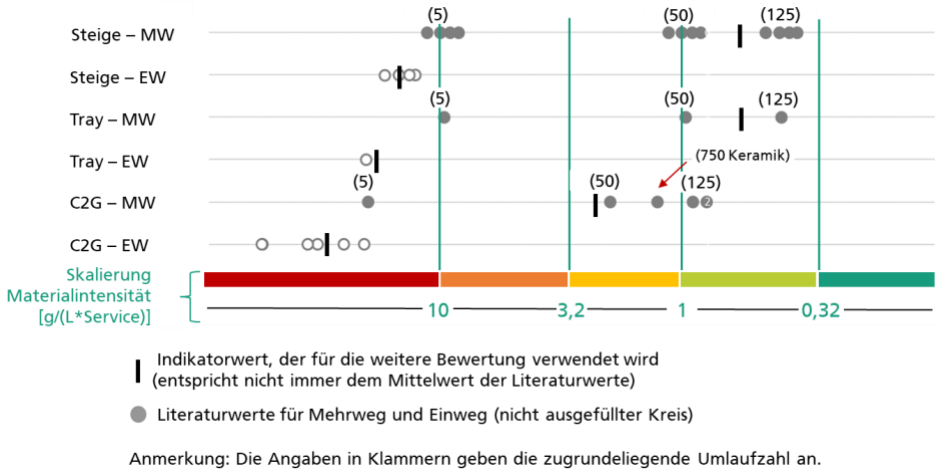
Tableau 2: Évaluation de l'indicateur Intensité matérielle

| Indicateur | -2 (mauvais) | -1 (plutôt mauvais) | 0 (neutre) | +1 (plutôt bon) | +2 (bon) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Intensité matérielle** [g/(L x utilisation)] | ≥ 10 | 3,2 à < 10 | 1 à < 3,2 | 0,32 à < 1 | < 0,32 |

### Détermination des valeurs pour les systèmes étudiés

Le graphique suivant montre les résultats pour les systèmes réutilisables (RR) étudiés et les alternatives à usage unique (UU) correspondantes. Des indications sur la détermination des valeurs sont données dans le texte sous le graphique. Les tableaux présentant les données utilisées se trouvent au chapitre 9.4.2.

Figure 16
Efficacité et intensité matérielles comparées des systèmes à usage unique et des systèmes réutilisables




Pour les trois démonstrateurs, les avantages en termes d'efficacité matérielle sont nettement en faveur des systèmes réutilisables. En augmentant le nombre de rotations, l'intensité des matériaux diminue nettement, de sorte que les systèmes réutilisables permettent d'atteindre une efficacité matérielle que les emballages à usage unique ne pourront guère atteindre, même en exploitant les futurs potentiels d'économie (films plus fins, évitement des emballages dits "trompeurs").

Pour les **caisses réutilisables** pour O/G en utilisation B2B, des taux de rotation de plus de 50 sont courants. Il en résulte des intensités de matériaux inférieures à 1 gramme par utilisation et par litre de produit (valeur indicatrice +1). En revanche, les **caisses unidirectionnelles** sont nettement supérieures à 10 grammes par utilisation et par litre de produit (valeur indicatrice -2). Le poids prétendument élevé des emballages réutilisables est donc plus que surcompensé par la multiplicité des utilisations. En outre, l'intensité matérielle des emballages réutilisables peut être réduite non seulement par des économies de matériau sur

l'emballage lui-même, mais aussi par une augmentation du nombre de rotations (par exemple en minimisant les pertes, en réduisant le temps de rotation, etc.

**Les plateaux à plantes jetables** en plastique sont utilisés depuis longtemps. En raison de leurs meilleures propriétés mécaniques, ils atteignent une intensité matérielle légèrement inférieure à celle des plateaux jetables en carton (valeur indicatrice -2). Néanmoins, ils ne peuvent pas concurrencer l'efficacité matérielle (attendue) pour les **plateaux à plantes réutilisables** (en supposant qu'au moins 50 rotations soient atteintes, valeur indicatrice +1). L'expérience acquise avec les solutions existantes ainsi que les études de conception des futurs systèmes réutilisables laissent présager des intensités de matériaux similaires, voire supérieures, à celles des plateaux réutilisables, en raison de l'absence de pièces mobiles.

Contrairement aux plateaux et aux barquettes, les gobelets Coffee-to-go s'adressent au marché B2C. Au cours des dernières décennies, ce sont surtout les solutions jetables qui se sont établies. A l'avenir, ce sont surtout les gobelets en papier qui entreront en ligne de compte comme gobelets **jetables pour le coffee-to-go. Étant donné qu**'ils sont de plus en plus souvent à double paroi et cannelés, l'intensité des matériaux est relativement élevée et l'efficacité des matériaux est faible. Le "gobelet pour distributeur automatique" en polystyrène présente une intensité matérielle un peu plus faible. En principe, l'intensité matérielle de toutes les variantes reste toutefois supérieure à 10 grammes par utilisation et par litre de produit (valeur indicatrice -2). Les gobelets en polystyrène expansé sont devenus plus chers en raison de la mise en œuvre des dispositions de la directive européenne sur les plastiques à usage unique. UE 2019/904 (2019) dans le site VerpackG (2021) juillet 2021.

En ce qui concerne les **gobelets réutilisables pour le café à emporter,** les fournisseurs actuels utilisent presque tous des gobelets en polypropylène. L'efficacité des matériaux par rapport à la solution jetable est assurée à partir de 5 utilisations. Des tests en lave-vaisselle ont montré que les gobelets peuvent être utilisés nettement plus souvent ; pour une estimation conservatrice, nous partons ici d'un minimum de 50 rotations (cf. section 6.1.1). Il en résulte une valeur indicatrice de 0. En cas d'utilisation très fréquente (750 fois), même les gobelets en céramique lourds présentent une bonne efficacité matérielle. Jusqu'à présent, il n'existe toutefois aucune preuve que des utilisations aussi fréquentes soient réalistes.

Des intensités de matériaux de 0,32 gramme par emballage et par utilisation, et donc une valeur indicatrice de +2, seraient réalisables pour toutes les applications réutilisables avec un nombre de rotations nettement plus élevé (environ 500). Cependant, celles-ci ne semblent pas encore représentables dans la pratique à l'heure actuelle.

### 6.1.3 Retours et pertes de matériel

Les pertes de matériaux entravent une économie circulaire efficace. Les pertes ne sont pas disponibles pour un recyclage de qualité et doivent être compensées par

des matériaux neufs. Les pertes de matériaux d'un système de recyclage peuvent avoir différentes causes :

- Élimination en tant que déchet résiduel ou apport pour recyclage en dehors du système de recyclage - cela inclut l'exportation de déchets pour recyclage en dehors de la région considérée, ici l'Allemagne.
- Non-restitution pour cause d'utilisation définitive par un tiers (objet de collection, matériel de construction, etc.)

En outre, le littering ou l'abrasion peuvent également être des raisons de pertes de matériel, mais celles-ci sont généralement nettement moins importantes et sont traitées séparément dans la section 6.1.8 traitées dans la section suivante. Les matériaux d'emballage qui ne sont pas perdus sont collectés et réutilisés ou recyclés.

**Critère d'évaluation/indicateur**

Le taux de retour sert de critère d'évaluation des pertes de matériaux. Pour les systèmes réutilisables, le taux de retour est souvent directement enregistré. Pour les systèmes à usage unique, il est calculé à partir de la quantité de déchets collectés en vue de leur recyclage, rapportée à la quantité totale de déchets à éliminer :

$$Rücklaufquote = \frac{Abfallmenge\ zur\ Verwertung}{Abfallmenge\ zur\ Entsorgung}$$

La quantité de déchets en attente d'élimination peut alors être déterminée à partir de la quantité consommée, corrigée des excédents d'exportation/importation, des quantités de déchets de production et des modifications, dans le stock. L'étude GVM sur la production de déchets d'emballages permet d'établir des valeurs de référence à partir desquelles la répartition de l'échelle ordinale peut être effectuée pour l'évaluation. (élèves 2020). Pour ce faire, des groupes de déchets individuels sont analysés ci-après.

La consommation d'emballages plastiques en Allemagne, corrigée des importations et des exportations ainsi que des déchets de production, s'élevait à 3,24 millions de tonnes en 2018. Sur cette quantité, 2,46 millions de tonnes sont actuellement collectées pour être recyclées par des fournisseurs de systèmes, des solutions sectorielles, des systèmes de consigne à usage unique, etc. (sans compter la valorisation énergétique dans les usines d'incinération des déchets). Il en résulte un taux moyen de retour des emballages plastiques pour l'Allemagne de :

$$Rücklaufquote_{Kunststoff,2018} = \frac{2{,}46\ Mt}{3{,}24\ Mt} \approx 76\ \%$$

Si la part exportée à l'étranger (0,20 million de tonnes) était déduite de la quantité collectée pour le recyclage, le taux de retour des plastiques serait réduit à 69,8 %. On ne sait toutefois pas si des matériaux secondaires sont réimportés de l'étranger pour la consommation de plastique en Allemagne, et dans quelle mesure. Pour

simplifier, on suppose que ces flux de matières sont identiques, ce qui permet de renoncer à une correction.

Pour le papier, le carton et les cartons (PPK), le taux de retour est de (VDP - Verband deutscher Papierfabriken 2021).[18]

$$Rücklaufquote_{PPK,2018} = \frac{7{,}28\ Mt}{8{,}34\ Mt} \approx 87\ \%$$

Sur la base des valeurs pour le plastique, les taux de réponse inférieurs à 80 pour cent sont considérés comme plutôt faibles et inférieurs à 70 pour cent comme faibles. Un taux de réponse acceptable résulte de la valeur actuelle pour le papier et se situe entre 80 et 90 pour cent, les taux de réponse plutôt élevés se situent entre 90 et 95 pour cent, nous fixons les taux de réponse élevés à plus de 95 pour cent (Tableau 3).

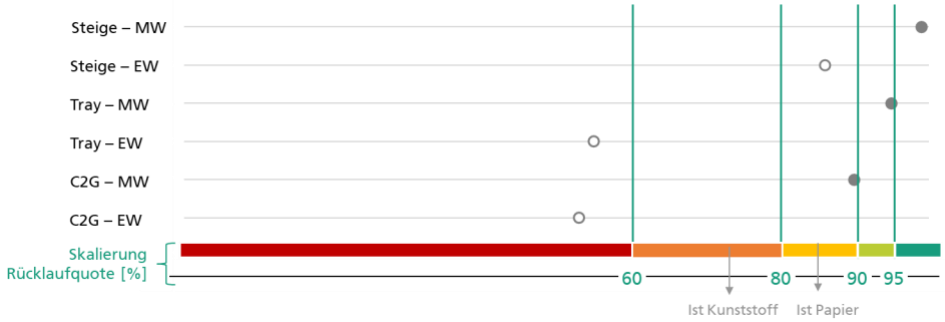
Tableau 3: Gradation de l'indicateur Taux de réponse

| Indicateur | -2 (mauvais) | -1 (plutôt mauvais) | 0 (neutre) | +1 (plutôt bon) | +2 (bon) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Taux de réponse** | < 70 % | 70 à < 80 % | 80 à < 90 | de 90 à < 95 %. | ≥ 95 % |

**Détermination des valeurs pour les systèmes étudiés**

Le graphique suivant montre les résultats pour les systèmes réutilisables (RR) étudiés et les alternatives à usage unique (UU) correspondantes. Des indications sur la détermination des valeurs sont données dans le texte sous le graphique. Les tableaux présentant les données utilisées se trouvent au chapitre 9.4.3.

Figure 17: Taux de retour des systèmes à usage unique et des systèmes réutilisables en comparaison




**Les trottoirs roulants multidirectionnels** utilisés en B2B atteignent des taux de réponse de 99,2 pour cent (Muske 2021). L'origine de la perte de 0,8 % n'est pas

18 Pour le PPK dans son ensemble, l'association des papeteries allemandes indique des valeurs inférieures de 78 %.

claire. Il s'agit probablement d'utilisations en dehors de l'objectif prévu, qui entraînent le cas échéant des temps de retour plus longs.

Le recyclage des emballages de transport PPK dans le commerce est très hétérogène. Elle est assurée par un grand nombre d'entreprises différentes et suit des voies très diverses. Il est donc difficile de quantifier tant la production de déchets que les quantités en attente de recyclage. (élèves 2020). C'est pourquoi le taux de retour moyen de 87% pour le groupe de matériaux PPK est considéré comme réaliste pour les **caisses carton** (valeur d'indicateur 0).

Selon les données d'un leader du marché, le taux de recyclage (tray-to-tray) des **plateaux à usage unique pour le transport des plantes** est de 50 pour cent. (Normpack 2021). Compte tenu du fait qu'il n'existe pas de système de collecte obligatoire pour les déchets industriels et qu'aucune initiative sectorielle explicite n'a été identifiée pour la collecte des plateaux à plantes, on peut supposer que le taux de retour est d'environ 55 pour cent (part de recyclage plus 5 pour cent de déchets) et que le reste est envoyé à la valorisation thermique des déchets (valeur d'indicateur -2).

Pour les **plateaux de plantes réutilisables,** le taux de retour réalisable dépend également de l'ouverture du système vers le consommateur final (prise et retour du plateau par le consommateur). Dans ce cas, l'expérience montre qu'il ne faut s'attendre à des taux de retour élevés que si une consigne est prélevée. Les experts s'attendent toutefois à ce qu'au maximum 5 pour cent des barquettes soient emportées par les consommateurs finaux. (Muske 2021 ; Oldenburg 2021). On peut donc s'attendre à un taux de retour supérieur à 95 % (valeur d'indicateur +2).

Dans le cadre d'une étude menée auprès d'un exploitant de station-service, des taux de retour allant jusqu'à 90 pour cent ont été calculés pour le **gobelet réutilisable Coffee-to-go.** (Pachaly 2021). Comme les systèmes réutilisables sont encore en cours de développement et que la quantité en stock augmente actuellement de manière significative, les taux de retour ne sont pas encore disponibles au niveau de l'exploitant du pool (valeur d'indicateur 0).

Les emballages jetables sont utilisés à 81 % pour la consommation immédiate et hors foyer. Il est peu probable que de grandes quantités soient collectées séparément et acheminées vers un recyclage via les systèmes duaux. Les **gobelets jetables** jetés dans les poubelles publiques sont probablement éliminés en grande partie comme déchets résiduels et ne sont donc plus disponibles pour un recyclage. Cela signifie également que les gobelets jetables génèrent des coûts supplémentaires en plus de la taxe résultant de l'obligation de participer aux systèmes duaux, étant donné que leur élimination en tant que déchets résiduels dans les corbeilles publiques est financée par les taxes sur les déchets. (Association des villes et communes de Rhénanie du Nord-Westphalie 2003). Environ 43 % des gobelets jetables sont utilisés dans le secteur de la vente à emporter. (Kauertz et al. 2019). Pour simplifier, on suppose que cette part n'est pas recyclée par les systèmes duaux, mais éliminée thermiquement comme déchet résiduel dans les corbeilles à papier publiques. Si les gobelets utilisés pour la consommation hors foyer sont déposés dans la poubelle jaune après utilisation, la proportion de

gobelets jetables recyclés pourrait être plus élevée, mais dans le même temps, les gobelets jetables utilisés lors de manifestations et jetés dans les corbeilles publiques pourraient également augmenter considérablement la quantité non recyclée. Le taux de retour dans les systèmes de recyclage des gobelets jetables est donc supposé être de 57 % (valeur indicatrice -2).

### 6.1.4 Réparabilité

Dans les systèmes réutilisables, la réparation des produits est un moyen de prolonger leur durée de vie. Elle est généralement une option pour les produits composés de plusieurs éléments. Envisager ou non une réparation est en fin de compte une décision entre le coût de la réparation et la valeur à neuf du produit. Les composants remplacés pendant une réparation sont, par exemple, les pièces mobiles des cageots qui permettent de les plier et donc de réduire leur volume (par exemple, leviers, parties latérales) ou les codes/étiquettes actuellement encore partiellement collés pour l'identification des produits.

**Critère d'évaluation/indicateur**

Afin de pouvoir évaluer qualitativement la réparabilité des emballages considérés, l'échelle suivante est utilisée (Tableau 4).

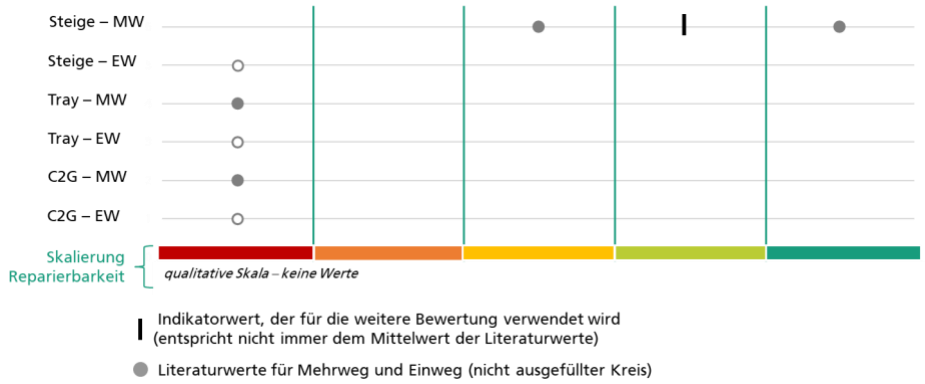
Tableau 4: Évaluation de la réparabilité

| Indicateur | -2 (mauvais) | -1 (plutôt mauvais) | 0 (neutre) | +1 (plutôt bon) | +2 (bon) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Réparabilité** | La réparation n'est pas prévue et n'aura pas lieu. | La réparation est prévue, mais n'a pas lieu. | La réparation n'est pas prévue en priorité, mais elle a lieu individuellement. | La réparation est prévue, mais n'a que rarement lieu. | La réparation est standard. |

**Détermination des valeurs pour les systèmes étudiés**

Le graphique suivant montre les résultats pour les systèmes réutilisables (RR) étudiés et les alternatives à usage unique (UU) correspondantes. Des indications sur la détermination des valeurs sont données dans le texte sous le graphique. Les tableaux présentant les données utilisées se trouvent au chapitre 9.4.4.

Illustration 18: Comparaison de la réparabilité des systèmes à usage unique et des systèmes réutilisables




Étant donné que les cagettes à fruits et légumes pliables/repliables nécessitent des pièces mobiles (par ex. leviers, parties latérales), leur remplacement et donc la réparation des cagettes sont en principe envisageables, mais sont effectués différemment dans les différents pools, raison pour laquelle une "neutre" et une "très bonne" réparabilité en Illustration 18 a été attribuée. En moyenne, on obtient une valeur d'indicateur de +1 (point vert). La réparabilité des caisses perdues n'est ni prévue ni donnée en tant qu'emballage à usage unique. C'est pourquoi la réparabilité est classée comme "mauvaise" (valeur d'indicateur -2).

Les plateaux à plantes sont mono-matériaux, les options d'identification sont imprimées/fusionnées et n'ont pas de composants mobiles. Du point de vue actuel, la réparabilité n'est ni prévue ni donnée, tant pour la variante à usage unique que pour la variante réutilisable ("mauvaise", valeur d'indicateur -2).

Les gobelets Coffee to go sont en mono-matériau, les futures options d'identification sont imprimées/fusionnées. Le gobelet lui-même n'a pas de composants mobiles, le couvercle utilisé en option est un composant séparé qui est acheté par le client. La réparabilité n'est aujourd'hui ni prévue ni donnée, tant pour la variante jetable que pour la variante réutilisable ("mauvaise", valeur d'indicateur -2).

### 6.1.5 Recyclabilité

Les matières plastiques sont des matériaux dont le composant principal est constitué de macromolécules organiques. Dans la plupart des cas, ces dernières sont constituées d'une succession d'éléments de base répétitifs, les monomères, et sont appelées polymères. Les propriétés des matières plastiques dépendent essentiellement de la structure des polymères (linéaire ou ramifiée), de la longueur de la chaîne/taille de la molécule et des forces d'attraction moléculaires agissant entre les polymères. La grande variété de plastiques disponibles aujourd'hui repose sur le grand nombre de monomères possibles, sur les nombreuses façons de les polymériser et sur les nombreuses possibilités de mélanger les polymères entre eux. L'éventail des propriétés des matériaux est encore élargi par l'utilisation d'additifs (voir section 8.2). Les plastiques peuvent être des matériaux souples et élastiques (par exemple, des anneaux en caoutchouc), des matériaux souples et

ERROR! USE THE HOME TAB TO APPLY ÜBERSCHRIFT 1 TO THE TEXT THAT YOU WANT TO APPEAR HERE.

flexibles (par exemple, des sacs en plastique) ou des matériaux durs et rigides (par exemple, des boîtiers de téléphone).

Les plastiques sont généralement classés en deux groupes principaux en fonction de leur comportement à la chaleur. Celles qui se ramollissent d'abord en étant chauffées et qui forment ensuite un polymère fondu fluide sont appelées thermoplastiques. Leur cohésion à basse température repose sur les interactions relativement lâches entre les macromolécules. En revanche, les duromères (également appelés thermodurcissables) ne se ramollissent pas lorsqu'ils sont chauffés, mais se décomposent chimiquement. Leur cohésion repose sur un processus de réticulation qui se déroule lors de la fabrication de la pièce en plastique et au cours duquel se forme un réseau tridimensionnel lié par des liaisons covalentes. En ce qui concerne la transformation et le recyclage, les deux groupes se distinguent fondamentalement : le moulage d'un thermoplastique est un processus réversible. Le matériau peut être fondu et transformé à nouveau. En revanche, un thermodurcissable ne peut pas être refondu ou reformé après la fabrication de la pièce ; lorsqu'il est chauffé, le matériau se décompose, généralement en une multitude de fragments différents.

En fonction du processus de fabrication d'un composant ou d'un produit en plastique, différentes options de recyclage sont disponibles pour la réutilisation de ses composants, comme le montre le schéma ci-dessous.

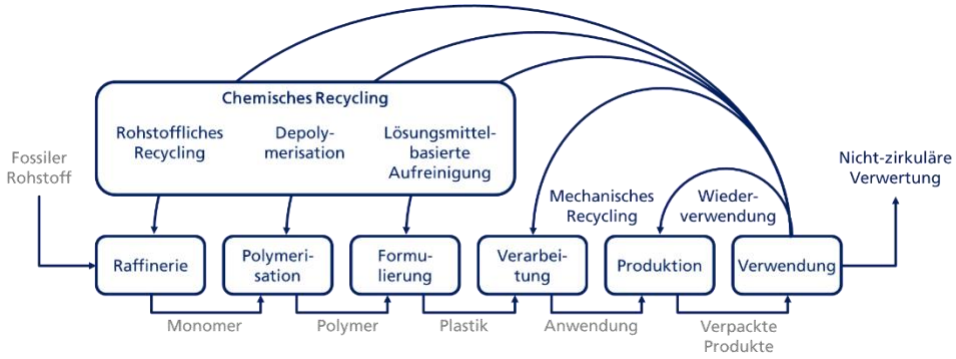



Figure 19:
Aperçu des différents cycles pour le plastique dans une économie circulaire.
Modifié d'après IN4climate.NRW (2020).

Tous les plastiques peuvent être utilisés pour produire de l'énergie par incinération à la fin de la durée de vie d'un composant ou d'un produit fabriqué à partir de ces matières (à l'extrême droite dans Figure 19, "recyclage non circulaire"). La réutilisation, par exemple d'un emballage réutilisable, constitue la possibilité suivante, qui s'applique également à tous les plastiques. Le recyclage mécanique (ou matériel ou mécanique) suivant, c'est-à-dire la réutilisation de plastiques déjà transformés ou utilisés par refonte, ne peut être effectué qu'avec des matériaux thermoplastiques. Les matériaux secondaires réticulés chimiquement - c'est-à-dire thermodurcissables ou élastiques - peuvent, dans le meilleur des cas, être mélangés dans une faible proportion lors de la nouvelle production. Il en va de même pour la purification à base de solvants, qui consiste à dissoudre les polymères dans des solvants de faible poids moléculaire afin de les séparer les uns des autres, mais aussi des additifs, et de pouvoir les réutiliser. Ce processus de dissolution physique ne fonctionne que pour les polymères non réticulés chimiquement. Outre les polymères thermodurcissables et élastomères, les

thermoplastiques réticulés par faisceau d'électrons, par exemple, ne peuvent pas être entièrement recyclés. La dépolymérisation des plastiques en éléments de base s'effectue généralement par chauffage et/ou par l'ajout de réactifs chimiques. Le processus est particulièrement applicable aux polymères liés par des groupes chimiques fonctionnels, comme les polyesters, les polyamides ou les polyuréthanes. Le polyméthacrylate de méthyle (PMMA, connu sous le nom de plexiglas) et le polystyrène (PS) peuvent également être utilisés. Pour les autres polyoléfines (principalement PE, PP et PVC), la dépolymérisation n'est pas possible. Par recyclage des matières premières, on entend l'obtention de produits chimiques de faible poids moléculaire, liquides ou gazeux. Le processus de décomposition nécessaire est provoqué par un fort chauffage des matières plastiques et peut être appliqué à tous les duromères et thermoplastiques.

Les thermoplastiques, en particulier, sont en principe des matériaux recyclables en raison de la possibilité qu'ils ont d'être utilisés, comme les métaux ou le verre, pour fabriquer de nouveaux produits après avoir été refondus. Dans la comparaison des méthodes de recyclage, ce procédé est le meilleur en raison de sa simplicité et de sa récupération à presque 100 % (Meys 2020). Toutefois, la qualité du matériau à refondre revêt une grande importance. Selon Pfaender (2016) le recyclage mécanique est "la méthode de recyclage la plus efficace sur le plan énergétique et la plus préférée sur le plan écologique, à condition que le flux de matériaux soit relativement pur et propre. Les avantages du recyclage mécanique diminuent à mesure que les efforts de tri et de nettoyage augmentent. L'objectif final du recyclage mécanique est de remplacer les matériaux neufs par des matériaux ayant la même fonctionnalité, c'est-à-dire d'atteindre un circuit fermé ("closed-loop")". Il faut toutefois tenir compte du fait qu'il existe des limites aux cycles répétitifs d'utilisation et de recyclage. (Shamsuyeva et Endres 2021). Cela s'explique par l'influence de la lumière, des rayons UV et de l'eau (phase d'utilisation), de l'oxygène (phase d'utilisation et de recyclage) et des températures élevées (surtout lors du recyclage) sur les polymères, qui entraînent des modifications chimiques. Ces modifications ne sont pas réversibles, mais elles peuvent - et elles le sont dans la fabrication des plastiques, voir section 8.2 - être retardées par l'utilisation d'additifs stabilisants. Pour obtenir une qualité de matière recyclée suffisante avec la stabilité de traitement et la stabilité à long terme nécessaires pour l'application prévue, une nouvelle formulation avec des additifs appropriés est souvent nécessaire. Pour cela, on dispose en principe de tout le champ d'additifs comme pour les matières premières vierges. Même le PP issu de la collecte des déchets peut concurrencer les matériaux vierges en termes de stabilité de traitement et de stabilité thermique, à condition qu'une telle post-stabilisation soit effectuée. Il en va de même pour le PE, par exemple les caisses de bouteilles. (Pfaender 2016). En l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible d'indiquer de manière générale dans quelle mesure le recyclage multiple a un impact sur les qualités du matériau (exprimées par exemple en termes de résistance à la traction, de résistance à la flexion et de résistance aux chocs du matériau), malgré l'ajout d'additifs. (Shamsuyeva et Endres 2021).

**Critères d'évaluation/indicateurs** (Tableau 5)

**Recyclabilité de principe :** dans cette étude, on entend par "recyclabilité de principe" l'aptitude fondamentale des matières plastiques utilisées dans les produits considérés à être recyclées de la manière la plus efficace possible en termes d'énergie et de matériaux. Elle est évaluée à l'aide des méthodes disponibles pour le matériau en fin de vie. Le meilleur niveau de recyclabilité de principe (+2) est le recyclage mécanique, à partir de produits en plastique largement triés et propres. Viennent ensuite, par ordre décroissant, le recyclage mécanique à partir de produits plastiques mélangés et/ou souillés (+1) et le recyclage à base de solvants (0). La dépolymérisation (-1) et le recyclage à partir de matières premières (-2) représentent les moins bons procédés de recyclage, car ils impliquent une consommation d'énergie et des pertes de matériaux plus importantes.

**Recyclabilité pratique :** la recyclabilité pratique consiste à évaluer si les techniques de collecte, de tri et de traitement nécessaires au recyclage des matériaux des produits de démonstration sont disponibles. Pour le meilleur niveau de recyclabilité pratique (+2) dans le cadre de cette étude, on suppose qu'il existe et que sont exploitées en Allemagne des installations à usage industriel ayant une expérience d'exploitation. Viennent ensuite, dans l'ordre, les installations utilisées en Europe (+1) et celles situées en dehors de l'Europe (0). Si la technique de l'installation de recyclage fait l'objet d'essais industriels, le niveau (-1) est attribué et si elle fait actuellement l'objet de recherches ou n'a pas encore été étudiée, le niveau (-2) est attribué.

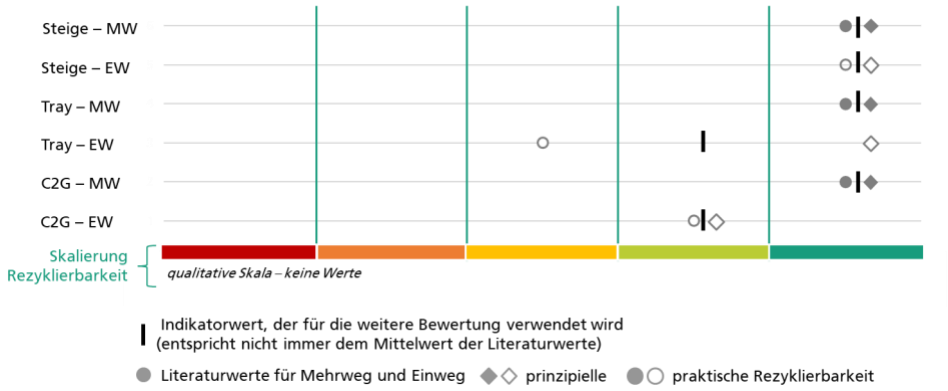
Tableau 5 Indicateur et évaluation de la recyclabilité de principe et de la recyclabilité pratique

| Indicateur | -2 (mauvais) | -1 (plutôt mauvais) | 0 (neutre) | +1 (plutôt bon) | +2 (bon) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Recyclabilité de principe (PriRe)** | Duromères, élastomères, thermoplastiques réticulés<br>mélanges de thermoplastiques souillés | Polyester, polyamide, polyuréthane, PMMA, PS | thermoplastiques, contaminés, mélangés ou contenant des additifs indésirables | Thermoplastiques, mélangés ou contaminés | Thermoplastiques, en grande partie purs et peu pollués |
| **Recyclabilité pratique (PraRe)** | La technique est encore à l'étude ou n'a pas encore été testée. | Technique en cours d'expérimentation industrielle | La technologie est exploitée à l'échelle industrielle en dehors de l'UE | La technologie est exploitée à l'échelle industrielle dans l'UE | La technique est exploitée à l'échelle industrielle en Allemagne |

### Détermination des valeurs pour les systèmes étudiés

Le graphique suivant montre les résultats pour les systèmes réutilisables (RR) étudiés et les alternatives à usage unique (UU) correspondantes. Des indications sur la détermination des valeurs sont données dans le texte sous le graphique. Les tableaux présentant les données utilisées se trouvent au chapitre 9.4.5.

Figure 20: Comparaison de la recyclabilité des systèmes à usage unique et des systèmes réutilisables




Tous les ouvrages consultés et les personnes interrogées ont indiqué que les **cagettes multidirectionnelles** pour fruits et légumes sont généralement fabriquées en polypropylène (PP) ou en polyéthylène haute densité (PEHD). Pour certaines constructions, par exemple les systèmes de fermeture, on utilise en outre des polymères durables et faciles à glisser, comme le polyoxyméthylène (POM). (Haidlmair 2021). Seuls des colorants et des stabilisateurs contre les UV et l'oxydation sont ajoutés au PP ou au PEHD ; les charges minérales sont rarement utilisées. (Haidlmair 2021). C'est pourquoi ces matières plastiques sont très bien séparées du POM ou d'autres matières étrangères telles que les polyesters ou les polyamides lors de la séparation par flottage/décantation utilisée de manière standard dans le traitement des pâtes broyées. Le PP et le PEHD peuvent être séparés par un tri optique, généralement dans le domaine de l'infrarouge (trieur IR), si cela n'a pas déjà été fait avant le broyage, par exemple par une séparation par fabricant, type ou couleur.

En résumé, on constate qu'après le retraitement, les matériaux des cagettes multidirectionnelles sont des thermoplastiques (PP et PEHD) en grande partie purs et peu pollués. Ils sont donc bien recyclables en principe. La valeur de l'indicateur "Recyclabilité de principe" des cagettes multidirectionnelles est de +2.

Tous les processus de broyage, de nettoyage, de séparation des impuretés et de refonte des pâtes de fruits et légumes ainsi préparées font partie de l'état de l'art en Allemagne. La valeur de l'indicateur pour la "recyclabilité pratique" des pâtes à usages multiples est également de +2.

Le matériau du **produit de comparaison à usage unique**, un **carton de transport**, est également très facilement recyclable. Cela s'explique par le fait qu'en règle générale, les cartons issus du commerce alimentaire de détail sont collectés propres et triés, puis envoyés au recyclage du papier. La valeur de l'indicateur pour la "recyclabilité de principe" du carton de transport est de +2. Le procédé de recyclage des vieux papiers fait partie de l'état de la technique en Allemagne. L'indicateur de "recyclabilité pratique" des cartons obtient donc également la valeur +2.

Les sources bibliographiques considérées et la personne interviewée ont indiqué que **les plateaux à plantes réutilisables** sont généralement fabriqués en polypropylène (PP) ou en polyéthylène haute densité (PEHD). Comme indiqué plus haut pour les cagettes de fruits et légumes, ces plastiques sont bien recyclables en principe et ils peuvent être recyclés sans problème en Allemagne selon l'état de la technique. Les valeurs indicatrices pour la "recyclabilité de principe" et la "recyclabilité pratique" des plateaux à plantes réutilisables sont de +2.

Le matériau des **plateaux à plantes jetables** est généralement le polystyrène (PS). Ce thermoplastique est en principe facilement recyclable. Cependant, son utilisation dans le domaine de l'emballage a fortement diminué ces dernières années en Allemagne, de sorte que, dans le cadre de la révision de la norme minimale pour l'évaluation de la recyclabilité des emballages soumis à l'obligation de participation à un système, conformément à l'article 21, paragraphe 3, de la VerpackG, seule une infrastructure de recyclage limitée est désormais indiquée pour les emballages en PS en Allemagne. La valeur de l'indicateur pour la "recyclabilité de principe" des plateaux à plantes jetables est donc également de +2. La "recyclabilité pratique" des plateaux à plantes jetables est en revanche évaluée comme neutre, 0.

Dans la littérature, les matériaux utilisés pour les **gobelets réutilisables de Coffee to go** sont, outre le polypropylène (PP) qui est toujours cité, le polyéthylène téréphtalate (PET) et l'acide polylactique (PLA), un plastique biosourcé. La personne interrogée, un représentant du système de consigne reCup répandu en Allemagne, a déclaré que les emballages en plastique ne sont pas des emballages en plastique. (Pachaly 2021)indique que le PP est utilisé pour les gobelets de ce système. Ce matériau est donc considéré comme la norme. Il est bien recyclable en principe et peut être bien recyclé selon l'état de la technique en Allemagne. Les valeurs indicatrices pour la "recyclabilité de principe" et la "recyclabilité pratique" des gobelets réutilisables Coffee to go sont de +2.

Le matériau des **gobelets jetables Coffee to Go** est généralement du carton revêtu. Les fibres de papier de ce matériau composite sont en principe recyclables. Cependant, comme le revêtement plastique rend le recyclage du papier plus difficile et que cette partie en plastique n'est pas recyclable, la valeur de l'indicateur de "recyclabilité de principe" des gobelets jetables Coffee-to-go est légèrement réduite à +1. La valeur de la "recyclabilité pratique" de ces gobelets est également fixée à +1. Bien que le recyclage du papier soit largement établi en Allemagne, de nombreux gobelets jetables Coffee to go finissent dans les déchets résiduels, où ils ne sont recyclés que sous forme d'énergie.

### 6.1.6 Taux de recyclage

Le taux de recyclage est une catégorie qui considère la fin de vie des produits. Il indique le pourcentage de matériaux recyclés à la fin de la durée d'utilisation du produit par l'un des procédés de recyclage - mécanique ou chimique (cf. Figure 19, chapitre 6.1.5) - reste dans le cycle des matériaux. Pour la transposition sur une échelle ordinale à cinq niveaux, la situation actuelle du recyclage des emballages en Allemagne, telle qu'elle est décrite dans l'étude "Aufkommen und Verwertung von

Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2019" de l'Office fédéral de l'environnement, est utilisée pour le classement. (Burger et al. 2021). Les données utilisées sont basées sur la loi allemande sur les emballages, décrite au chapitre 7 de l'étude susmentionnée. Le taux de recyclage en masse des plastiques en Allemagne est de 51,5 % selon (UBA 2021, tableau 84). Ce taux de recyclage plus ou moins 20 % de la valeur, c'est-à-dire la plage de 41 à 62 %, est considéré comme 0 (neutre) sur l'échelle. Jusqu'à la moitié de la valeur (26 %), le niveau est de -1 (plutôt mauvais), et jusqu'au taux de recyclage du "papier, carton" (88 %), le niveau est de +1 (plutôt élevé). En dessous et au-dessus, les niveaux -2 (mauvais) et +2 (bon) suivent (Tableau 6).

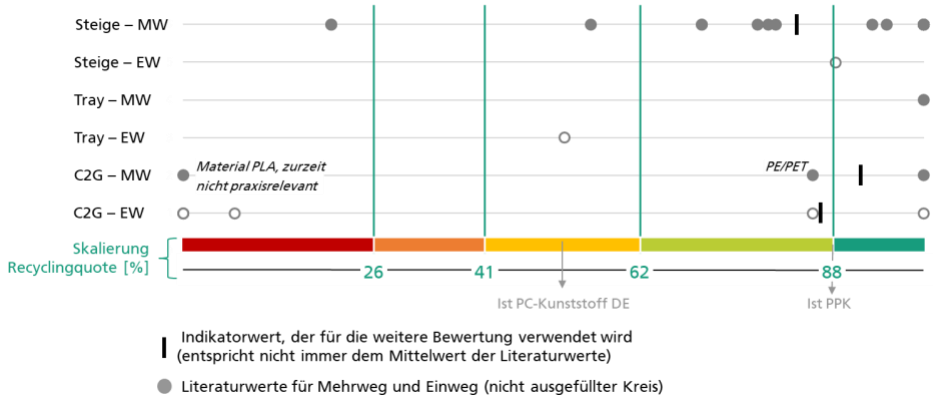
Tableau 6: Indicateur et évaluation du taux de recyclage des produits du démonstrateur

| Indicateur | -2 (mauvais) | -1 (plutôt mauvais) | 0 (neutre) | +1 (plutôt bon) | +2 (bon) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Taux de recyclage** | < 26 % | 26 à < 41 % | 41 à < 62 % | 62 à < 88 % | ≥ 88 % |

### Détermination des valeurs pour les systèmes étudiés

Le graphique suivant montre les résultats pour les systèmes réutilisables (RR) étudiés et les alternatives à usage unique (UU) correspondantes. Des indications sur la détermination des valeurs sont données dans le texte sous le graphique. Les tableaux présentant les données utilisées se trouvent au chapitre 9.4.6.

Illustration 21: Taux de recyclage des systèmes à usage unique et des systèmes réutilisables en comparaison




Les données relatives aux taux de recyclage pour la fabrication de **cagettes multi-usages** pour fruits et légumes, issues de la littérature et des interviews, présentent une grande diversité. Contrairement à l'utilisation de matières recyclées, les données se situent globalement dans le haut de la fourchette, un taux de recyclage de 100% étant indiqué sept fois au total. La valeur la plus basse indiquée dans la littérature, mais dans une source vieille de 20 ans, est de 20 %. (ADEME 2000). En moyenne, on obtient un taux de recyclage d'environ 80% dans les passerelles multifonctionnelles. Leur valeur indicative pour le "taux de recyclage" est donc de +1.


© CCPE Fraunhofer

Le taux de recyclage du **système de comparaison des cartons de transport à usage unique** est la valeur pour le recyclage des matériaux d'emballages "papier, carton, carton" de (UBA 2021, tableau 84). Elle est de 89%. Il en résulte une valeur indicative pour le "taux de recyclage" du carton de transport à usage unique de +2.

Il n'existe pas de données dans la littérature concernant le taux de recyclage des **plateaux à plantes réutilisables**, qui sont généralement également fabriqués en polypropylène (PP) ou en polyéthylène haute densité (PEHD). L'évaluation se fonde donc sur les informations fournies par les experts lors de l'entretien avec un fabricant. (Breukers 2021)a été utilisée. Il en ressort que le taux de recyclage des plateaux à plantes réutilisables qui ne sont plus utilisables est de 100 %. La valeur de l'indicateur "taux de recyclage" est donc de +2.

On ne trouve que peu d'informations sur le taux de recyclage des **plateaux à plantes jetables**. Le fabricant Normpack indique un taux en boucle fermée de 50 %. (Normpack 2022). En supposant qu'en Allemagne, les produits usagés sont envoyés au recyclage des emballages légers via les systèmes duaux, on peut prendre comme taux de recyclage la valeur de 51,5 % pour la valorisation matière des plastiques (UBA 2021, tableau 84). Il en résulte, à travers les deux hypothèses, une valeur indicative "taux de recyclage" pour les barquettes de plantes à usage unique de 0.

Une seule référence bibliographique donne des informations sur le taux de recyclage des **gobelets réutilisables pour le coffee-to-go.** (Cottafava et al. 2021). Pour les matériaux PE et PET, 85% sont mentionnés. Pour le PLA, on suppose que les gobelets usagés sont compostés, soit un taux de recyclage de 0 %. Selon l'interview des experts, le taux de recyclage est de 100 %. Comme l'indication pour le PLA tirée de la littérature se réfère à un cas (pas encore) pertinent pour la pratique, elle n'est pas prise en compte dans le calcul de la moyenne. En moyenne, on constate donc un taux de recyclage de 92,5 pour cent pour les gobelets réutilisables Coffee-to-go. Leur valeur indicatrice "taux de recyclage" est donc de +2.

Le matériau des **gobelets jetables pour le café** est généralement du carton couché. Le taux de recyclage de ces gobelets jetables pourrait, en première approximation, correspondre à la valeur de recyclage du "papier, carton" (PPK) de 88 % selon (UBA 2021, tableau 84). Cependant, il faut tenir compte du fait que les gobelets Coffee-to-go sont probablement beaucoup moins nombreux que les autres emballages PPK à être déposés dans la collecte de vieux papier, mais plutôt dans les poubelles de déchets résiduels. C'est pourquoi la valeur de l'indicateur "taux de recyclage" pour les gobelets jetables C2G est dévaluée d'un cran et passe à +1.

### 6.1.7 Part de matières recyclées

La part de matières recyclées se mesure à la part de matières recyclées en masse utilisée pour la fabrication des produits de démonstration considérés. Pour la transposition sur une échelle ordinale à cinq niveaux, on se réfère pour le classement à un système de recyclage en boucle fermée actuellement considéré

comme particulièrement bon[19] , celui des bouteilles en PET à usage unique. Dans l'étude "Aufkommen und Verwertung von PET-Getränkeflaschen in Deutschland 2019" de la société Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH, la part en masse du PET recyclé dans la production allemande de bouteilles est de 34,4 pour cent. (élèves 2020). Cette part de matières recyclées plus ou moins 20 pour cent de la valeur, c'est-à-dire la plage de 28 à 41 pour cent, est considérée comme 0 (neutre) sur l'échelle. Jusqu'à la moitié de la valeur (17 pour cent), le niveau est classé -1 (plutôt mauvais), jusqu'au double (69 pour cent), le niveau est classé +1 (plutôt bon). En dessous et au-dessus, on trouve les niveaux -2 (mauvais) et +2 (bon) (Tableau 7).

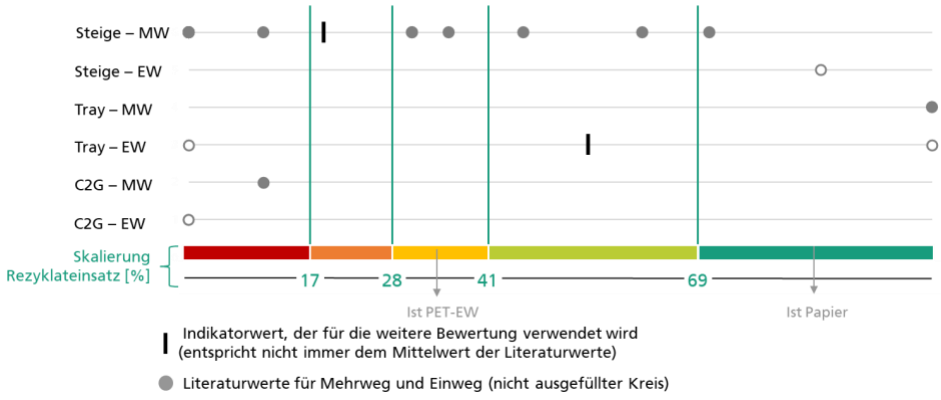
Tableau 7: Indicateur et évaluation de la part de matières recyclées dans les produits de démonstration

| Indicateur | -2 (mauvais) | -1 (plutôt mauvais) | 0 (neutre) | +1 (plutôt bon) | +2 (bon) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Part de matières recyclées** | < 17 % | 17 à < 28 % | 20 à < 41 % | 41 à < 69 | ≥ 69% |

### Détermination des valeurs pour les systèmes étudiés

Le graphique suivant montre les résultats pour les systèmes réutilisables (RR) étudiés et les alternatives à usage unique (UU) correspondantes. Des indications sur la détermination des valeurs sont données dans le texte sous le graphique. Les tableaux présentant les données utilisées se trouvent au chapitre 9.4.7.

Illustration 22: Comparaison du taux de recyclat des systèmes à usage unique et des systèmes réutilisables




Tous les ouvrages consultés ainsi que les personnes interviewées ont indiqué que les **cagettes multidirectionnelles** pour fruits et légumes sont généralement fabriquées en polypropylène (PP).
ou de polyéthylène haute densité (PEHD). Les données relatives à leur teneur en matière recyclée présentent une grande diversité dans la littérature et les données d'interview. La littérature et les interviews font état d'un taux d'utilisation de

19 Dans le sens d'une fermeture du cycle du matériau pour la même application avec la même qualité

matériaux recyclés pouvant atteindre 70 %, mais il est également souvent décrit que seuls des matériaux neufs sont utilisés. Ce dernier point, l'absence de tout matériau recyclé, est généralement justifié par l'autorisation nécessaire des produits pour le contact avec les denrées alimentaires. En moyenne, en raison de la forte pondération de l'utilisation zéro de matière recyclée, mentionnée huit fois au total, la part de matière recyclée dans les caisses multifonctions est d'environ 19%. La valeur de l'indicateur de la "part de recyclat" des caisses multi-usages est donc de -1.

Selon le jeu de données "corrugated board, mixed fibre, double wall, at plant" de la base de données ACV Ecoinvent, le taux de recyclat du **système de comparaison à usage unique du carton de transport** est de 83%. La valeur de l'indicateur pour le contenu recyclé du carton de transport à usage unique est donc de +2.

Pour la part de recyclat des **plateaux à plantes réutilisables**, qui sont généralement également fabriqués en polypropylène (PP) ou en polyéthylène haute densité (PEHD), la littérature indique aussi bien une valeur de 100 pour cent qu'une valeur de 0 pour cent, mais en considérant le cycle de vie de manière purement théorique. (van Paassen et Scholten 2020). L'évaluation se base donc sur les données de l'entretien d'experts mené avec un fabricant. (Breukers 2021)est utilisée. Il en ressort que 100 % de matières recyclées sont utilisées pour la fabrication de plateaux à plantes réutilisables. Cette utilisation très importante de matières recyclées est favorisée par le fait que ces produits ne nécessitent pas d'autorisation pour le contact avec les denrées alimentaires. La valeur de l'indicateur "contenu recyclé" des plateaux à plantes réutilisables est donc de +2.

La part de recyclat pour les **plateaux de plantes à usage unique** est indiquée dans la littérature comme étant de 0%. Cependant, cette valeur doit également être considérée comme une hypothèse de calcul de l'ACV. Dans la pratique, on trouve aujourd'hui chez certains fabricants des plateaux de plantes à usage unique qui sont déjà composés à 90 ou 100 pour cent de recyclat post-consommation. (Pöppelmann 2021 ; Normpack 2022). Aucune information n'est publiée sur la part des produits en PCR sur le marché global. Il n'est donc pas possible d'obtenir une indication de l'utilisation moyenne de matières recyclées pour les plateaux à plantes jetables à partir de données généralement accessibles. La valeur de l'indicateur pour la "part de recyclat" des plateaux à plantes jetables est donc considérée comme neutre (0).

La littérature ne donne pas d'indications sur la proportion de matières recyclées dans les **gobelets réutilisables Coffee to go**. L'évaluation se base donc sur les données de l'entretien avec les experts, à savoir moins de 10 % d'utilisation de matières recyclées. La valeur de l'indicateur pour la "part de matière recyclée" des gobelets réutilisables Coffee to go est donc de -2.

Le matériau des **gobelets jetables Coffee to go** est généralement du carton couché. Les fibres de papier de ce matériau composite sont généralement fabriquées exclusivement à partir de pâte vierge en raison de la résistance requise et du contact avec les aliments. La deuxième raison est également à l'origine de l'utilisation de matière vierge pour les revêtements synthétiques. La valeur

indicatrice du "contenu recyclé" des gobelets jetables Coffee to Go est donc également de -2.

### 6.1.8 Émissions de matières plastiques

Les émissions de plastique sous forme de déchets sauvages et de microplastiques font l'objet de débats intensifs et d'études scientifiques depuis quelques années. Même si les effets des émissions de plastique sont encore incertains, il existe un consensus social sur le fait qu'elles doivent être réduites dans la mesure du possible, conformément au principe de précaution. On peut se demander pourquoi les émissions se concentrent jusqu'à présent presque exclusivement sur les plastiques et n'incluent pas les verres, les métaux et les substances naturelles modifiées comme le bois imprégné ou le papier. En outre, les substances naturelles non modifiées peuvent également être évaluées en tant qu'émissions si elles parviennent dans un compartiment environnemental dans lequel elles n'étaient pas présentes à l'origine, ou pas dans une telle mesure. Il faudra voir dans quelle mesure le débat s'étendra à l'avenir à d'autres groupes de matériaux. La présente étude ne traite toutefois que des émissions de matières plastiques, afin d'être en phase avec le débat actuel.

Les aspects quantitatifs des pertes de matières, par exemple en raison de leur utilisation par des tiers ou de leur élimination en tant que déchets résiduels, ont déjà été abordés dans la section 6.1.3 ont été abordés. Outre ces pertes "réglementaires" de matériaux provenant des systèmes réutilisables, il convient d'ajouter celles qui se retrouvent dans l'environnement sous forme d'émissions de plastique. Celles-ci devraient toutefois représenter une part nettement plus faible. En outre, il est évident que les émissions maximales de plastique possibles dans les systèmes réutilisables sont nettement inférieures à celles des systèmes à usage unique, car les pertes de matériaux sont déjà nettement plus faibles. Les causes des émissions de plastique sont le littering (le fait de se débarrasser de ses déchets de manière illégale, intentionnellement ou par négligence[20] ), l'abrasion ou la fragmentation.

Pour le littering, il n'existe pas d'enquêtes empiriques par groupes de produits spécifiques. Les produits hors domicile, les produits utilisés dans des applications ouvertes à l'environnement et les produits non consignés ont tendance à être plus souvent victimes du littering. Le fait que de petits éléments d'emballage (couvercles ou autres petites pièces de fermeture, etc.) puissent être perdus, par exemple lors de l'ouverture de l'emballage, en fait également partie. Le littering a lieu aussi bien dans le cadre d'une utilisation privée que professionnelle. Il est par nature difficile de quantifier les déchets qui ne sont pas collectés correctement. Bertling et al. (2021) Les chiffres indiquent des valeurs typiques de 0,03 à 1,02 pour cent et les valeurs les plus probables sont de 0,105 pour cent, par rapport à la consommation de plastique. Il n'existe guère de valeurs spécifiques pour les emballages ou même par type d'emballage. Cependant, dans le cadre des

[20] Il arrive parfois que le littering soit séparé de l'élimination illégale des déchets et classé comme abandon irréfléchi de déchets. Mais comme le littering constitue déjà une infraction passible d'une amende, nous ne voyons pas la nécessité de faire une distinction.

opérations de nettoyage, des listes des 10 principaux objets abandonnés sont souvent publiées.

L'abrasion et la fragmentation se produisent aussi bien pendant le transport que pendant l'utilisation. Jusqu'à présent, il n'existe pas de données empiriques sur l'abrasion et la fragmentation des emballages jetables et réutilisables. Le Fraunhofer UMSICHT a déterminé des taux d'usure de 0,012 pour cent par an dans le cadre d'une étude sur l'usure des équipements d'aires de jeux en plastique, qui sont également soumis à une forte charge mécanique.[21] L'abrasion et la fragmentation sont favorisées par une fragilisation du matériau. Celle-ci se produit surtout dans les applications extérieures en raison de l'exposition à la lumière et des changements fréquents de température (altération).

Les pertes dans l'environnement ne posent guère de problème si l'on peut s'attendre à une dégradation rapide. C'est généralement le cas pour les polymères naturels comme le papier et le bois, mais pas pour les plastiques. Cela vaut également pour les bioplastiques tels que le polylactide, qui peuvent certes être compostés dans une installation industrielle à des températures et des temps de séjour suffisamment élevés, mais qui n'atteignent généralement pas des taux de dégradation suffisants dans l'environnement. De même, les matériaux composites à base de papier et de plastique devraient plutôt être classés comme non dégradables tant que les preuves correspondantes n'ont pas été apportées pour les compartiments environnementaux concernés (sols, eau douce, mers, sédiments).

**Critère d'évaluation/indicateur**

L'évaluation de la catégorie des émissions de plastiques se fait de manière qualitative. Dans un premier temps, la prévention des déchets sauvages et la prévention de l'abrasion et de la fragmentation sont utilisées comme indicateurs et évaluées séparément.

Le littering est évité si le système d'emballage est consigné, s'il ne comporte pas d'éléments d'emballage détachables pour l'ouverture et si l'emballage n'est pas utilisé pour une application "à emporter". L'abrasion et la fragmentation peuvent être réduites par une faible ouverture environnementale (utilisation permanente en extérieur), l'absence de fragilisation et une faible contrainte mécanique. Les matériaux dégradables ont également un effet positif. La classification concrète des valeurs indicatrices peut être consultée Tableau 8 peut être consultée. Les valeurs indicatrices ont tendance à être bonnes lorsque les émissions de matières plastiques sont évitées.

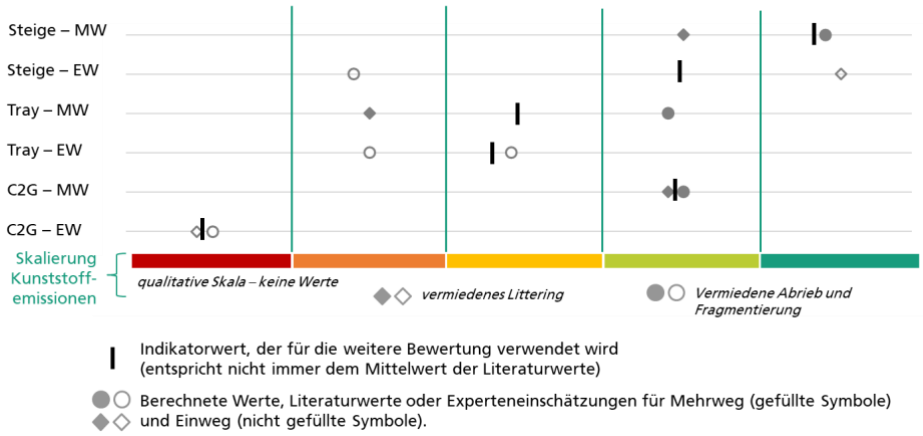
21 Rapport interne, non publié.

Tableau 8 :Indicateur et évaluation pour éviter l'abrasion et le littering

| Indicateur | -2 (mauvais) | 1 (plutôt mauvais) | 0 (neutre) | +1 (plutôt bon) | +2 (bon) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Prévention des déchets sauvages** | Pas de consigne à payer, Application à emporter, éléments d'emballage séparés | Pas de consigne, utilisation à emporter | Pas de consigne | Consigne, utilisation hors domicile/environnementale | Consigne, utilisation B2B |
| **Prévention de l'abrasion et de la fragmentation** | Matériaux écologiques, fragilisation probable, charge mécanique élevée | (en partie) éco-matériaux, avec charge mécanique | (partiellement) ouvert à l'environnement | Peu d'application écologique, mais une charge mécanique élevée | Pas d'application écologique, faible charge mécanique |

Le graphique suivant montre les résultats pour les systèmes réutilisables étudiés et les alternatives correspondantes à usage unique. Une valeur moyenne (traits verticaux) a été calculée à partir des deux critères individuels et utilisée pour la suite de l'évaluation. Les justifications détaillées des évaluations sont données dans le texte sous le graphique.

Figure 23 Réduire les émissions de plastique en évitant les déchets sauvages, l'abrasion et la fragmentation.




**Les caisses multi-usages** sont consignées ou louées et ne sont utilisées qu'à très court terme, par exemple pour le remplissage hors domicile. Comme il s'agit d'une application purement B2B, il est peu probable qu'ils soient utilisés par des tiers. La valeur de l'indicateur pour le littering évité est donc fixée à +2. La charge mécanique des cagettes devrait être plutôt élevée, mais elle ne se produit généralement pas ou seulement occasionnellement de manière ouverte à l'environnement. La libération de microplastiques par abrasion peut donc être assez bien évitée (valeur indicatrice +1). Comme les auteurs estiment qu'il faut accorder plus d'importance au littering, la valeur de l'indicateur a été fixée à +2.

Le **cageot** en carton **à usage unique n'est** pas consigné et est occasionnellement utilisé par des consommateurs finaux comme emballage de transport par des tiers (valeur indicatrice -1). Comme l'emballage est en carton, il peut être considéré comme très facilement dégradable (valeur indicatrice +2). On peut toutefois supposer que des rubans adhésifs ou des étiquettes en plastique sont utilisés pour de nombreuses caisses perdues. Ici aussi, une plus grande importance a été accordée au littering et la valeur de l'indicateur a été fixée à +1.

**Les plateaux réutilisables** sont consignés, ce qui rend le littering plutôt improbable. Pour les barquettes, une utilisation occasionnelle en dehors de la maison est probable. Dans ce cas, les plateaux endommagés pourraient faire l'objet de littering (valeur indicatrice +1). La charge mécanique des plateaux de plantes peut être évaluée comme particulièrement élevée en raison du poids assez important des plantes, la fragilisation est favorisée par l'humidité et les rayons UV lors d'une utilisation en extérieur (valeur indicatrice -1). La valeur de l'indicateur utilisée par la suite a été fixée à 0.

Les **plateaux à usage unique**, tout comme les plateaux réutilisables, sont soumis à des contraintes mécaniques élevées ; en raison de l'absence de consignation, une utilisation ou un stockage non polluant pendant une longue période est possible et des pertes plutôt probables (valeur d'indicateur 0). La fragilisation est également favorisée par les éventuelles utilisations non polluantes (valeur d'indicateur -1). La valeur de l'indicateur utilisée par la suite a été fixée à 0.

**Les gobelets réutilisables** sont consignés, mais sont utilisés en dehors de la maison, de sorte que le littering ne peut pas être totalement exclu, en particulier tant que les gobelets réutilisables ne sont pas reconnus comme tels par tout le monde (valeur indicatrice +1), la fragilisation et l'abrasion ne devraient pas jouer de rôle, une fragmentation occasionnelle due à la casse est probable dans le cas d'une utilisation à emporter (valeur indicatrice +1).

En tant qu'emballage à emporter, les **gobelets jetables** non consignés sont des objets typiques du "top litter", qui sont collectés en grande quantité lors des nettoyages. De même, le fait que les gobelets soient généralement sales rend leur collecte plutôt improbable (valeur indicatrice -2). Comme les gobelets sont généralement en plastique ou recouverts de plastique, ils sont jugés non dégradables mais facilement fragmentables (valeur indicatrice- 2).

## 6.2 Catégories de performance

Les emballages réutilisables sont souvent discutés principalement en termes d'avantages écologiques par rapport aux solutions à usage unique. Pourtant, une évaluation complète devrait également prendre en compte la performance des solutions d'emballage du point de vue des personnes ou des entreprises qui les utilisent.

Les différences essentielles résultent de la durée d'utilisation plus longue d'un emballage réutilisable ainsi que de son recyclage. Il en résulte à la fois des restrictions et des potentiels. Il convient notamment de souligner que le monde

actuel des produits est surtout adapté à la flexibilité et à la diversité des emballages jetables. Si les concepteurs de produits adaptaient davantage leur développement de produits aux systèmes réutilisables existants ou à développer, il serait possible de réaliser des gains supplémentaires en termes de performance.

Dans le cadre de l'utilisation industrielle d'emballages à usage unique ou réutilisables, une multitude de processus ont lieu : le remplissage de l'emballage chez le producteur du produit de remplissage, les processus de transport pour les pleins et les vides, le cas échéant le conditionnement dans des mûrisseries, les processus de stockage et de vente dans le commerce de gros et de détail et, spécialement pour les emballages réutilisables, leur lavage et leur hygiénisation ainsi que, le cas échéant, leur stockage chez un exploitant de pool. Tous ces processus doivent être réalisés de la manière la plus optimale possible en termes de coûts et d'impact social et écologique. La mesure dans laquelle une optimisation correspondante est possible dépend également du système d'emballage lui-même.

### 6.2.1 Besoin en surface et modularité

Pour les producteurs et les restaurateurs, il est pertinent de savoir combien de surface de stockage/tampon ils doivent conserver pour des conteneurs vides propres. Cela est déterminé d'une part par la livraison en fonction des besoins (just in time) de récipients réutilisables ou l'achat de récipients à usage unique, et d'autre part par leur besoin et leurs exigences en matière d'espace. L'espace requis par les conteneurs vides peut être réduit de manière significative grâce à leur pliabilité (capacité à être pliés) ou à leur emboîtement (c'est-à-dire la possibilité de les empiler les uns dans les autres grâce à une forme conique).

Plus un emballage de transport est standardisé (et donc moins il est personnalisé) en ce qui concerne la chaîne logistique, c'est-à-dire qu'il est compatible avec des supports de charge tels que l'euro-palette ou le conteneur CC, qu'il peut être emboîté/empilé ou plié/replié pour les conteneurs vides ou pleins, qu'il est possible d'identifier les différents conteneurs, etc. plus les prestataires de services logistiques peuvent concevoir leurs processus partiellement automatisés. Il en va de même pour les centres de lavage et d'hygiène, le tri et la gestion des stocks entre les clients au sein d'un pool réutilisable et, en partie, pour le remplissage avec des marchandises à transporter.

Un emballage de transport standardisé soutient en outre les processus dans le commerce, entre autres lors de la préparation des commandes pour le dernier échelon commercial, en réduisant les opérations de réemballage ou lors du placement dans le commerce de détail sur des tables, dans des rayons ou des présentoirs séparés ("shelf ready packaging").

Pendant le développement du produit des conteneurs de transport (par ex. cagettes pour fruits et légumes, bacs à plantes), il faut en outre tenir compte des exigences parfois spécifiques des marchandises à emballer pour des processus optimisés. Il s'agit par exemple du processus de maturation des fruits et légumes et de la circulation de l'air pendant le transport et dans les chambres de maturation, qui doit être assurée par une conception intelligente du produit (fentes/découpes

dans les parois/arêtes extérieures, distance entre les bacs empilés). En outre, la taille du produit influence les dimensions des conteneurs de transport, qui peuvent être ajustées par exemple par des hauteurs différentes pour une même surface de base (cagettes) ou par une fixation intelligente et robuste de différents pots de plantes. Dans le cas des gobelets Coffee-to-go, le transport de la chaleur à travers la paroi du gobelet et la fermeture étanche à l'aide d'un couvercle, éventuellement acheté séparément, sur le lieu de remplissage sont très importants.

**Indicateur d'évaluation de la modularité**

La compatibilité des emballages de transport avec des supports de charge tels que l'euro-palette ou le CC-conteneur est représentée par leur modularité. La dimension de base, appelée module de surface, d'une euro-palette est de 600 mm x 400 mm. Les multimodules ou sous-dimensions qui en découlent sont représentés dans le tableau ci-dessous. Tableau 9 représentés sur (Behrens et al. 2018).

Tableau 9: Modularité des euro-palettes (Behrens et al. 2018) S. 256

| | |
|---|---|
| **Module de surface [mm]** | 600 x 400 |
| **Multimodules [mm]** | 1200 x 800, 800 x 600 |
| **Dimensions inférieures [mm]** | 400 x 300, 300 x 200, 400 x 200, 400 x 150, 300 x 100 |

Dans la mesure où une grande modularité de l'emballage de transport concerné s'est établie sur le marché, son empilement sur le support de charge correspondant est également amélioré. En effet, plus les unités modulaires sont positionnées de manière homogène les unes sur les autres, plus la manipulation et le transport ultérieurs sont stables et finalement sûrs, et plus le taux de rupture de l'emballage de transport est faible (voir également les explications relatives à la protection des produits dans la section 6.2.3). (Lange et al. 2013)

Afin de pouvoir évaluer qualitativement la modularité des emballages de transport considérés, l'échelle suivante (Tableau 10) est utilisée.

Tableau 10: Évaluation de la modularité pour l'optimisation des processus métier

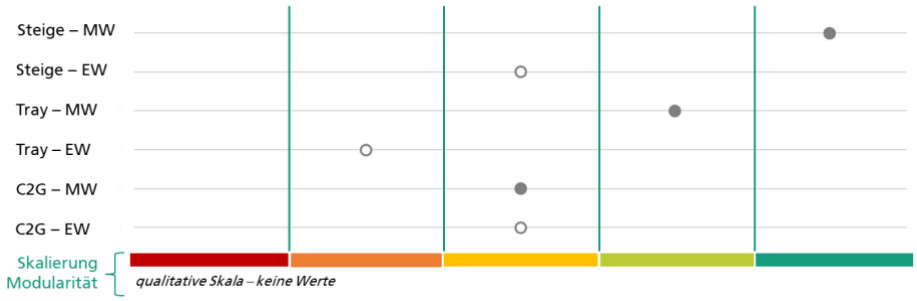
| Indicateur | -2 (mauvais) | -1 (plutôt mauvais) | 0 (neutre) | +1 (plutôt bon) | +2 (bon) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Modularité** | principalement des dimensions individuelles | dimensions peu uniformes | Modularité non pertinente ou pertinence reconnue, mais non disponible | Modules standard introduits, optimisation des processus commerciaux | Modules standard reconnus largement répandus, TV basée sur ces modules en |

| Indicateur | -2 (mauvais) | -1 (plutôt mauvais) | 0 (neutre) | +1 (plutôt bon) | +2 (bon) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | possible sur cette base | cours d'utilisation |

**Détermination des valeurs pour les systèmes étudiés**

Le graphique suivant montre les résultats pour les systèmes réutilisables (RR) étudiés et les alternatives à usage unique (UU) correspondantes. Des indications sur la détermination des valeurs sont données dans le texte sous le graphique. Les tableaux présentant les données utilisées se trouvent au chapitre 9.4.8.

Figure 24: Modularité comparée des systèmes à usage unique et des systèmes réutilisables




Les caisses de fruits et légumes : Les fruits et légumes en conteneurs de transport EW et MW sont transportés au premier niveau de distribution (producteur vers entrepôt central commercial) principalement sur des palettes Euro (1200 mm x 800 mm), dans une moindre mesure sur des palettes industrielles (1200 mm x 1000 mm), par exemple pour le fret maritime. Au deuxième niveau de distribution vers le point de vente, les conteneurs de transport sont encore empilés sur des euro-palettes ou des demi-palettes, des conteneurs roulants ou des chariots (Dolly) (815 mm x 670 mm).

Alors que dans le secteur automobile, il existe une norme sectorielle pour les petits supports de charge (KLT) (Association de l'industrie automobile allemande (VDA) 2018) il n'existe actuellement aucun standard ou norme pour les cageots de fruits et légumes qui fixerait des dimensions de surface (Lammers 2021). Les dimensions de surface actuelles des solutions MW ont plutôt été développées par le marché lui-même. (Kellerer 2021). Chez les principaux acteurs IFCO, EPS et WBG Pooling, les dimensions de surface des cagettes sont généralement de 600 mm x 400 mm ou 400 mm x 300 mm (voir aussi Tableau 19), qui sont des sous-modules de la taille des euro-palettes. Dans l'ensemble, la valeur de l'indicateur pour les plateaux multidirectionnels peut être évaluée comme "bonne" (+2).

Sur le marché des caisses de transport à usage unique, des dimensions de surface uniformes se sont également développées au fil du temps. Il s'agit par exemple de la mesure de surface de 600 mm x 400 mm mentionnée précédemment, qui est utilisée dans diverses études sur l'impact environnemental (cf. (Albrecht et al. 2013

; Del Borghi et al. 2020 ; Franklin Associates 2016)) ou la dimension de surface de 400 mm x 500 mm de la caisse à bananes, qui s'oriente vers la palette industrielle. Cependant, il existe également de nombreuses solutions individuelles qui présentent des dimensions de surface différentes. (Franklin Associates 2016). Malheureusement, les auteurs de l'étude ne disposent pas de données statistiques sur les dimensions des solutions à usage unique. C'est pourquoi la valeur de l'indicateur "neutre" est utilisée pour la modularité des caisses perdues.

Dans la chaîne de livraison de plantes avec **des plateaux de plantes réutilisables**, des CC-conteneurs sont utilisés en plus de l'euro-palette. Alors que le commerce de détail alimentaire favorise plutôt les palettes, les jardineries et les magasins de bricolage préfèrent les CC-conteneurs pour la distribution de plantes. Un plateau CC a des dimensions de surface de 1270 mm x 545 mm (intérieur). (Container Centralen GmbH 2018)ce qui entraînera des modules de surface différents pour une future solution MW par rapport à la palette Euro (1200 mm x 800 mm). Du point de vue d'une mesure de surface uniforme, il est désavantageux de maintenir les voies de distribution parallèles pour les plateaux de plantes au moyen de palettes et de conteneurs CC.

Une modularité comparable à celle de la palette Euro pour les planches de conteneur CC n'a pu être identifiée au cours de la recherche que pour la solution MW "Palettino". (Breukers 2021)Ici, les dimensions de surface sont de 390 x 275 mm (euro-palette) et de 530 mm x 300 à 315 mm (planche CC, dite dimension danoise). (HAWITA Technoplant 2021).

Dans le cadre du projet "Flowertray", une solution européenne réutilisable pour un bac à plantes doit être élaborée. (Weschnowsky 2021). La décision de savoir si le module de surface d'un futur bac à plantes standardisé s'orientera sur l'euro-palette ou sur la planche de conteneur CC semble avoir été prise en faveur du conteneur CC dans le projet "Flowertray". (Oldenbourg 2021). C'est pourquoi la modularité a été évaluée comme "plutôt bonne" (+1). Dans le segment des produits à usage unique, il existe selon BaumarktManager (2021) actuellement environ 55 tailles de barquettes différentes (dimensions de surface), c'est pourquoi la modularité a été évaluée comme "plutôt mauvaise" (-1).

Dans cette étude, la modularité est utilisée comme critère d'évaluation, en particulier pour les emballages de transport. Les gobelets Coffee-to-go étant des emballages de produits, leur standardisation peut être pertinente pour l'embouteilleur (par exemple en ce qui concerne la compatibilité avec le lave-vaisselle), mais pas pour la chaîne logistique. C'est pourquoi l'indicateur "Modularité" est fixé à 0 (non pertinent) pour les gobelets Coffee-to-go en version MW et EW.

### 6.2.2 Réductibilité du volume

La réduction des capacités à vide, que ce soit pendant le transport ou le stockage, permet une meilleure rentabilité ainsi qu'une réduction des besoins en énergie et des impacts environnementaux qui en découlent, comme les émissions de gaz à effet de serre. Même si ces derniers aspects sont discutés plus loin dans des

chapitres séparés, les auteurs ont décidé de développer cette catégorie séparément et d'évaluer de manière différenciée les possibilités de réduction de volume des solutions à usage unique comme des solutions réutilisables.

Une réduction de volume peut alors intervenir à différents moments du cycle d'utilisation :

(a) Pliage/repliage de l'emballage : en tant qu'emballage vide, l'emballage peut être plié ou replié et préparé pour le remplissage au moyen de manipulations simples dans le meilleur des cas (p. ex. monter). Dans ce cas, la réduction de volume se fait de manière non destructive.
(b) Empilement de l'emballage : en tant qu'emballage vide, il est possible d'empiler les emballages les uns dans les autres grâce à leur forme conique (p. ex. gobelets, pots, caisses rigides, plateaux à plantes). Dans ce cas, la réduction du volume se fait également de manière non destructive.
(c) Compressibilité pendant la phase d'élimination : lorsque les emballages vidés de leur contenu doivent être éliminés/recyclés, leur matériau peut être compressé par des compacteurs de déchets. Dans ce cas, la réduction de volume n'est pas non destructive. Une autre alternative est la possibilité de plier/replier les caisses déconditionnées.

**Indicateur d'évaluation Facteur de réduction du volume**

Le facteur de réduction du volume, qui représente le rapport entre le volume de l'emballage plein (ouvert, non emboîté, non compressé) et le volume de l'emballage vide compressé, est utilisé comme critère d'évaluation (Tableau 11).

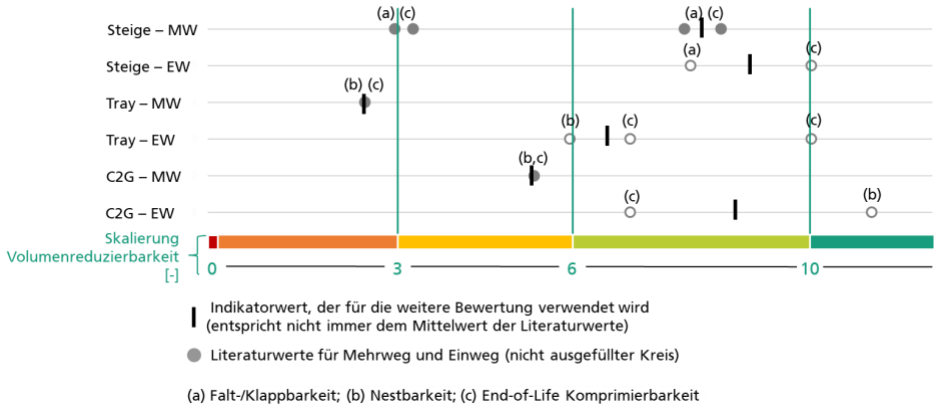
Tableau 11: Évaluation de la possibilité de réduire le volume pour optimiser les processus commerciaux

| Indicateur | -2 (mauvais) | -1 (plutôt mauvais) | 0 (neutre) | +1 (plutôt bon) | +2 (bon) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Réductibilité du volume [-]** | 0 | < 3 | 3 à < 6 | 6 à < 10 | ≥ 10 |

**Détermination des valeurs pour les systèmes étudiés**

Le graphique suivant montre les résultats pour les systèmes réutilisables (RR) étudiés et les alternatives à usage unique (UU) correspondantes. Des indications sur la détermination des valeurs sont données dans le texte sous le graphique. Les tableaux présentant les données utilisées se trouvent au chapitre 9.4.9.

Figure 25: Comparaison de la capacité de réduction du volume des systèmes à usage unique et des systèmes réutilisables




Pour les **cagettes de fruits et légumes**, la pliabilité est une catégorie de performance pertinente. Les cartons de fruits sont par exemple livrés à plat, ce qui a été estimé à un facteur 8 pour les caisses de bananes. Ce n'est que chez le producteur ou dans les stations d'emballage qu'elles sont dépliées et collées juste avant d'être remplies. Après utilisation, elles peuvent être comprimées à l'aide de presses à déchets PPK pour atteindre un degré de réduction encore plus élevé. La valeur indicatrice attribuée est de +1.

Dans la variante réutilisable, il est généralement possible de rabattre les parties latérales. Des facteurs de réduction de volume d'environ 3 à 8 peuvent alors être obtenus. La fourchette résulte de la différence de hauteur des montants dépliés, avec toutefois la même hauteur à l'état replié. Pour la comparaison avec une caisse à bananes jetable, la valeur la plus élevée est choisie pour un plateau réutilisable haut et la valeur indicatrice +1 est ainsi attribuée.

**Les plateaux à plantes** peuvent être empilés les uns dans les autres lorsqu'ils sont vides. La capacité d'emboîtement varie en fonction de la conception des plateaux. Comme aucun chiffre détaillé n'est publié à ce sujet, le facteur de réduction du volume a été évalué : pour les plateaux EW, la hauteur d'empilage a été mesurée à l'aide de photos et un facteur de réduction du volume d'environ 6 a été déterminé. Des photos de plateaux MW empilés sur un conteneur CC ont également été évaluées. 80 plateaux empilés avaient une hauteur d'environ 1900 millimètres, soit 23,75 millimètres par plateau testé. Selon les informations disponibles sur Internet, les plateaux TEKU® ont une hauteur de 62 mm, ce qui donne un facteur de réduction de volume d'environ 2,6 (62 mm / 23,75 mm = 2,6). (Pöppelmann 2021).

Après utilisation, les plateaux à plantes peuvent également être compactés, mais aucune donnée publiée n'a pu être recherchée à ce sujet. On a donc supposé que les plateaux EW étaient aussi bien compactés que les plateaux en carton. Comme il n'y a pas de presses à tous les niveaux du commerce, mais que les plateaux sont collectés en vrac, une fourchette de 4 à 10 a été utilisée. Comme les barquettes MW sont plus stables que la variante EW, on suppose que leur degré de réduction de volume est nettement plus faible. Celui-ci est assimilé de manière conservatrice à la capacité d'emboîtement et est également estimé à 2,6 pour la phase


© CCPE Fraunhofer

d'élimination. En résumé, la valeur indicatrice +1 est utilisée pour les plateaux de plantation à usage unique et la valeur indicatrice -1 pour les plateaux de plantation réutilisables.

Le facteur de réduction du volume des **gobelets Coffee to go** a été mesuré à nouveau à l'aide de deux exemplaires. Le gobelet RECUP de 0,3 litre a une hauteur de 100 millimètres, chaque gobelet testé contribue pour 15 millimètres à une pile. Les gobelets sont généralement livrés par pile de 25 dans des cartons, de sorte que dans une pile de 25, chaque gobelet contribue en moyenne à 18,4 millimètres. Pour une hauteur de gobelet de 100 millimètres, le facteur de réduction du volume est donc de 5,4. Dans le cas d'un gobelet jetable, on suppose que la marge est moins importante (hypothèse : 5 millimètres par gobelet testé). Pour une hauteur de gobelet identique de 100 millimètres, on obtient une hauteur moyenne de gobelet testé (pile de 25 gobelets) de 8,8 millimètres, ce qui conduit à un facteur de réduction de volume de 11,4.

Lors de la phase d'élimination, le même facteur de réduction de volume de 5,4 est à nouveau supposé pour le gobelet réutilisable, car sur le lieu de remplissage, les gobelets mis au rebut sont renvoyés empilés les uns dans les autres. Les gobelets EW finissent au mieux dans les ordures ménagères ou dans les corbeilles à papier publiques, où ils sont généralement collectés en vrac et comprimés manuellement. Dans le camion de collecte, ils peuvent ensuite être à nouveau compactés en tant que déchets mélangés. Un facteur de réduction de volume d'environ 4 est utilisé ici pour la comparaison.

Ainsi, des valeurs moyennes d'indicateurs de 0 (réutilisable) et +1 (jetable) sont attribuées aux gobelets Coffee to go.

### 6.2.3 Protection des produits

L'une des principales fonctions des emballages est de protéger le produit qu'ils contiennent. Pour ce faire, les emballages doivent être conçus de manière robuste afin de résister aux contraintes de la manipulation, du stockage et du transport, tout en tenant compte des exigences spécifiques du produit grâce à une conception adaptée.

Pour certains emballages, comme les gobelets Coffee-to-go, il ne faut pas seulement tenir compte de la protection du produit, mais aussi de la sécurité des utilisateurs en ce qui concerne les brûlures.

**Critère d'évaluation Taux de rupture**

Le taux de rupture des emballages lors du transport et de la manutention est un bon critère d'évaluation de la protection du produit ou de la protection des personnes qui utilisent l'emballage. Il faut tenir compte du fait qu'un emballage endommagé n'est pas synonyme de perte de produit, cette dernière pouvant être moindre, voir plus loin dans le texte les explications relatives aux cagettes de fruits et légumes. En outre, il convient de souligner que, du point de vue de la protection du produit, seul le taux de casse pendant le transport des pleins est important.

et de- Handling est important. Les taux de rupture indiqués ici (Tableau 12) ne se rapportent donc pas aux processus des emballages vides dans le cadre, par exemple, de la distribution, du nettoyage et de la redistribution.

Tableau 12 Évaluation de la protection des produits à l'aide de l'indicateur "taux de rupture".

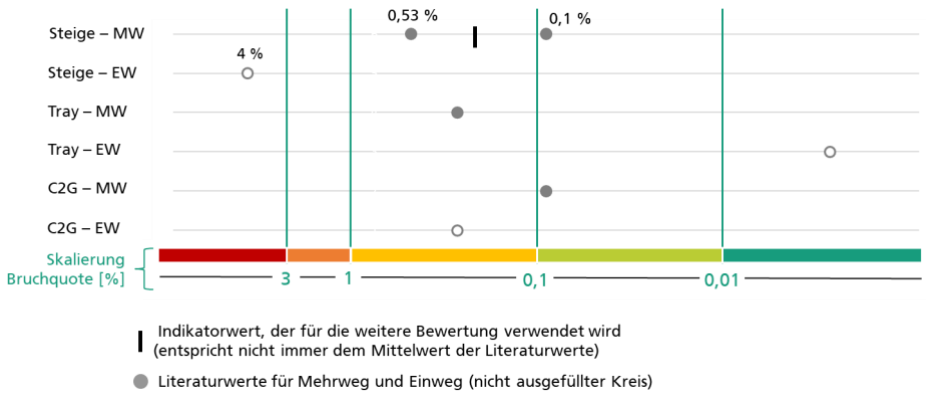
| Indicateur | -2 (mauvais) | -1 (plutôt mauvais) | 0 (neutre) | +1 (plutôt bon) | +2 (bon) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Taux de rupture** | > 3 % | 3 à > 1 % | 1 à > 0,1 % | de 0,1 à < 0,01 % | ≤ 0,01 % |

La classification dans le tableau se base sur des études sur les taux de rupture de (Lange et al. 2013) sur des cagettes (voir ci-dessous). Il n'y a pas de données disponibles pour les démonstrateurs du plateau à plantes et du gobelet Coffee-to-go, c'est pourquoi la présentation suivante est qualitative pour les trois démonstrateurs.

**Détermination des valeurs pour les systèmes étudiés**

Le graphique suivant montre les résultats pour les systèmes réutilisables (RR) étudiés et les alternatives à usage unique (UU) correspondantes. Des indications sur la détermination des valeurs sont données dans le texte sous le graphique. Les tableaux présentant les données utilisées se trouvent au chapitre 9.4.10.

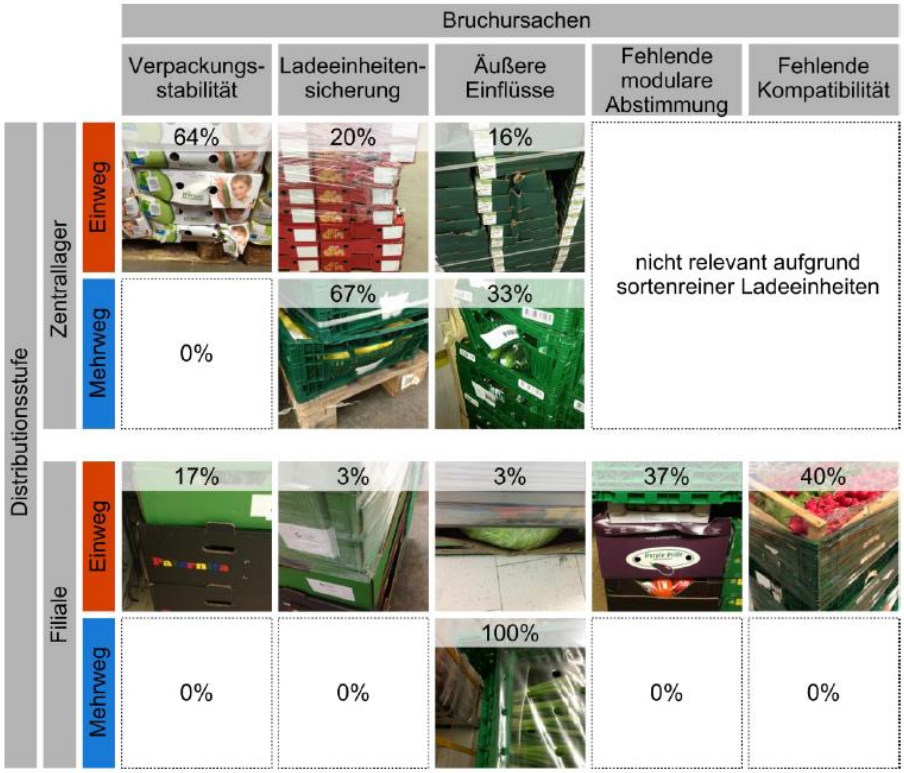
Figure 26: Taux de rupture des systèmes à usage unique et des systèmes réutilisables en comparaison




Pour les pâtes de fruits et légumes, la littérature mentionne cinq causes principales de dommages dus à l'emballage (Lange et al. 2013). La première est le manque de stabilité de l'emballage de transport. La résistance du carton est par exemple influencée négativement par la pénétration d'humidité pendant le transport et la manipulation. (Lange et al. 2013). De plus, la stabilité dépend de la hauteur d'empilement des caisses sur la palette. D'autre part, on évoque une sécurisation insuffisante de l'unité de chargement, qui doit généralement être assurée par un film rétractable/enroulé ou des bandes de cerclage sur la palette. Pendant la manutention, des influences extérieures supplémentaires peuvent endommager l'emballage et donc les produits, par exemple les chariots élévateurs lors du

chargement et du déchargement des palettes. (Lange et al. 2013). Enfin, le manque d'harmonisation modulaire des emballages ainsi que le manque de compatibilité sont cités comme causes de dommages, déjà évoqués dans la section 6.2.1 ont été abordées. Ci-dessous, les résultats de l'étude de Lange et al. (2013) qui ont permis d'estimer la part des différentes causes de rupture d'emballage à chaque étape de la distribution.

Illustration 27: Comparaison des causes de rupture de l'étude "Safefood (Lange et al. 2013)




Les chiffres concrets sur les taux de casse et les pertes de produits qui en résultent ne sont guère publiés. Sur le plan qualitatif, les taux de rupture des solutions réutilisables sont considérés comme inférieurs à ceux des solutions à usage unique. Il a par exemple été mentionné que les parois rigides des cagettes MW permettent un meilleur empilement et offrent une meilleure protection en cas de choc. (Lange et al. 2013)

Selon l'étude "Safefood" du Fraunhofer IML, le taux de rupture moyen des cagettes réutilisables (environ 0,1 %) n'est pas imputable à la solution d'emballage elle-même, mais à la sécurisation de l'unité de chargement (éventuellement mal choisie ou mal réalisée) ainsi qu'aux influences extérieures. En revanche, pour les caisses à usage unique, le matériau (combiné à la pénétration d'humidité) ainsi que la diversité et, en même temps, la faible harmonisation/compatibilité modulaire sont responsables d'une grande partie des événements de rupture. Les données ont été collectées séparément dans les étapes de distribution respectives de l'entrepôt central et du magasin. (Lange et al. 2013)

Une étude du Fraunhofer IBP sur les cagettes de fruits et légumes utilise un taux de casse plus élevé de 0,53 pour cent en moyenne par rotation, basé sur des collectes de données primaires auprès d'Euro Pool Systems et IFCO. (Krieg et al. 2018).

Chaque rupture d'une cagette de fruits ou de légumes ne s'accompagne pas d'une perte totale du produit, mais nécessite des étapes de manipulation supplémentaires telles que la dissolution de la palette d'origine, l'enlèvement de la cagette endommagée, le tri des marchandises avariées ainsi que le reconditionnement des marchandises restantes et des cagettes intactes. Les études disponibles ne précisent pas dans quelle mesure ces étapes supplémentaires de préservation des produits sont effectuées dans les magasins centraux et les filiales. L'étude "Safefood" quantifie la part de qualité de produit altérée dans les cageots endommagés à environ 40 pour cent (PF) ou 22 pour cent (PM) dans l'entrepôt central et 20 pour cent (PF) ou 0 pour cent (PM) dans les magasins. (Lange et al. 2013)

Pour la présente étude, les valeurs de l'indicateur sont attribuées à "neutre" (0) pour les trottoirs multidirectionnels et à "mauvais" (-2) pour les trottoirs unidirectionnels.

Dans le cas des plateaux de plantes, la protection du produit se réfère en particulier à la stabilité des pots de plantes dans les plateaux tout au long de la chaîne d'approvisionnement, du producteur de plantes au magasin (le cas échéant au client final) en passant par le commerce. Il n'a pas été possible de trouver des informations à ce sujet dans la littérature. Les interviews ont cependant mis en évidence le fait que les futures solutions réutilisables devront également atteindre la très bonne stabilité qui est actuellement réalisée dans les solutions individuelles pour les plateaux à usage unique. (Breukers 2021)

Afin de permettre une visualisation uniforme pour les trois démonstrateurs, une estimation propre a été effectuée pour une première valeur d'indicateur. La meilleure valeur d'indicateur "bonne" (+2) a été attribuée à l'usage unique, qui doit également être considérée comme la valeur cible pour l'usage multiple. Cependant, comme celle-ci ne peut pas encore être considérée comme atteinte aujourd'hui, elle est évaluée avec la valeur d'indicateur "neutre" (0) dans l'étude.

Gobelets Coffee-to-go : pour les emballages Business-to-Consumer, il existe un problème méthodologique : l'indicateur "taux de rupture" pour les gobelets réutilisables se réfère à la fermeture (proportionnelle) réussie du circuit, et les données disponibles ne sont pas encore satisfaisantes. Ainsi, ont publié Pladerer et al. (2008) par exemple, pour l'utilisation de gobelets réutilisables dans les stades de football allemands (ligue allemande), les taux de rupture s'élèvent en moyenne à 0,93 % (avec un minimum de 0,46 % au Werder Brême et un maximum de 1,68 % au VfB Stuttgart).

L'indicateur "taux de rupture" se réfère moins à la proportion de pots qui, une fois remplis avec le produit et jusqu'à la consommation, entraînent une perte de produit ou un danger pour les consommateurs. Pour ce démonstrateur strator, le "taux de rupture" serait donc plutôt à comprendre au sens large comme la part de

"consommation sûre" : influencée par exemple par la rigidité et donc la portabilité plus sûre du gobelet ainsi que par la possibilité (au choix) de fermer le gobelet avec un couvercle ou de transmettre la chaleur à travers la paroi du gobelet.

Des données utilisables pour cette étude n'ont pas non plus pu être identifiées pour les gobelets Coffee-to-go. C'est pourquoi nous avons procédé à notre propre estimation d'une première valeur d'indicateur, pour laquelle la valeur "plutôt bon" (+1) attribuée aux emballages réutilisables est légèrement meilleure que celle attribuée aux emballages jetables ("neutre").

### 6.2.4 Numérisation rabilité

La numérisation n'épargne pas l'industrie de l'emballage (Valtokari 2021). Au niveau de l'emballage, les codes-barres (codes visuels tels que les codes-barres, les codes QR, les codes Data Matrix, etc.) et les codes de recyclage sont déjà utilisés de manière universelle. Les codes sont lus par des scanners à caméra et permettent d'identifier des types d'emballages et d'articles, voire des objets individuels. Combinés à des données cloud, ils permettent d'attribuer temporairement ou durablement n'importe quelle propriété aux produits et aux emballages. En outre, il est également possible de suivre les emballages tout au long des voies de transport et de leur cycle de vie.

Outre les codes QR et les codes-barres visibles, des filigranes numériques sont actuellement en cours de développement. Le projet correspondant s'appelle "Holy Grail 2.0". (Schröer 2020). Ces filigranes numériques doivent être réalisés sous la forme de marquages imprimés ou gaufrés largement invisibles. Ils sont appliqués sur l'ensemble de l'emballage, de sorte que même des parties ou des fragments d'emballage restent clairement identifiables. Elles doivent permettre d'améliorer le tri et donc de réaliser un bond en avant dans le recyclage. En fin de compte, la recyclabilité pratique dépend toutefois de toute une série de paramètres, dont les substances indésirables, la séparabilité des composites, l'atteinte de flux quantitatifs critiques et également la présence de la technique d'installation nécessaire. Ces éléments sont pris en compte, par exemple, dans la norme minimale de recyclabilité (voir également la section "Recyclabilité"). 6.1.5) (Agence fédérale de l'environnement 2021).

Outre les codes QR et les codes à barres, des techniques radio telles que la RFID (radio-frequencyidentification, radio-étiquettes avec puce) sont également utilisées. Outre la RFID, il existe également des techniques alternatives basées sur le Wi-Fi, le Bluetooth (ibeacon) ou l'Ultra-Wide-Band (UWB), mais qui n'ont jusqu'à présent qu'une faible pertinence. En ce qui concerne les systèmes RFID, il existe des solutions passives et actives (avec batterie). Elles se composent d'un transpondeur sur l'objet à suivre et de lecteurs fixes (readers) installés le long de l'itinéraire de transport pour permettre la lecture et le suivi. Les puces des transpondeurs sont inscriptibles une ou plusieurs fois. Les avantages des radio-étiquettes par rapport à la technique des codes-barres sont les suivants : la saisie des données est possible sans contact visuel grâce à la technique radio sans fil, la bonne résistance aux influences environnementales est assurée par l'intégration

dans le matériau d'emballage et la saisie rapide et simultanée de plusieurs objets ("saisie par impulsions").

En plus des marquages optiques et des radio-étiquettes, qui servent surtout à l'identification et au suivi, il existe de nombreux autres éléments dont un emballage peut être équipé. Cela commence par de simples éléments actifs tels que les buvards (par exemple pour les emballages de viande), les sachets déshydratants, l'emballage sous atmosphère protectrice ou l'intégration d'absorbeurs d'oxygène, par exemple dans les bouchons de bouteilles, afin d'éviter l'oxydation du produit. En outre, les éléments intelligents des systèmes d'emballage n'agissent pas uniquement sur le produit, mais fournissent également des informations au monde extérieur, ce qui permet d'obtenir une valeur ajoutée. La base technique de l'équipement intelligent est constituée de capteurs de température, de position, d'humidité et d'impulsions, couplés à des technologies radio pour transmettre les données collectées. Les capteurs permettent de surveiller l'état, le transport et le stockage. Les interfaces utilisées sont des haut-parleurs, des LED et des écrans. Ces derniers sont en concurrence avec des terminaux polyvalents tels que les téléphones portables, les tablettes, les montres intelligentes ou les ordinateurs mobiles individuels (ordinateurs de poche), qui servent de lecteurs dans le sens d'un "emballage étendu" et permettent en même temps d'accéder à des sources de données externes dans des nuages. Les contenus externes peuvent comprendre aussi bien des informations sur le produit (spécifications, numéro de lot), des informations sur son statut (durée de conservation, lieu) que d'autres informations telles que des modes d'emploi, des recettes, des offres complémentaires, la teneur en substances nocives, l'empreinte écologique, etc.

Le type et l'étendue de l'équipement numérique d'un emballage sont souvent déterminés par le prix des composants. Alors que les codes-barres, par exemple, coûtent moins d'un centime d'euro par pièce, les prix des étiquettes RFID passives commencent à 5 centimes d'euro par pièce et ceux des étiquettes RFID actives atteignent 25 euros par pièce, voire beaucoup plus pour les types à longue durée de vie. (RFID journal o. J.)

D'après les connaissances actuelles, les étiquettes et capteurs RFID appliqués sur les emballages ont un impact négatif sur le recyclage. Pour éviter la contamination du matériau secondaire et les pertes dissipatives de matières premières métalliques, les étiquettes RFID devraient idéalement être récupérables. Même si l'on parvenait à fabriquer des étiquettes RFID purement organiques et polymères, on peut se demander si leur maintien dans les matières premières secondaires serait acceptable, car les polymères en fusion sont déjà sensibles à de faibles impuretés. En principe, on peut s'attendre à ce que les capteurs et les étiquettes RFID aient soit un effet négatif sur la qualité des matières premières secondaires, soit un coût de recyclage plus élevé.

**Critère d'évaluation/indicateur : coûts de la numérisation**

Un certain nombre de caractéristiques plaident en faveur d'une grande capacité de numérisation d'un emballage :

- La mise en œuvre de l'équipement numérique est facile à réaliser en raison de la conception du système d'emballage et peut être standardisée.
- Les informations sur l'emballage et le contenu sont disponibles pendant un cycle de vie complet, voire plusieurs cycles de vie, ce qui permet d'obtenir une valeur élevée grâce au suivi et à l'attribution d'informations à l'emballage.
  est atteint.
- De plus, il existe l'option de déconnecter/remplacer l'équipement numérique avant la fin de vie ou en cas de dommage, ou de le faire circuler de manière non destructive.

En principe, les avantages des stratégies de numérisation sont moins importants dans le domaine des systèmes à usage unique que dans celui des systèmes réutilisables, étant donné que l'on ne cherche pas à mettre en place un circuit non destructif. Même en utilisant des technologies de marquage, telles qu'elles sont discutées et développées sous le slogan "Holy Grail 2.0", il est certes possible d'attribuer à l'emballage et aux grands fragments des informations sur le produit et le matériau basées sur le cloud jusqu'au tri. Mais il semble plutôt exclu que ces informations puissent être clairement attribuées à un produit secondaire après le processus de recyclage mécanique ou chimique. Les informations sur la manière dont un emballage a été additivé, sur les composants avec lesquels il a été en contact, ne sont donc pas disponibles pour les systèmes à usage unique après le recyclage, mais dans le meilleur des cas sous forme de valeurs moyennes.

Un indicateur quantitatif approprié pour déterminer la numérisation est le coût de la numérisation (transpondeur) par rapport au coût de l'emballage. Les coûts de la numérisation sont répartis sur les coûts de l'emballage en fonction du nombre de rotations. Le coût d'un transpondeur est calculé sur la base de 10 centimes d'euro par pièce. Des capteurs plus complexes, voire des interfaces appliquées directement sur l'emballage, entraîneraient des coûts nettement plus élevés. Les coûts d'infrastructure devraient être similaires pour les systèmes à usage unique et les systèmes réutilisables et sont donc négligés. Cependant, en raison d'une plus grande standardisation des systèmes réutilisables ou de moins de changements dans la conception des emballages au fil du temps, il est également envisageable que l'infrastructure des systèmes réutilisables puisse être réalisée de manière plus simple et moins coûteuse.

Dans le cadre de cette étude, la numérisabilité est considérée comme d'autant plus grande que la part des coûts est faible. Cette dernière est calculée de la manière suivante (TU = nombre de rotations) :

$$Kostenanteil\ für\ Digitalisierung = \frac{Kosten\ Digitalisierung}{UZ * (\ Kosten\ Verpackung + Kosten\ Digitalisierung)}$$

Pour l'évaluation des différents systèmes d'emballage, l'aspect du recyclage non destructif et la part des coûts de la numérisation ont été combinés et une gradation a été établie selon Tableau 13 choisie.

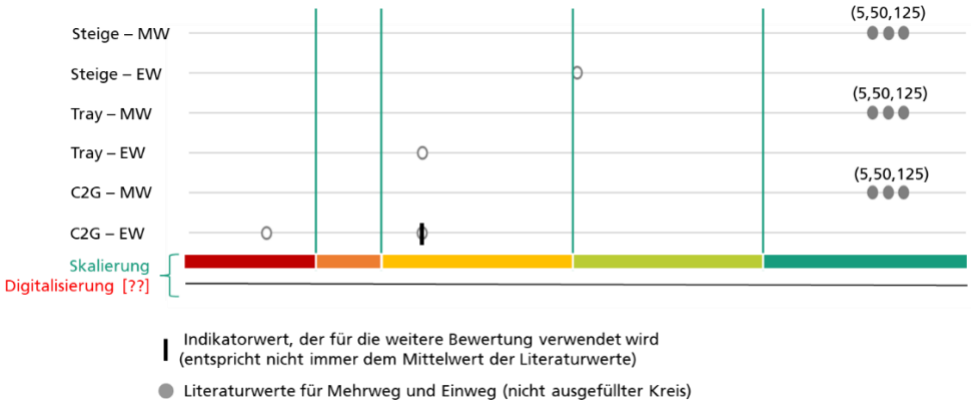
Tableau 13: Gradation de l'indicateur de numérisabilité

| Indicateur | -2 (mauvais) | -1 (plutôt mauvais) | 0 (neutre) | +1 (plutôt bon) | +2 (bon) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Numérisabilité** | ≥ 50 % | Part des coûts 10 à < 50 | Part des coûts < 10 % | Part des coûts < 10 et circuit non destructif | Part des coûts < 5 et circuit non destructif |

### Détermination des valeurs pour les systèmes étudiés

Le graphique suivant montre les résultats pour les systèmes réutilisables (RR) étudiés et les alternatives à usage unique (UU) correspondantes. Des indications sur la détermination des valeurs sont données dans le texte sous le graphique. Les tableaux présentant les données utilisées se trouvent au chapitre 9.4.11.

Illustration 28: Comparaison de la numérisation des systèmes à usage unique et des systèmes réutilisables




**Les caisses multi-usages** pour fruits et légumes sont déjà identifiées par un code GRAI (Global Returnable Asset Identifier). Il se compose du numéro de base, du type de conteneur et du chiffre de contrôle et permet d'identifier clairement le système d'emballage. Par ailleurs, le code peut être complété par une composante sérielle qui permet une identification au niveau du conteneur individuel. En Europe, le code GRAI se présente généralement sous la forme d'un code-barres sous forme d'étiquette dans le moule. Aux États-Unis, des étiquettes RFID sont déjà utilisées. Des taux de rotation déjà faibles entraînent une faible part de coûts pour la numérisation. L'indicateur a été fixé à +2.

Pour les **caisses** carton **à usage unique** et de nombreuses autres unités d'emballage, il est courant d'identifier clairement une unité d'expédition jusqu'au

destinataire au moyen du numéro de l'unité d'expédition (NVE, international : Serial Shipping Container Code). Ce numéro est appliqué par étiquette, par impression directe (jet d'encre) ou par RFID, mais il n'englobe pas toujours la cagette individuelle, mais l'unité d'expédition (par exemple, une palette avec plusieurs cagettes en carton). Après la dissolution de l'unité d'expédition, l'information est perdue. Le type de carton est identifié en complément par le code FECO-EBSO. Pour les caisses en carton, la part des coûts pour une technique RDID passive serait encore assez faible avec 11% (valeur indicatrice 0).

**Les plateaux** et **gobelets réutilisables** sont mis en circulation de manière non destructive. Malgré les plateaux et gobelets relativement bon marché, les coûts d'un transpondeur RFID ne pèsent pas lourd, même avec un faible nombre de rotations, et sont nettement inférieurs à 5 %. On pourrait même imaginer des transpondeurs nettement plus chers, y compris les capteurs (indicateur +2). L'introduction de la technologie RFID pour les gobelets réutilisables est testée à l'échelle pilote depuis 2020. (RFID card 2020).

Pour les **barquettes jetables**, les coûts de la numérisation représentent une part importante des coûts totaux (valeur de l'indicateur -1). Pour les **gobelets jetables** bon marché, la numérisation à l'aide de la technologie RFID est difficilement envisageable, car la numérisation représenterait près de 80% du coût total. Même pour les gobelets haut de gamme, choisis ici comme point de comparaison car ils sont plus susceptibles de concurrencer les gobelets réutilisables en termes de performance, la part des coûts est encore plutôt élevée (valeur d'indicateur -1).

### 6.2.5 Frais de transport

La charge de transport est mesurée en tant que prestation de transport (en tonnes-kilomètres) et est directement influencée par le poids à transporter ainsi que par la distance à parcourir. Les acteurs de la logistique tout au long du cycle de vie des systèmes à usage unique ou réutilisables améliorent et optimisent continuellement leurs transports et donc les charges de transport. Les stratégies consistent par exemple à augmenter le taux de remplissage (la réduction du volume/la pliabilité des emballages vides joue ici un rôle, voir également le chapitre 6.2.2) ou à éviter les transports à vide (environ 42 pour cent de la consommation de carburant d'un camion à pleine charge sont dus au poids de la charge, 58 pour cent sont dus au véhicule à vide). (Infras 2019)[22]). La question de savoir si et dans quelle mesure des transports à vide sont nécessaires est moins une question de système d'emballage que surtout de taille et de réseau du prestataire logistique, de l'existence de bourses de fret et de l'appariement des régions[23] . Ces points déterminent le nombre de points de réception et de déchargement dans un réseau logistique, permettent le regroupement, l'optimisation des trajets et réduisent ainsi les trajets à vide. (Dörfelt 2018).

Outre la réduction du volume grâce à la possibilité de plier et d'emboîter les systèmes d'emballage, le poids propre de l'emballage - tant pour les systèmes à

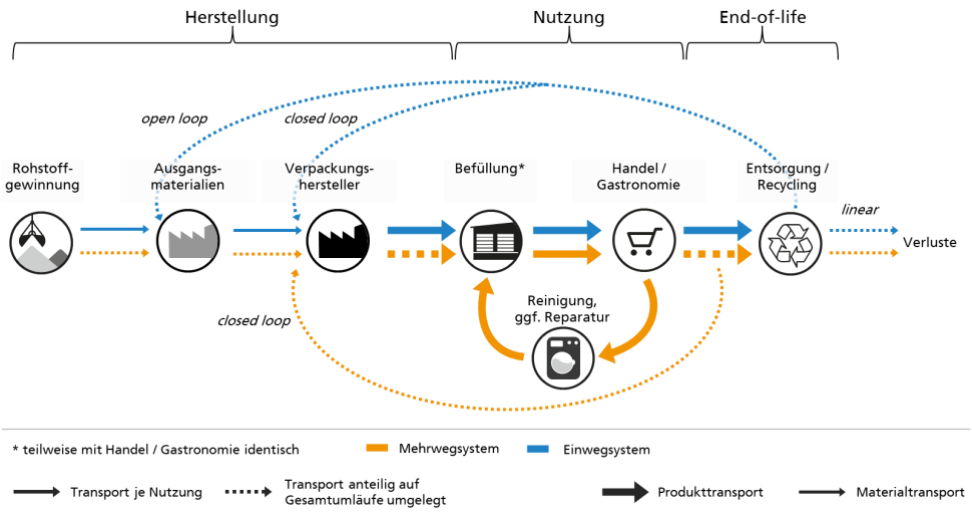
22 Selon le manuel des facteurs d'émission HBEFA version 4.1 : classe de véhicules LZ/SZ >34-40t (diesel) avec mix de classes de polluants pondéré pour l'année 2020.

23 C'est-à-dire lorsque les quantités de marchandises des régions sont comparables dans les deux directions de transport.

usage unique que pour les systèmes réutilisables - est également optimisé (voir également le paragraphe 6.2.2), ce qui a également une incidence sur les frais de transport. La variation des frais de transport se traduit à son tour par une variation de la consommation de carburant et donc des dépenses énergétiques (voir section 6.3.2) et les émissions de gaz à effet de serre (empreinte carbone, voir section 6.3.1).

L'effort de transport est donc une catégorie de performance qui, d'une part, est déterminée par des paramètres sous-jacents tels que la réduction du volume et le poids propre et, d'autre part, influence les catégories de durabilité supérieures. L'aspect du poids ayant déjà été abordé au chapitre 6.1.2 est discuté dans ce chapitre, il sera mis de côté et l'attention sera portée sur la distance de transport que le système à usage unique ou réutilisable doit typiquement parcourir, en tant que paramètre séparé. Les transports pertinents sont esquissés dans l'illustration ci-dessous.

Figure 29
Transports pertinents dans le système à usage unique et le système réutilisable[24]




**Phase de fabrication :** pour les systèmes à usage unique comme pour les systèmes réutilisables, la fabrication et la distribution des emballages peuvent être réalisées au niveau régional ou suprarégional. Dans le cas des emballages en plastique, il faut d'abord transporter la matière première chez le fabricant du polymère, qui est ensuite acheminé vers le fabricant de l'emballage via le compoundeur. Ensuite, l'emballage fini est livré au lieu de remplissage (p. ex. producteur de fruits/légumes, producteur de plantes, restaurant). Ces transports initiaux ont lieu pour chaque application dans le cas des systèmes à usage unique (c'est pourquoi ils sont représentés par une flèche en gras dans l'illustration). Pour les systèmes réutilisables, les dépenses de transport de la phase de production sont réparties

24 Le terme "boucle fermée" fait ici référence à la mise en circulation du matériau dans une même application avec la même qualité (idéalement sans ajout de matériau primaire), tandis que le terme "boucle ouverte" décrit la mise en circulation du matériau avec une qualité et une application éventuellement différentes (inférieures).

sur le nombre d'utilisations et sont indiquées par une flèche fine en pointillé dans la figure.

**Phase d'utilisation :** Indépendamment de la régionalité des processus de fabrication des systèmes d'emballage, des transports sont également liés à leur utilisation, mais ils dépendent de la régionalité des produits à transporter et ne doivent pas être imputés à un système à usage unique ou à un système réutilisable. Le transport du lieu de remplissage au point de vente ou déjà à l'utilisation a lieu de la même manière pour les deux systèmes. Alors que les systèmes à usage unique et réutilisables sont utilisés dans le monde entier dans des structures de distribution suprarégionales (par exemple en Europe, aux États-Unis ou en Australie), les chaînes d'approvisionnement mondiales [utilisent] actuellement plutôt des systèmes à usage unique. (Muske 2021). Après utilisation, les emballages réutilisables nécessitent généralement un transport de retour vers le lieu de nettoyage et, de là, vers le lieu de rechargement (redistribution).

**Phase de fin de vie :** les emballages à usage unique sont recyclés après un seul passage, les emballages réutilisables après plusieurs passages. Dans cette étape, les emballages à usage unique présentent des avantages, car ils peuvent être plus facilement détruits et compactés (par exemple au moyen de compacteurs de déchets), ce qui permet de réduire considérablement le volume de transport (cf. section 6.2.2). Pour la valorisation, des transports sont nécessaires depuis le lieu d'évacuation des systèmes d'emballage à éliminer vers les étapes de valorisation correspondantes. Dans le cas des emballages réutilisables, les emballages sont généralement évacués chez les exploitants de pools et triés pour être recyclés en boucle fermée.[24] sont transportés. Pour les emballages à usage unique, les emballages EoL proviennent le plus souvent du commerce ou, pour les emballages B2C, des ménages ou des points de collecte des déchets dans les espaces publics. Selon la fermeture du circuit réalisée, la collecte des emballages à usage unique est suivie du transport vers la décharge/l'incinérateur (cycle de vie linéaire du produit) ou vers le recyclage (y compris le tri, le prétraitement, le compoundage).

Le critère d'évaluation des frais de transport (Tableau 14), cette étude utilise la distance de transport fictive d'une application pour laquelle les transports pendant la fabrication, la distribution des nouvelles cagettes et l'élimination sont répartis sur l'ensemble des rotations possibles (flèches en pointillé sur la figure). Tous les autres transports, représentés par des flèches pleines dans la figure, sont pris en compte dans la distance de transport fictive à raison de 1:1.

Tableau 14: Distance de transport d'une application d'évaluation de l'effort de transport

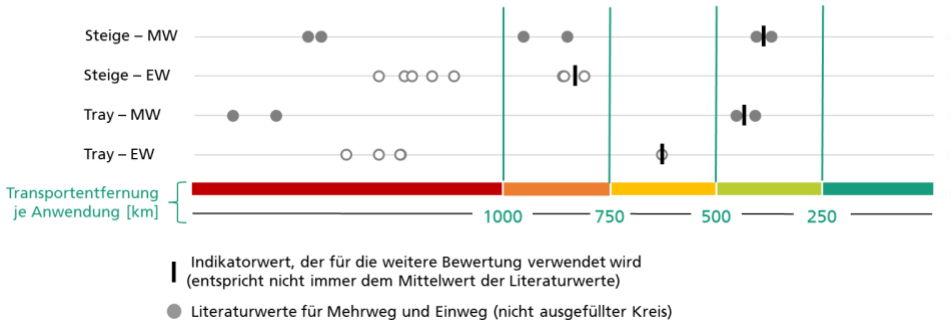
| Indicateur | -2 (mauvais) | -1 (plutôt mauvais) | 0 (neutre) | +1 (plutôt bon) | +2 (bon) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Distance de transport par application [km].** | > 1000 | 1000 à > 750 | 750 à > 500 | 500 à > 250 | ≤ 250 |

ERROR! USE THE HOME TAB TO APPLY ÜBERSCHRIFT 1 TO THE TEXT THAT YOU WANT TO APPEAR HERE.

### Détermination des valeurs pour les systèmes étudiés

Le graphique suivant montre les résultats pour les systèmes réutilisables (RR) étudiés et les alternatives à usage unique (UU) correspondantes. Des indications sur la détermination des valeurs sont données dans le texte sous le graphique. Les tableaux présentant les données utilisées se trouvent au chapitre 9.4.12.

Figure 30Distance de transport par application des systèmes à usage unique et réutilisables en comparaison

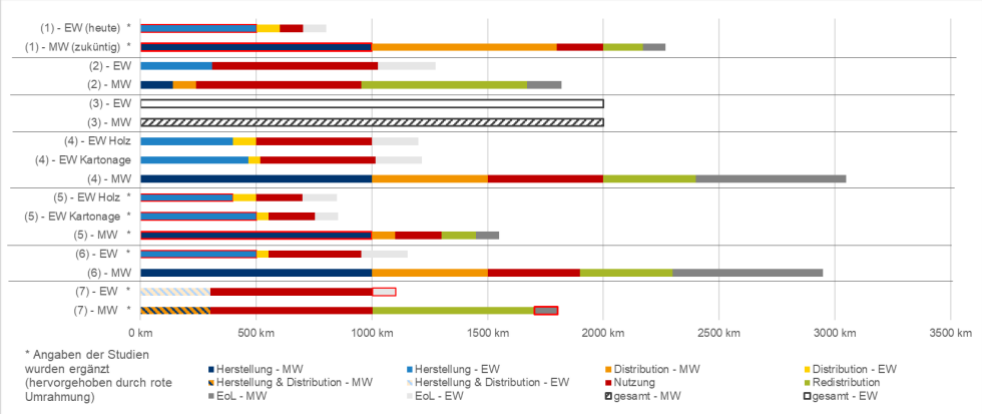



L'examen séparé de la distance de transport met en évidence le fait que les distances en amont et en aval de l'utilisation sont négligeables par rapport à la zone d'utilisation. C'est pourquoi les solutions MW pour une application régionale sont évaluées avantageusement par rapport aux solutions à usage unique. La procédure est décrite en détail ci-après, à titre d'exemple, pour les marches O/G.

les cagettes pour fruits et légumes : Le coût de transport d'une cagette de fruits et légumes dépend, comme décrit précédemment, de la distance de production et de l'application individuelle (produit à transporter). C'est pourquoi les publications existantes ont été analysées en fonction de la distance de transport utilisée et, dans la mesure du possible, celles-ci ont été reprises séparément pour la fabrication, la distribution, la redistribution et la fin de vie. Si des matériaux secondaires (regranulés) sont utilisés dans la fabrication d'emballages, leur transport est généralement considéré lors de la fabrication et non dans l'EoL (cut-

off ou recycled content approach). La figure ci-dessous présente un résumé de ces distances de transport.

Figure 31Distance de transport le long du cycle de vie des branches de fruits et légumes[25]



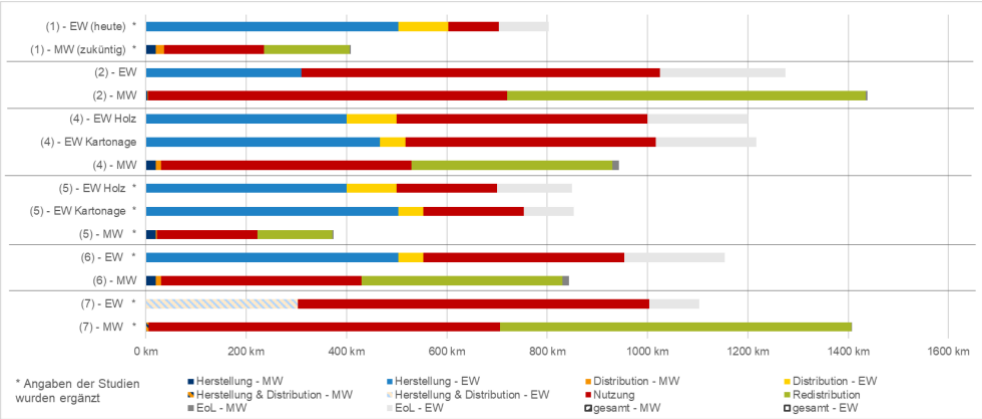

D'une manière générale, on constate que la documentation des distances prises comme base a été réalisée de manière très diversement détaillée dans les études et que l'attribution aux différentes étapes du système de transport a dû en partie se baser sur des hypothèses. Pour l'étude de Levi et al. (2011) la subdivision des étapes de transport n'était par exemple pas possible. Dans l'étude de Albrecht et al. (2013) aucune distance n'était indiquée pour l'EoL et la distance minimale des autres études (c'est-à-dire 100 kilomètres) a donc été incluse (mise en évidence par la bordure rouge du diagramme). De plus, dans l'étude de Abejón et al. (2020) indiquait la distance de transport des granulés de plastique pour le MW Steige, mais pas celle des cartons bruts de la solution EW[26] . C'est pourquoi une distance moyenne d'environ 500 kilomètres a été ajoutée à la représentation ci-dessus. (FEFCO 2018). Seule la Abejón et al. (2020) publié une distance de transport pour les granulés de plastique, l'étude de López-Gálvez et al. (2021) se réfère à cette source secondaire. Des études non publiées du Fraunhofer IML sur les pâtes O/G confirment cette valeur, de sorte qu'elle est également prise en compte dans les études. Del Borghi et al. (2020) et Accorsi et al. (2014) a été adoptée.

Ces distances totales ont ensuite été appliquées à un nombre uniforme de rotations des quais unidirectionnels (par définition, 1 utilisation) et des quais multidirectionnels (pour tous les quais MW, un nombre conservateur de 50 rotations), c'est-à-dire que les distances de transport de la fabrication, de la distribution et de l'EoL des quais MW sont divisées par 50. Étant donné qu'une répartition des données de Levi et al. (2011) n'est pas possible, ces données ont été retirées de la représentation.

[25] Avec (1) Accorsi et al. 2014 (2) Koskela et al. 2014 (3) Levi et al. 2011; López-Gálvez et al. 2021; (5) Del Borghi et al. 2020; (7) Albrecht et al. 2013.

[26] Le bilan de ces transports est inclus dans les modules d'ACV utilisés (GaBi). Seule la distance n'est pas comptabilisée séparément dans l'étude.

Figure 32Distance de transport pour une application de cagettes de fruits et légumes[27]

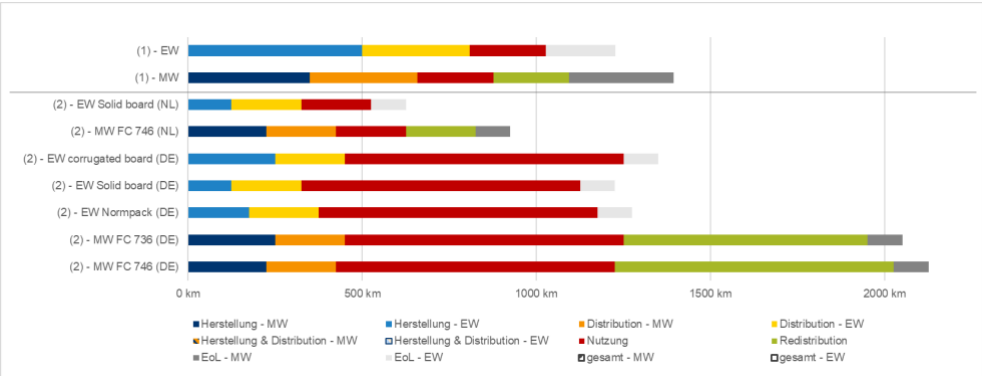



Cette représentation montre clairement que la distance d'application des cagettes de fruits et légumes, en particulier, influence les distances de transport totales et la comparaison entre les solutions à usage unique et les solutions réutilisables. Cependant, même pour une distance de redistribution de 400 à 500 kilomètres (Abejón et al. 2020 ; López-Gálvez et al. 2021)La distance totale de transport des caisses réutilisables pour une application est plus courte que celle de la variante à usage unique considérée.

En résumé, les cagettes de fruits et légumes sont évaluées dans cette étude comme "plutôt bonnes" (+1) pour le transport réutilisable et comme "plutôt mauvaises" (-1) pour le transport à usage unique.

La même procédure a pu être appliquée aux plateaux de plantes sur la base de deux références bibliographiques. L'étude de van Paassen et Scholten (2020) d'une part les scénarios d'utilisation en Allemagne (DE), d'autre part la zone d'application des Pays-Bas (NL), relativement petite par rapport à l'Allemagne, avec le scénario EW avec la distance la plus courte (EW Solid board) ainsi que le scénario MW avec la distance la plus longue (MW FC 756).

Figure 33Distance de transport le long du cycle de vie des plateaux de plantes[28]



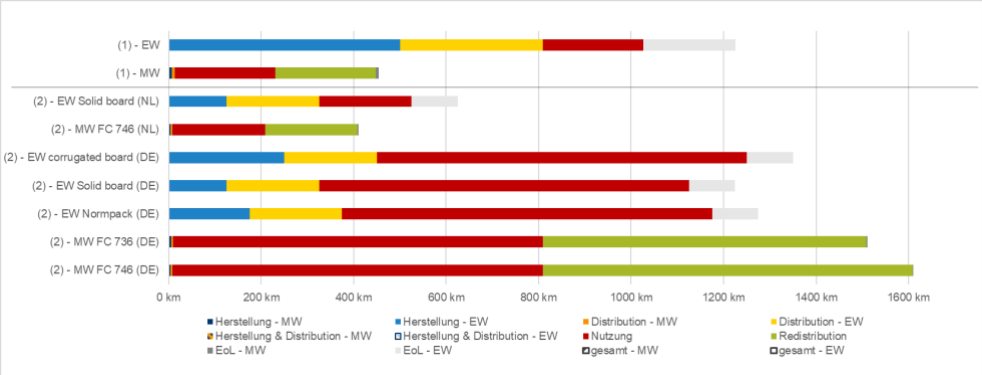

[27] Avec (1) Accorsi et al. 2014 (2) Koskela et al. 2014 (3) Levi et al. 2011; López-Gálvez et al. 2021; (5) Del Borghi et al. 2020; (7) Albrecht et al. 2013.

[28] Avec (1) Dobers et Lammers 2017; (2) van Paassen et Scholten 2020.

Ces distances totales ont à nouveau été rapportées à un nombre uniforme de rotations (UR=1 utilisation ; VM= 50 rotations). Ici aussi, il apparaît que pour les plateaux réutilisables, les distances en amont et en aval de l'utilisation sont négligeables par rapport à la zone d'utilisation. Ce qui est déterminant, c'est la distance d'utilisation des plateaux de plantes, ce qui a été démontré par les études de van Paassen et Scholten (2020) sur l'Allemagne et les Pays-Bas.

En résumé, les plateaux à plantes sont évalués dans cette étude comme "plutôt bons" (+1) pour le transport réutilisable et comme "neutres" (0) pour le transport à usage unique.

Figure 34Distance de transport pour une application de plateaux de plantes[29]




Dans le cas des gobelets Coffee to go, l'analyse de la littérature basée sur les étapes du processus tout au long du cycle de vie a été difficile. (Ligthart 2007 ; Cottafava et al. 2021 ; Kauertz et al. 2019 ; Melbinger 2018) et n'est donc pas reprise ici sous forme de graphique. Il existe toutefois une différence par rapport aux démonstrateurs précédents dans le cas de ces solutions B2C : Selon le domaine d'application des gobelets Coffee to go, l'utilisation se fait actuellement au sein d'une ville (par ex. réseau communal) ou en Allemagne (par ex. chaîne de magasins, réseau de stations-service). Les solutions municipales auront donc des distances d'utilisation réduites, de sorte que la redistribution - si les gobelets sont ramenés au même point de distribution - sera supprimée. En revanche, pour les pools nationaux, la distance dépend fortement de la centralisation (p. ex. RECUP, qui a aujourd'hui un site à Leverkusen (Pachaly 2021)) par rapport à l'organisation décentralisée et aux variations de volume. Cependant, aucune donnée n'a été publiée à ce sujet. Il n'a donc pas été procédé à une évaluation de la valeur de l'indicateur.

## 6.3 Catégories de durabilité

Conformément au "modèle des trois piliers", la durabilité ne peut être atteinte que par la mise en œuvre, sur un pied d'égalité et avec le même poids, d'objectifs environnementaux, économiques et sociaux. La fourniture et l'utilisation de

[29] Avec (1) Dobers et Lammers 2017; (2) van Paassen et Scholten 2020.

systèmes d'emballage ont un impact sur l'environnement, l'économie et la société. Si ces impacts sont négatifs, il convient de les minimiser et de répartir équitablement les charges entre les personnes vivant aujourd'hui et les générations futures. Pour y parvenir, des objectifs de développement durable (ODD) ont été adoptés au niveau mondial. Ces objectifs, définis en 2015 sous l'égide des Nations unies, doivent être mis en œuvre d'ici 2030. Ils s'adressent davantage à des objectifs politiques qu'à l'évaluation de la durabilité des produits et processus individuels.

Rendre la durabilité mesurable et comparable pour des produits et processus individuels est un grand défi. Une possibilité est d'étudier des catégories sélectionnées qui adressent des aspects pertinents. Un ensemble d'indicateurs universels n'est toutefois pas très utile, car pour des produits, processus et secteurs concrets, des aspects de durabilité très spécifiques sont souvent particulièrement pertinents et prioritaires. Cela se reflète généralement aussi dans les débats publics. Dans le secteur de l'habillement, par exemple, les aspects sociaux tels que la protection du travail et les conditions d'emploi équitables jouent un rôle important dans la perception du public. En revanche, les effets sur l'environnement ont été moins considérés, même si cette tendance s'est également accentuée ces dernières années.

Pour les systèmes d'emballage, ce sont surtout les aspects de l'économie circulaire, de l'impact climatique, de la consommation d'énergie, de la rentabilité et de la souveraineté qui sont actuellement importants. Les aspects de l'économie circulaire sont traités séparément dans la section 6.1 traitées dans le cadre de la présente étude. Les autres thèmes sont abordés dans ce chapitre.

Les émissions de gaz à effet de serre et les dépenses énergétiques cumulées sont analysées en tant que critères écologiques importants - également appelés impacts environnementaux. L'impact environnemental est un terme générique désignant tous les types d'effets positifs et négatifs sur l'environnement, qui sont analysés dans ce que l'on appelle des catégories d'impact dans une évaluation de l'impact environnemental faisant partie de l'ACV. Les principes et les lignes directrices d'une ACV sont standardisés dans les normes internationales de la série ISO 14040. (ISO 14040:2006 ; ISO 14044:2006). La comparaison des systèmes à usage unique et réutilisables effectuée ici sur la base de l'impact environnemental à partir de différentes études n'est pas le résultat d'enquêtes et de calculs d'ACV propres. Il s'agit plutôt d'un classement des systèmes d'emballage sur la base de données bibliographiques. Les résultats sont donc entachés d'incertitudes en raison des hypothèses et des conditions générales des différentes études. 9.3.2 sont discutées en tant que limites de la méta-étude. En plus des deux catégories d'impact environnemental analysées, la contribution à l'appauvrissement abiotique des ressources a également été étudiée en tant qu'impact environnemental, mais n'a pas été intégrée dans l'évaluation (voir chapitre 8.3). Il s'est avéré que la base d'études et de données pour ces catégories d'impact environnemental et d'autres, conformément aux normes PEF 3.0 [30](Fazio et al. 2018 ; Zampori L. 2019) catégories

[30] Product Environmental Footprint 3.0 (PEF 3.0) est une norme pour la réalisation d'écobilans de produits, initiée par la Commission européenne.

d'impact environnemental recommandées pour les systèmes d'emballage étudiés ici est jusqu'à présent insuffisante. C'est pourquoi elles n'ont pas été évaluées.

L'estimation de la rentabilité relative de certains postes de coûts et la souveraineté technologique doivent donc être considérées comme des catégories de durabilité plutôt pertinentes sur le plan économique ou social. Toutes les catégories de durabilité examinées dans ce contexte sont décrites en détail ci-après et évaluées par rapport aux démonstrateurs.

### 6.3.1 Émissions de gaz à effet de serre

L'influence de l'homme sur le climat est considérée comme prouvée par les scientifiques. Les émissions de gaz à effet de serre, qui proviennent principalement du secteur de l'énergie, de l'industrie, de la consommation privée, des transports et de l'agriculture, en sont la cause. Selon le GIEC[31] , les émissions anthropiques de gaz à effet de serre (GES) constituent la plus grande menace de l'histoire de l'humanité. La crise climatique englobe à la fois le réchauffement global dû aux émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine et les modifications des modèles météorologiques locaux qui en résultent. Selon les prévisions, toutes les régions du monde seront touchées d'une manière ou d'une autre par les effets du réchauffement climatique, même si l'ampleur de ces effets peut varier. Les changements climatiques ont des répercussions importantes sur les systèmes naturels et techniques qui en dépendent. Les effets les plus connus sont la fonte des calottes polaires et l'élévation du niveau de la mer qui en résulte, ainsi que les phénomènes météorologiques extrêmes. Par exemple, les sécheresses locales, les pluies torrentielles et les tempêtes sont attribuées à la crise climatique mondiale. Les conséquences déjà perceptibles aujourd'hui et la fenêtre d'opportunité de plus en plus étroite pour les mesures correctives nécessaires ont fait que les émissions de GES sont actuellement l'impact environnemental le plus discuté et le plus pris en compte dans les analyses du cycle de vie. (GIEC 2014 ; Commission européenne 2021 ; Wincentsen 2013)

Le potentiel de réchauffement global (PRG) est un paramètre important dans le calcul de la contribution des émissions au changement climatique. Le potentiel de réchauffement global d'un gaz sert à comparer l'influence de différents gaz à effet de serre sur le réchauffement global. Il permet de mesurer la contribution des émissions nocives d'une substance au réchauffement climatique sur une période donnée (p. ex. 100 ans). Les émissions nocives pour le climat absorbent de l'énergie dans l'atmosphère pendant cette période et la renvoient en partie vers la surface de la Terre. L'effet qui en résulte est appelé effet de serre. (GIEC 2014)

Le dioxyde de carbone ($CO_2$ ) est le GES le plus répandu. Il est donc utilisé comme gaz de référence et comme référence, de sorte que les gaz émis par un produit ou un processus sont convertis en équivalents $CO_2$ à l'aide d'un facteur de conversion. Le facteur de conversion, appelé potentiel de réchauffement global relatif, indique la contribution au réchauffement global d'une masse donnée de GES par rapport à la même masse de $CO_2$ . Les facteurs de conversion peuvent être consultés dans le

31 Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

dernier rapport du GIEC. Le protoxyde d'azote ($N_2$ O) est par exemple produit par l'agriculture et a, selon le cinquième rapport d'évaluation du GIEC, un potentiel de réchauffement relatif environ 300 fois plus élevé que la même masse de $CO_2$ . Pour calculer les équivalents $CO_2$ , les masses de toutes les émissions individuelles pour une activité ou sur un cycle de vie de produit sont multipliées par les facteurs de caractérisation et indiquées comme la somme des équivalents $CO_2$ émis par unité fonctionnelle. Les$_2$ équivalents $CO_2$ calculés sont souvent appelés "pression de carbone ", bien qu'en règle générale, ce ne soit pas seulement la quantité de $CO_2$ émise qui soit indiquée, mais la quantité totale de gaz nocifs pour le climat convertie en équivalents $CO_2$ . Cette conversion permet de comparer l'impact de différents produits ou activités sur le changement climatique en une valeur individuelle agrégée. (GIEC 2014)

**Critère d'évaluation/indicateur**

Les émissions de gaz à effet de serre pour les démonstrateurs considérés dans le cadre de cette étude sont exprimées en kilogrammes d'équivalent $CO_2$ par rotation et par volume de remplissage de 1000 litres. Les valeurs bibliographiques relatives aux systèmes d'emballage étudiés ici ont été converties dans cette unité, sauf indication contraire. Les études pour lesquelles une conversion n'était pas possible, par exemple parce que l'indication du volume d'emballage manquait, n'ont pas pu être prises en compte dans l'analyse. Pour les cagettes de fruits et légumes et les gobelets de café à emporter, le volume se réfère au produit emballé ou, sauf indication contraire, au volume du système d'emballage lui-même. Ange note que le volume des plateaux à plantes se réfère au volume calculé de tous les pots à plantes qui peuvent être placés dans le plateau correspondant et non au volume des plateaux à plantes eux-mêmes. La raison en est que les plateaux étudiés ont des formes et des tailles différentes et qu'ils remplissent, en tant qu'emballage secondaire , la fonction de transporter un certain nombre de pots de plantes d'un volume défini. Le volume des pots de plantes comme grandeur de référence est donc plus approprié que le volume des plateaux de plantes, car ces derniers n'ont en partie qu'une ouverture dans laquelle les pots de plantes sont placés et le plateau lui-même n'a pas un volume comparable. Toutefois, étant donné que les plantes ne sont généralement pas emballées complètement et qu'elles dépassent du pot, la hauteur respective de la plante a des répercussions sur certains processus et donc sur l'impact environnemental. Par exemple, en fonction de la hauteur des plantes, il est possible de transporter un nombre différent de plateaux les uns sur les autres. Pour des raisons de comparabilité avec les autres systèmes d'emballage et de classification de l'indicateur choisi ici, il a été renoncé à une autre unité. Les valeurs et les systèmes d'emballage utilisés dans la littérature pour les démonstrateurs sont présentés au chapitre 9.4.13 sont répertoriés.

Pour classer l'indicateur "Équivalents $CO_2$ " en kilogrammes d'équivalent $CO_2$ par rotation et par volume de remplissage de 1000 litres des différents systèmes d'emballage sur une échelle, une étude de l'institut ifeu de 2018 a été utilisée comme référence. Cette étude d'écobilan a analysé 11 emballages de boissons dans les segments jus/nectar, lait UHT et lait frais. (Kauertz et al. 2018). Elle a examiné une moyenne représentative des systèmes d'emballage de boissons disponibles en Allemagne pendant la période de référence 2015-2017, y compris

les distances de distribution, les taux de collecte, de tri et de recyclage. Les 11 systèmes d'emballage étudiés représentent quatre cartons composites pour boissons avec et sans couche d'aluminium, cinq bouteilles PET jetables (monocouche et multicouche) et deux bouteilles en verre réutilisables. Une classification des valeurs indicatrices des systèmes d'emballage étudiés a été établie à partir des équivalents $CO_2$ (voir Tableau 15). Cela signifie que la classification des valeurs indicatrices place les systèmes d'emballage étudiés ici en comparaison avec les emballages de boissons typiquement disponibles sur le marché comme emballage de référence. Les deux valeurs extrêmes (maximum et minimum) des 11 systèmes d'emballages de boissons constituent les seuils bas et haut (-2 "mauvais" et +2 "bon"). La mesure de dispersion entre les valeurs extrêmes et les quartiles inférieur et supérieur constitue respectivement la fourchette pour les valeurs d'indicateur -1 "plutôt mauvais" et +1 "plutôt bon". Les valeurs neutres (valeur d'indicateur 0 ) résultent de l'écart entre les deux quartiles. [32]

Tableau 15: Évaluation des émissions de GES en équivalents $CO_2$

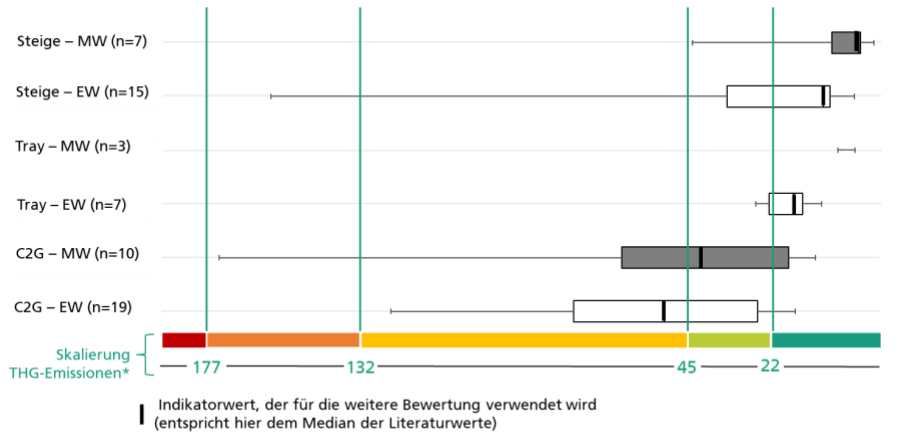
| Indicateur | -2 (mauvais) | -1 (plutôt mauvais) | 0 (neutre) | +1 (plutôt bon) | +2 (bon) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Émissions de GES [kg $CO_2$ -eq. par rotation et 1000 L de volume de remplissage volume]** | > 177 | 177 à > 132 | 132 à > 45 | 45 à > 22 | ≤ 22 |

### Détermination des valeurs pour les systèmes étudiés

En se basant sur les émissions spécifiques de GES en équivalents $CO_2$ prises en compte pour les emballages de boissons afin de classifier la valeur de l'indicateur, les systèmes à usage unique (UU) et réutilisables (RU) étudiés ici ont été convertis dans cette classification à partir d'une étude bibliographique et reportés dans un diagramme en boîte (voir Figure 35). Au total, 42 variantes à usage unique et 21 variantes réutilisables de différents matériaux provenant de 14 études ont été considérées. Des indications sur la détermination des valeurs sont données dans le texte sous la figure. Les tableaux présentant les données utilisées se trouvent au chapitre 9.4.13.

32 Pour les quartiles et les boxplots, voir par exemple Bettermarks 2022.

Figure 35Emissions de GES comparées entre les systèmes à usage unique et les systèmes réutilisables




* In kg $CO_2$-Äq pro Umlauf und 1000 L verpacktes Volumen. Das Volumen der Pflanzentrays bezieht sich auf das errechnete Volumen aller Pflanzentöpfe, die in das jeweilige Tray passen, da die untersuchten Trays sehr unterschiedliche Formen haben und die Pflanze selbst nicht direkt verpackt ist und i.d.R. aus dem Pflanzentopf ragt.

**Barquettes pour fruits et légumes :** Toutes les cagettes réutilisables étudiées sont en plastique, alors que les variantes à usage unique sont en carton, en bois ou en plastique. Bien que les études présentent de grandes incertitudes quant à la comparabilité des hypothèses et des conditions marginales, six des huit études analysées avec un total de 24 variantes d'emballage montrent la même tendance en comparaison directe : les caisses multi-usages en plastique sont avantageuses en termes d'équivalents $CO_2$ spécifiques par rapport aux caisses jetables analysées. De plus, la comparaison de toutes les études en Figure 35que la fourchette de résultats des caisses unidirectionnelles est plus large que celle des caisses multidirectionnelles. Les valeurs des passerelles unidirectionnelles s'étendent de "plutôt mauvaises" (valeur indicatrice -1) à "bonnes" (valeur indicatrice +2). Une étude, dans laquelle un trottoir unidirectionnel en PPK obtient de meilleurs résultats que les trottoirs multidirectionnels en plastique, porte sur la livraison de pain. (Koskela et al. 2014) et non des fruits et légumes. Une autre étude montre, dans le scénario de base, que les caisses unidirectionnelles en PPK sont plus avantageuses que les caisses multidirectionnelles en plastique. (Levi et al. 2011). Le scénario de base choisi dans cette étude suppose toutefois une grande distance de transport de 2000 km sur l'ensemble du cycle de vie par rotation. Cependant, une analyse de sensibilité ultérieure a montré que pour une distance parcourue de 1200 km, les systèmes réutilisables sont plus performants que les systèmes à usage unique.

Les conditions marginales essentielles qui influencent les émissions de GES sont les hypothèses relatives aux distances de transport et au nombre de rotations. Pour ces derniers, les études examinées indiquent des valeurs comprises entre 30 et 200 rotations. Les hypothèses relatives aux distances de transport compliquent la comparaison entre les études, car certains produits sont transportés à l'intérieur d'un même pays ou à l'échelle mondiale, alors qu'au sein d'une même étude, les caisses à usage unique et les caisses à usage multiple transportent toujours les mêmes produits (voir également le chapitre 6.2.5). Il s'avère toutefois que les processus de transport ont une plus grande influence sur les produits réutilisables

que sur les produits à usage unique, c'est-à-dire que la contribution relative à la valeur totale est plus élevée. Si, à l'avenir, les émissions dans le secteur des transports diminuent par kilomètre parcouru, par exemple grâce à l'électrification des moyens de transport en relation avec le développement des énergies renouvelables, les avantages seraient plus importants pour les variantes réutilisables que pour les caisses à sens unique. La majeure partie des émissions de GES des trottoirs réutilisables est générée pendant la phase d'utilisation, en particulier par les transports nécessaires. Ce sont surtout les courtes distances de transport qui augmentent les avantages des emballages réutilisables. (Accorsi et al. 2014). Les structures de distribution décentralisées ainsi que les réductions de poids favorisent l'intérêt des caisses réutilisables. Les caisses réutilisables en plastique présentent un avantage par rapport au bois en raison de leur capacité à réduire le volume et de leur poids relativement léger pour le transport (cf. chapitre "Les caisses réutilisables"). 6.2.2).

Dans les études d'analyse de cycle de vie examinées, le nombre de rotations est généralement le facteur déterminant pour comparer un trottoir multidirectionnel à un trottoir unidirectionnel. Une analyse de sensibilité basée sur le nombre de rotations a montré qu'un trottoir multidirectionnel en plastique peut être avantageux par rapport à un trottoir unidirectionnel après environ 15 rotations déjà (López-Gálvez et al. 2021). Conformément aux indications relatives aux nombres de rotations déterminées lors des entretiens avec les experts, ce chiffre peut être considéré comme réaliste ou est déjà dépassé dans la pratique (voir chapitre 6.2.1). Les études qui se basent sur un nombre de rotations supérieur à 100 doivent être examinées le cas échéant, car cela ne correspond pas à l'expérience pratique (voir chapitre 6.1.1 page 47).

**Plateaux de plantes :** Pour la comparaison des émissions de GES des plateaux de plantation à usage unique et réutilisables, seules deux études ont pu être évaluées, dans lesquelles trois variantes réutilisables et sept variantes à usage unique sont considérées au total. Là encore, les trois plateaux réutilisables étudiés se situent dans la bonne fourchette (valeur d'indicateur +2) et présentent des émissions de GES inférieures à celles des plateaux à usage unique . Dans les deux études examinées, les principaux moteurs du résultat des plateaux réutilisables sont les processus de transport et - si nécessaire après l'utilisation - les processus de nettoyage. (Dobers et Lammers 2017 ; van Paassen et Scholten 2020). En termes relatifs, les processus de transport - comme pour les cagettes de fruits et légumes - ont également un poids plus important pour les plateaux à plantes réutilisables que pour les plateaux à plantes jetables. Par conséquent, comme pour les cagettes, l'$_2$empreinte carbone des plateaux réutilisables diminuerait proportionnellement plus si les émissions globales du secteur des transports par kilomètre parcouru diminuaient à l'avenir, par exemple grâce à l'électrification du secteur des transports. Il en résulte que les plateaux réutilisables permettent de réaliser des économies plus importantes que les plateaux à usage unique grâce aux réductions des émissions de gaz à effet de serre liées au transport.

Pour les plateaux à usage unique, le principal moteur des émissions de GES est la fourniture des matériaux nécessaires à la fabrication d'un plateau. (van Paassen et Scholten 2020 ; Dobers et Lammers 2017). Cependant, l'étude de van Paassen et

Scholten (2020) également que l'impact environnemental des plateaux à usage unique peut être réduit si l'on utilise davantage de matériaux recyclés, qui seront à nouveau recyclés en fin de vie. En outre, les émissions de $CO_2$ des plateaux à usage unique dépendent davantage des crédits d'énergie accordés pour l'incinération en fin de vie des plateaux que celles des plateaux réutilisables. (van Paassen et Scholten 2020). En Allemagne, les crédits liés à la fourniture d'électricité via l'incinération en fin de vie sont plus élevés que dans d'autres pays européens. (Blümm 2021). Cela s'explique par le rendement électrique comparativement élevé de l'incinération des déchets en Allemagne et par le mix électrique allemand, qui présente des émissions de GES comparativement élevées dues à de nombreuses sources d'énergie fossiles. (Blümm 2021). Plus les énergies renouvelables fournissent de l'électricité en Allemagne, plus le crédit par kWh d'électricité fourni par l'incinération des déchets sera faible à l'avenir. Une part croissante d'énergie renouvelable a également un effet positif sur le rapport déjà avantageux entre les émissions de GES des plateaux réutilisables et celles des plateaux à usage unique.

**Gobelets Coffee to go :** la plupart des variantes ont été étudiées pour comparer les gobelets jetables et réutilisables. Au total, quatre études différentes ont été évaluées, portant sur 19 variantes réutilisables et 10 variantes jetables. Différents gobelets jetables en plastique (PS, PP, PLA, PET) ainsi que des gobelets jetables en papier avec ou sans revêtement plastique PE ont été analysés, de même que des gobelets en papier à simple et double paroi. Les gobelets réutilisables analysés sont en plastique, en verre, en terre cuite ou en porcelaine. En outre, les gobelets ont été considérés en partie avec et sans couvercle. Trois des quatre études s'adressent explicitement aux gobelets Coffee to go, tandis qu'une étude analyse les gobelets destinés à la consommation de boissons en général, sans application explicite. Les résultats des gobelets jetables et réutilisables de Coffee to go présentent les plus mauvais résultats par rotation et par 1000 L de produit emballé, en comparaison avec les autres démonstrateurs. Les deux variantes présentent la plus grande amplitude au sein de l'échelle pour la valeur indicatrice des émissions de GES.

Même si les études ont pris en compte différents taux de rotation et matériaux, les gobelets réutilisables obtiennent en moyenne de meilleurs résultats que les gobelets jetables. En fin de compte, les études indiquent toutefois que l'impact environnemental dépend surtout de la manipulation lors de l'utilisation et, le cas échéant, de la gestion du pool, si elle existe. Les gobelets réutilisables ne sont avantageux qu'à partir d'un certain nombre de rotations (seuil de rentabilité). Pour les gobelets réutilisables en plastique (PP, PET et PLA), le seuil de rentabilité par rapport aux gobelets jetables en plastique ou en papier pour les équivalents $CO_2$ se situe entre 5 et 54 rotations, selon la comparaison des variantes. (Cottafava et al. 2021). Cela a également été confirmé par une étude allemande commandée par l'Office fédéral de l'environnement. (Kauertz et al., 2019). Cette étude a montré que les gobelets réutilisables en plastique présentent généralement des émissions de GES plus faibles lorsqu'ils sont utilisés dans des emballages en plastique :

- atteindre au moins un nombre de rotations supérieur à 10, ou mieux encore, un nombre de rotations supérieur à 25, grâce à une logistique de reprise adéquate ou à un comportement responsable du consommateur,

- ne pas être équipés de composants à usage unique, tels que des couvercles, et
- être nettoyé par un processus de rinçage à l'électricité verte.

Une autre étude a toutefois montré que la porcelaine et les gobelets en terre cuite, par exemple, s'en sortaient nettement moins bien que les gobelets jetables en plastique, et que les variantes réutilisables se montraient relativement insensibles aux changements de durée de vie et, par conséquent, de nombre de rotations réalisées. (Ligthart 2007).

### 6.3.2 Dépenses énergétiques cumulées

Le secteur de l'emballage est confronté au défi de trouver des processus et des solutions d'emballage économes en énergie. Les solutions qui devraient à terme permettre de réduire la consommation d'énergie par emballage concernent aussi bien les processus en amont liés à l'approvisionnement en matériaux, à la sélection des sources d'énergie, aux emballages légers et à la production à faible consommation d'énergie, que les processus en aval liés à l'utilisation et au recyclage écologiques et à faible consommation d'énergie en fin de vie. L'avancée de la transition énergétique et les engagements pris au niveau mondial pour la mise en œuvre d'une économie circulaire créent des potentiels pour le secteur de l'emballage, comme le passage à des sources d'énergie renouvelables et l'utilisation de systèmes d'emballage réutilisables, ainsi que le recyclage des emballages, ce qui peut entraîner des économies d'énergie.

Le KEA est un indicateur permettant d'évaluer des produits tout au long de leur cycle de vie ou des services et activités individuels. Il est utilisé comme catégorie d'impact liée aux intrants dans les écobilans, mais aussi comme valeur courante du bilan physique dans les bilans de matières et d'énergie. Il est converti en dépenses d'énergie primaire pour déterminer l'utilisation finale de l'énergie par l'efficacité de la conversion de l'énergie. (Klöpffer et Grahl 2009).

Malgré sa popularité, il n'existe pas encore d'approche harmonisée pour l'évaluation des produits à l'aide du KEA. Les normes ou les lignes directrices le définissent différemment (Frischknecht et al. 2015). Dans la présente étude, le KEA est défini comme la somme de toutes les dépenses en énergie primaire générées au cours du cycle de vie d'un système d'emballage. Cela comprend toutes les dépenses énergétiques dans les limites du système considéré, c'est-à-dire pour la fourniture de l'emballage, la distribution et l'utilisation jusqu'à l'élimination en fin de vie du système d'emballage (limite du système cradle-to-grave).

L'utilisation d'énergies renouvelables peut avoir des effets positifs sur d'autres catégories d'impact environnemental, comme les émissions de gaz à effet de serre, et donc sur la durabilité d'un emballage. Cependant, l'utilisation d'énergies renouvelables ne réduit pas fondamentalement la dépense énergétique cumulée (DEC), car celle-ci est la somme de tous les intrants d'énergie primaire. Cela signifie que même si l'on passe aux énergies renouvelables, le KEA reste constant. Contrairement aux émissions de GES, qui dépendent des équivalents $CO_2$ des sources d'énergie, le KEA peut être amélioré si l'on réduit l'apport en énergie

primaire. Alors que le passage aux énergies renouvelables a généralement des effets positifs sur les émissions de GES, le KEA est amélioré par la réduction des sources d'énergie primaire et s'adresse donc à une autre stratégie de durabilité et d'économie circulaire. C'est pourquoi le KEA est utilisé comme catégorie pour déterminer la performance écologique, en plus des émissions de GES.

**Critère d'évaluation/indicateur**

Pour une bonne comparabilité, le KEA de cette étude est rapporté à la même unité fonctionnelle que celle utilisée pour les émissions de GES, de sorte que les systèmes à usage unique et réutilisables soient aussi comparables que possible. Cela signifie que le KEA est indiqué par rotation d'un système d'emballage et par 1000 L de produit emballé. Le volume des plateaux de plantes se réfère au volume calculé de tous les pots de plantes qui peuvent être placés dans chaque plateau, étant donné que les plateaux étudiés ont des formes très différentes, que la plante elle-même n'est pas directement emballée et qu'elle dépasse du pot de plantes à des hauteurs différentes selon la variété. Dans la pratique, ce dernier point a des conséquences évidentes sur la quantité de produits transportés dans un volume standard (conteneur CC) et peut donc influencer les processus de distribution et les dépenses énergétiques.

Comme base de données, des études d'analyse du cycle de vie (ACV) des systèmes d'emballage correspondants ont été évaluées, qui indiquent ce paramètre d'ACV comme catégorie d'impact. Il convient de noter qu'il existe différentes méthodes d'évaluation de l'impact, qui prennent en compte différentes sources d'énergie et divisent parfois le KEA en d'autres catégories.

Dans ce rapport, l'énergie totale cumulée pour la production et l'utilisation des produits et services est utilisée comme critère d'évaluation global pour déterminer les dépenses énergétiques cumulées (KEA total). Dans certaines études, le KEA des sources d'énergie fossiles et renouvelables a également été indiqué séparément (KEAfossile et KEA renouvelable), par exemple dans Cottafava et al. (2021). Pour faciliter la comparaison, seules les études indiquant le KEA total ont été prises en compte ici. Il convient toutefois de noter que l'utilisation accrue des énergies renouvelables entraîne d'autres effets positifs sur l'environnement, tels que la réduction des émissions de GES par rapport aux sources d'énergie fossiles. La répartition des valeurs d'indicateurs dans une échelle correspondante (Tableau 16) a été effectuée de la même manière que pour les émissions de GES, sur la base des résultats obtenus pour l'ensemble des KEA des systèmes d'emballage de boissons à partir de (Kauertz et al. 2018).

Tableau 16: Évaluation de la dépense énergétique cumulée (DEC)

| Indicateur | -2 (mauvais) | -1 (plutôt mauvais) | 0 (neutre) | +1 (plutôt bon) | +2 (bon) |
|---|---|---|---|---|---|
| **KEA total [MJ par rotation et 1000 L de** | > 3670 | 3670 à < 3040 | 3040 à < 1450 | 1450 à < 1240 | ≤ 1240 |

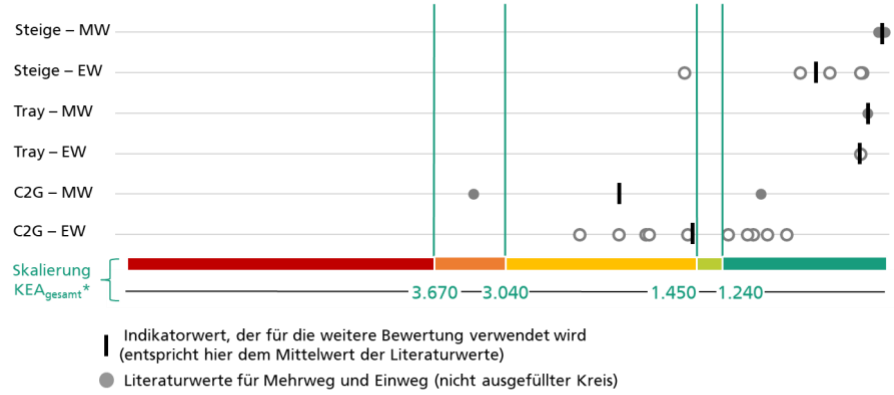
| Indicateur | -2 (mauvais) | -1 (plutôt mauvais) | 0 (neutre) | +1 (plutôt bon) | +2 (bon) |
|---|---|---|---|---|---|
| volume de remplissage] | | | | | |

**Détermination des valeurs pour les systèmes étudiés**

En comparaison avec les émissions de GES, beaucoup moins d'études présentent le KEA comme catégorie d'impact. Au total, cinq études ont été analysées pour les trois systèmes d'emballage, avec six variantes réutilisables et 17 variantes à usage unique. Par rapport aux émissions de GES, les résultats sont moins significatifs, car moins d'études ont pu être analysées. Les principaux moteurs des systèmes d'emballage jetables et réutilisables sont ici les mêmes que pour les émissions de GES. Alors que pour les systèmes réutilisables, l'ECE dépend surtout de la logistique de redistribution et des distances générales de transport, ainsi que, le cas échéant, du processus de nettoyage, pour les variantes à usage unique, elle est plutôt déterminée par la fabrication du produit et la mise à disposition des matériaux.

Le graphique suivant montre les résultats pour les systèmes réutilisables (RR) étudiés et les alternatives à usage unique (UU) correspondantes. Des indications sur la détermination des valeurs sont données dans le texte sous le graphique. Les tableaux présentant les données utilisées se trouvent au chapitre 9.4.14.

Figure 36: Comparaison des dépenses énergétiques cumulées des systèmes à usage unique et des systèmes réutilisables




* In MJ pro Umlauf und 1000 L verpacktes Volumen. Das Volumen der Pflanzentrays bezieht sich auf das errechnete Volumen aller Pflanzentöpfe, die in das jeweilige Tray passen, da die untersuchten Trays sehr unterschiedliche Formen haben, und die Pflanze selbst nicht direkt verpackt ist und i.d.R. aus dem Pflanzentopf ragt.

**Les cagettes pour fruits et légumes :** Au total, six cagettes à sens unique en bois et en carton ont été analysées, avec une médiane totale de 346,6 mégajoules par rotation et par 1000 litres de produit emballé ("bon", valeur indicatrice +2). En revanche, trois cagettes multi-usages ont été analysées, avec une valeur médiane de 85,6 mégajoules par rotation et 1000 litres de produit emballé ("bon", valeur indicatrice +2). Les trois valeurs relatives aux caisses multi-usages issues d'études différentes sont très proches les unes des autres, bien que le nombre de rotations

varie entre 50 et 150 et que le volume varie également entre 28,8 litres et 57,6 litres par caisse. L'étude avec le plus grand nombre de rotations d'un cageot plastique multidirectionnel de 150 présente le résultat le plus bas de 34,6 mégajoules par rotation et 1000 litres de produit emballé ("bon", valeur indicatrice +2). (López-Gálvez et al. 2021). Cette tendance concorde avec l'hypothèse selon laquelle le nombre de rotations est également décisif pour l'avantage des cagettes multi-usages en plastique dans cette catégorie d'impact. Les caisses jetables en bois et en carton ont une fourchette d'ACE comprise entre 209,4 et 1589,6 mégajoules par rotation et 1000 litres de produit emballé (valeurs d'indicateur de 0 à +2). Toutes les variantes à usage unique se situent donc au-dessus des résultats de l'ACE pour les caisses réutilisables en plastique. Bien que la demande énergétique totale ait été analysée ici, une étude indique par exemple que le rapport entre la demande d'énergie primaire renouvelable et non renouvelable est meilleur pour les cartons que pour les systèmes en plastique, ce qui signifie que le système de cartons analysé utilise déjà proportionnellement plus d'énergie renouvelable. (Albrecht et al. 2013). Si l'utilisation accrue d'énergie renouvelable a un effet positif sur la réduction des émissions de GES, elle n'a pas d'impact sur la demande d'énergie primaire cumulée ($KEA_{ges}$ ). Il est également indiqué que les caisses en carton récupèrent environ un tiers de l'énergie primaire totale en fin de vie, qui est créditée au système sur un cycle de vie. (Albrecht et al. 2013). Cela est principalement dû au pouvoir calorifique supérieur du carton par rapport au plastique. Le résultat global du KEA pour les pâtes en carton dépend donc fortement de la récupération d'énergie en fin de vie.

**Plateaux à plantes :** Pour la comparaison des bacs à plantes, une seule étude a pu être évaluée dans cette catégorie, avec une variante pour les bacs à usage unique et une autre pour les bacs réutilisables. Cette comparaison montre que les deux variantes obtiennent de "bons" résultats par rapport à l'unité de référence choisie ici (valeur indicatrice +2). Néanmoins, dans le cas présent, la variante réutilisable présente une meilleure valeur de 168,6 mégajoules par rotation et par 1000 litres de produit emballé. En comparaison, la variante à usage unique, avec 226,1 mégajoules par rotation et 1000 litres de produit emballé, est associée à des dépenses énergétiques supérieures d'environ 25% à celles du produit réutilisable.

**Gobelets Coffee to go :** bien que les valeurs inférieure et supérieure de l'ACE des gobelets Coffee to go des variantes réutilisables soient à peu près identiques à celles des gobelets jetables, les gobelets jetables obtiennent en moyenne un résultat légèrement meilleur. Les systèmes jetables et réutilisables sont ici tous deux évalués comme "neutres" (valeur d'indicateur 0). Pour la comparaison, le KEA de deux gobelets réutilisables et de dix gobelets jetables a été évalué. Comme pour les émissions de GES, les variantes de papier à usage unique étudiées sont les gobelets à simple et double paroi ainsi que les gobelets avec et sans couvercle. Les deux variantes réutilisables sont des gobelets en polypropylène (PP) d'une contenance de 180 millilitres avec et sans couvercle (les valeurs indicatrices -1 et +2 donnent en moyenne la valeur 0). Dans l'hypothèse de 50 rotations, le gobelet réutilisable en PP sans couvercle obtient de meilleurs résultats que huit des variantes à usage unique étudiées, avec 1000 mégajoules par rotation et 1000 litres de produit emballé. Seul le gobelet en papier à simple paroi sans couvercle de 200

et 300 millilitres est plus avantageux que le gobelet en plastique de 180 millilitres, avec respectivement 800 et 950 mégajoules par rotation et 1000 litres de produit emballé. Comme le montre la comparaison des pots jetables de 200 et 300 millilitres, le volume est un facteur décisif pour le résultat. Il convient de noter que le volume du gobelet en plastique est ici inférieur à celui des variantes jetables. Étant donné que les processus de nettoyage, avec leur consommation d'énergie, sont moins fréquents pour 1000 litres de volume de remplissage dans le cas de gobelets réutilisables plus grands, il est possible qu'un gobelet réutilisable plus grand obtienne de meilleurs résultats.

### 6.3.3 Rentabilité relative

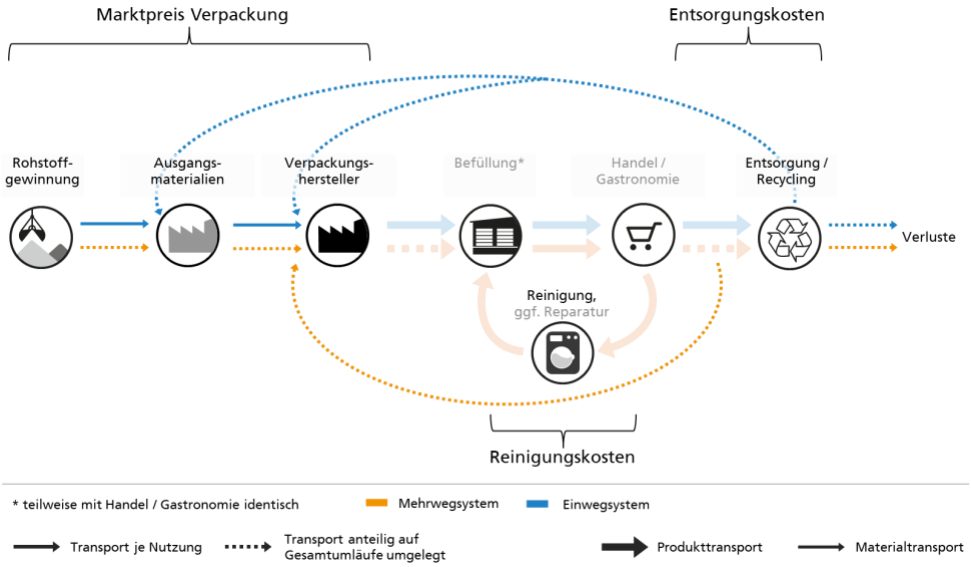
Les emballages génèrent des coûts directs lors de leur achat, de leur utilisation et de leur élimination ou recyclage en fin de vie. La structure des coûts des systèmes réutilisables et à usage unique est très différente. Dans le cas des systèmes à usage unique, ce sont surtout la fabrication et le recyclage ou l'élimination en fin de vie qui sont importants. Dans le cas des systèmes réutilisables, les coûts de fabrication sont répartis sur un grand nombre d'utilisations. Il en va de même pour le recyclage ou l'élimination des emballages. Dans le cas des systèmes réutilisables, il faut ajouter les coûts de nettoyage après chaque utilisation.

Comme il n'est pas possible de détailler la structure des coûts, des prix de marché approximatifs ont été calculés pour les systèmes d'emballage étudiés. Ensuite, pour les systèmes à usage unique, des suppléments pour le recyclage/l'élimination ont été estimés à partir des frais de licence habituels. Les coûts de nettoyage pertinents pour les systèmes réutilisables ont été déterminés à partir des données relatives aux installations industrielles de lavage à la bande. Les pertes dues au retrait et à la casse sont prises en compte par le nombre de rotations pour les systèmes réutilisables.

Les coûts de transport, de stockage et de traitement (par exemple, le pressage) sont particulièrement importants dans les coûts absolus d'un système d'emballage. Ils peuvent toutefois être très différents pour les systèmes à usage unique et les systèmes réutilisables, en fonction de l'application spécifique. Malgré leur pertinence, les coûts de transport ne sont donc pas pris en compte ici. Une analyse détaillée des coûts de transport des deux systèmes a toutefois déjà été effectuée dans la section 6.2.5 a été réalisée.

On trouve une représentation graphique des coûts pertinents en considérant la rentabilité relative des deux systèmes Illustration 37. Il convient de noter qu'il ne s'agit pas dans ce chapitre d'un calcul des coûts complets, ni d'une analyse de rentabilité absolue qui tienne compte des bénéfices réalisables, etc. Seule la comparaison des deux systèmes à l'aide de postes de coûts sélectionnés est au premier plan.

Illustration 37: Postes de coûts pris en compte dans la comparaison de la rentabilité relative (les étapes de processus et les charges de transport grisées ne sont pas prises en compte).




## Critère d'évaluation/indicateur

Afin de permettre la comparaison de différents systèmes d'emballage, les coûts par utilisation sont convertis en un litre de produit de remplissage[33] . Les données de l'Office fédéral allemand de l'environnement permettent d'estimer les coûts d'emballage des aliments et des boissons à environ 61 euros par personne et par an. Cela représente environ 1500 litres de boissons et de produits alimentaires. (Statista 2022 ; Agence fédérale de l'environnement 2020).[34] En supposant que les unités d'emballage ne sont utilisées qu'une seule fois, on obtient comme valeur de référence des coûts d'emballage spécifiques de 4,0 centimes par litre de produit et par utilisation. Les frais de participation n'ont pas été pris en compte. L'état actuel de la consommation d'emballages étant généralement considéré comme peu satisfaisant, cette valeur est fixée comme valeur limite entre plutôt faible et neutre. (Gouvernement fédéral allemand 2018). La cagette en carton, moyen d'emballage généralement considéré comme très efficace, est considérée comme neutre dans la classification choisie. Les autres fourchettes ont été choisies en fonction des valeurs obtenues pour les trois démonstrateurs (Tableau 17).

Tableau 17: Évaluation de la rentabilité

| Indicateur | -2 (mauvais) | -1 (plutôt mauvais) | 0 (neutre) | +1 (plutôt bon) | +2 (bon) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Coûts directs** [ct/(L x utilisation)] | > 16 | 16 à > 4 | 4 à > 2 | 2 à > 1 | ≤ 1 |

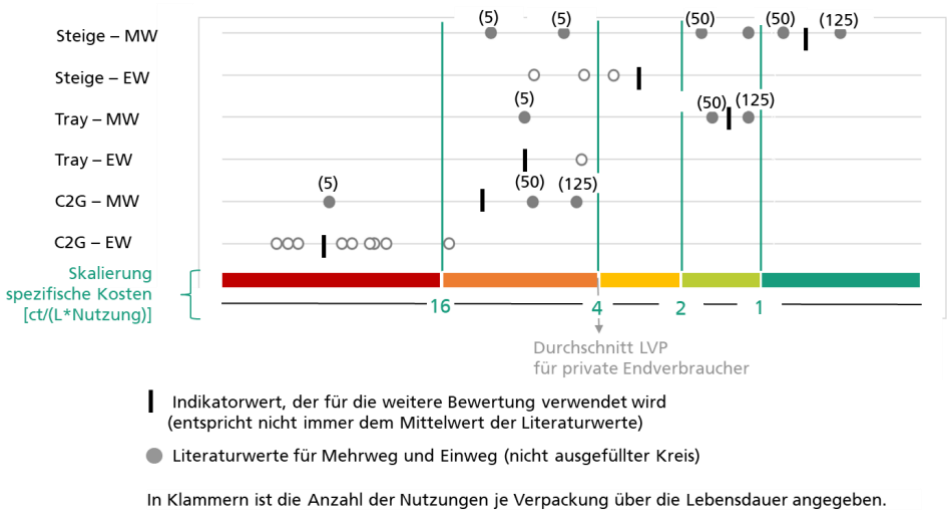
33 L'utilisation du volume du produit néglige le taux d'utilisation du volume. Celui-ci est particulièrement important pour les produits de grande taille (choux ou autres). Mais comme la comparaison entre les différents moyens d'emballage nous a semblé importante, nous avons tout de même opté pour le volume de remplissage, plus robuste, plutôt que pour la masse de remplissage.

34 La consommation totale d'emballages en Allemagne s'élève à 18,9 millions de tonnes/an, la part destinée aux consommateurs finaux privés est de 8,8 millions de tonnes/an, dont 62,3 % pour les aliments et les boissons, ce qui correspond à 5,5 millions de tonnes/an ; le chiffre d'affaires total de l'industrie de l'emballage en Allemagne est d'env. 17,5 milliards €, en supposant une proportionnalité entre la masse et les coûts, on obtient 5,1 milliards €/a ou 61 €/(cap a) pour le secteur des emballages alimentaires ; avec une consommation alimentaire de 719 kg/(cap a) correspondant à environ 1000 L(cap a) et une consommation de boissons de 530 L/(cap a), on obtient au total environ 1500 L/(cap a).

### Détermination des valeurs pour les systèmes étudiés

Le graphique suivant montre les résultats pour les systèmes réutilisables (RR) étudiés et les alternatives à usage unique (UU) correspondantes. Des indications sur la détermination des valeurs sont données dans le texte sous le graphique. Les tableaux présentant les données utilisées se trouvent au chapitre 9.4.15.

Illustration 38: Rentabilité relative des systèmes à usage unique et réutilisables (sans les dépenses de transport, voir texte)




Comme on pouvait s'y attendre, les coûts spécifiques des systèmes réutilisables dépendent nettement du nombre de rotations que l'on peut atteindre. D'une part, les coûts d'acquisition sont répartis sur le nombre total de rotations pendant la durée de vie, d'autre part, les coûts de nettoyage sont relativement faibles. Des valeurs de 5, 50 et 125 ont été retenues comme nombre total de rotations (correspondant respectivement à des taux de perte de 20 %, 2 % et 0,8 %). Dans toutes les applications étudiées, les systèmes réutilisables étaient déjà compétitifs à partir de 5 rotations et clairement avantagés à 50 rotations. Bien que les coûts aient été calculés en fonction du volume du produit, il est frappant de constater que les emballages plus grands présentent des coûts spécifiques plus faibles. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les coûts des matériaux et des machines augmentent de manière disproportionnée par rapport aux coûts du travail lorsque les unités d'emballage diminuent. Si l'on compare avec la valeur de référence déterminée ci-dessus, on constate que dans les systèmes étudiés, ce sont surtout les systèmes réutilisables efficaces avec un nombre de rotations élevé qui permettent de réaliser des économies de coûts par rapport aux coûts d'emballage spécifiques moyens des emballages destinés au consommateur final.

**Les caisses multi-usages** sont bien établies pour la viande, le pain et les produits de boulangerie ainsi que les fruits et légumes. En 2015 déjà, on estimait qu'environ 1,5 milliard de cagettes étaient utilisées pour ces trois domaines d'application rien qu'en Europe. Ce chiffre devrait avoir encore augmenté depuis, de sorte qu'il ne faut pas s'attendre à de nouvelles économies potentielles au niveau des prix. Le

coût des boîtes simples est inférieur à 3 euros par pièce. Les cagettes pliables multidirectionnelles se situent dans une fourchette de 5 à 8 euros l'unité. Pour le nettoyage, les installations de lavage à la chaîne se sont établies, du moins dans les piscines ouvertes ou fermées de grande taille, et peuvent nettoyer jusqu'à plusieurs milliers de caisses par heure. (Heim - EDT GmbH 2022). A partir d'un nombre de rotations de 50, les plateaux réutilisables atteignent une valeur indicative de +2 pour les coûts pris en compte ici.

**Les échelles unidirectionnelles** sont généralement utilisées sous forme de cartons. Elles sont disponibles à des prix inférieurs à 1 euro. Les cartons doivent être collectés séparément. Selon qu'ils sont remis en vrac ou compactés (par exemple par une presse à balles), les coûts d'élimination peuvent également générer des recettes. Dans le cadre de cette étude, nous avons supposé que la remise des cartons pouvait être gratuite. Pour les cartons à usage unique, les coûts peuvent être inférieurs à 3 centimes d'euro par litre de matériau de remplissage et d'utilisation (valeur d'indicateur 0).

**Les plateaux réutilisables** ne sont pour l'instant qu'une solution de niche, même si différents acteurs du marché s'efforcent actuellement d'introduire un système à grande échelle. Les premiers échantillons de conception et de fonctionnement sont déjà disponibles, de sorte que les coûts peuvent être estimés à environ 2,00 euros/(L x utilisation) par pièce. Il est probable que les plateaux réutilisables soient fabriqués en PEHD ou en PP. Le nettoyage se ferait de la même manière que pour les plateaux réutilisables, dans des installations de lavage à la chaîne, des installations plus petites ou une capacité plus importante étant possibles. Avec 50 rotations, on obtiendrait une valeur d'indicateur de +1.

Jusqu'à présent, ce sont surtout les systèmes à usage unique qui se sont établis dans le domaine des plateaux à plantes. Environ 150 millions sont utilisés chaque année rien qu'en Allemagne (cf. section "Utilisation"). 7.2). Les **plateaux à usage unique** sont pour la plupart en polystyrène et coûtent environ 25 centimes d'euro l'unité. Les coûts d'élimination ont été calculés sur la base des frais de licence typiques pour les emballages en polystyrène, même si, à strictement parler, ils ne sont pertinents pour les emballages B2B que si les barquettes sont remises au consommateur final. Les fabricants de barquettes indiquent un certain pourcentage de recyclage de barquettes à barquettes (Normpack environ 50 %). On ne sait pas exactement à quoi ressemblent les filières de recyclage et si elles permettent de réaliser des économies. On peut toutefois supposer que le prix mentionné ci-dessus tient compte de la part de recyclat . Pour les plateaux à usage unique, la somme des coûts considérés ici s'élève à plus de 4 centimes d'euro par litre de volume de motte de plantes (valeur indicatrice -1).

Le coût des **gobelets réutilisables Coffee to go** en PP, qui s'établissent actuellement, est d'environ 55 centimes d'euro par pièce. En supposant que le nettoyage soit effectué de manière analogue aux emballages B2B dans une installation de lavage à la chaîne industrielle, on obtient un coût inférieur à 1 centime par nettoyage. Un calcul pour un lave-vaisselle domestique, en négligeant les coûts de main-d'œuvre, donnerait même des valeurs nettement inférieures. Il n'est guère possible de répondre de manière générale à la question de savoir si et

dans quelles conditions des coûts de travail supplémentaires sont générés dans le domaine de la restauration lors de l'introduction de systèmes réutilisables ; cela dépend clairement de la situation spécifique. Il n'est pas encore certain qu'il soit possible de réaliser dans la pratique des taux de rotation aussi élevés pour les gobelets réutilisables que pour les systèmes B2B. Comme les systèmes sont encore en cours de développement, on ne sait que peu de choses sur le nombre de rotations réalisables et il n'existe pas non plus de données fiables sur le nettoyage. Une valeur d'indicateur de -1 semble réaliste.

Pour les **gobelets jetables de Coffee to Go**, les coûts sont typiquement compris entre 3 et 19 centimes d'euro par pièce. Outre la taille des gobelets, les aspects de performance tels que la double paroi ou les structures de surface jouent un rôle. Les frais de licence sont de 2 % pour les gobelets à base de papier et de 10 à 15 % pour les gobelets à base de plastique. Si l'on compare les gobelets réutilisables à des gobelets jetables plus performants, une valeur d'indicateur de -2 semble justifiée.

### 6.3.4 Souveraineté technologique

La souveraineté technologique peut être pensée aussi bien au niveau des compétences disponibles qu'au niveau de l'économie (production et distribution). (BMWi 2019 ; BMBF 2021). Elle s'adresse à la capacité de créer de la valeur localement en réduisant la dépendance vis-à-vis de tiers et les influences négatives de phénomènes externes (pandémies, catastrophes naturelles, etc.). La souveraineté technologique est souvent discutée au niveau national ou régional et s'adresse aux technologies clés et aux infrastructures critiques. Les débats typiques concernent par exemple l'extension de la norme 5G. (Hegemann 2020)l'accès aux données dans les médias sociaux (Welchering 2021) ou la fabrication de semi-conducteurs et de puces électroniques. (Leitner 2020). Le concept de souveraineté numérique s'est également établi à cet égard. Mais la souveraineté technologique a également fait l'objet d'une attention nouvelle dans le cadre de la pandémie Corona. Citons par exemple le manque de disponibilité des équipements de protection individuelle (masques respiratoires, désinfectants, etc.) (Biermann et al. 2020) et aussi la pénurie de produits simples mais non négligeables comme le papier toilette (Weyh 2020). Dans ce contexte, la pénurie à court terme est moins due à une véritable pénurie de ressources, qui entraîne une hausse lente mais constante des prix du marché et laisse généralement suffisamment de temps pour trouver des alternatives, qu'elle ne repose sur une dynamique élevée dans des chaînes d'approvisionnement complexes ainsi que sur le comportement difficilement prévisible des consommateurs et des acteurs du marché. Ainsi, il n'est pas rare que l'évolution de la demande soit liée à la dynamique des thèmes abordés dans les médias sociaux, qui peuvent provoquer des hausses ou des baisses fulgurantes. Par ailleurs, au cours des dernières décennies, la production allégée (lean-production) a permis de réduire les stocks et de passer à la livraison juste à temps. Il est donc difficile de réagir aux fluctuations de la demande et la stabilité du système diminue.

Depuis le début de l'année 2021, l'industrie européenne souffre d'une pénurie drastique de matières premières et de hausses de prix significatives, y compris pour

les matériaux de masse. (Deutsche Welle 2021). L'industrie du plastique manque de polymères de base, d'additifs et même de matériaux de renforcement. Les stocks de nombreuses entreprises sont épuisés et la situation est décrite par certains comme menaçant l'existence même de l'entreprise. L'une des causes de cette évolution est un besoin de rattrapage après la pandémie de Corona. Parallèlement, il y a des retards dans la remise en service et la remise en état des installations ainsi qu'un manque de personnel, qui se trouve par exemple en quarantaine. Cette situation existe à l'échelle mondiale, mais sa sévérité est très variable. En outre, il existe des goulets d'étranglement (bottle necks) dans le domaine du transport pour de nombreuses marchandises. Ainsi, il n'y a pas assez de conteneurs maritimes disponibles, ce qui s'explique actuellement par le manque de capacités de chargement et de distribution dans de nombreux ports maritimes et toujours en raison du blocage du canal de Suez par le porte-conteneurs "Ever Given".

**Critère d'évaluation/indicateur : indépendance vis-à-vis des importations**

Un système technique est d'autant plus souverain qu'il ne nécessite pas l'apport de matières premières et de produits intermédiaires de l'extérieur pour fonctionner. Il est utile de définir à partir de quand quelque chose est considéré comme "externe". Habituellement, il s'agit de la frontière nationale, car la garantie de la souveraineté technologique est en fin de compte aussi une tâche de l'Etat. (BMWi 2019).

L'indépendance vis-à-vis des importations peut donc être utilisée comme critère d'évaluation de la souveraineté technologique d'un système d'emballage. Pour ce faire, nous développons tout d'abord la dépendance aux importations en tant que grandeur. Pour les systèmes à usage unique, nous entendons par là la quantité d'emballages importés, rapportée à la quantité produite, moins les emballages exportés (vides ou remplis) :

$$Importabhängigkeit_{EW} = \frac{Import}{Produktion - Export}$$

Dans la mesure où les systèmes à usage unique utilisent des matériaux recyclés provenant d'emballages propres collectés séparément, cela réduit la dépendance aux importations. Cependant, comme les matières recyclées sont également soumises à un commerce mondial, elles ne sont prises en compte que dans le cas d'un circuit fermé.

$$ImportabhängigkeitEW = \frac{Import}{(Produktion - Export)} \times (1 - Rezyklatanteil)$$

Dans le cas des systèmes réutilisables, la dépendance vis-à-vis des importations se réduit à la part importée nécessaire pour compenser les pertes en circuit par

rapport à la quantité utilisée. Il ne s'agit pas de compenser toutes les pertes d'emballages par des matériaux neufs, mais uniquement la part de perte par laquelle les emballages et leurs matériaux quittent le circuit. Pour les emballages qui sortent du circuit par élimination, on peut en revanche partir du principe que le matériau est recyclé, de sorte qu'il n'est pas nécessaire de le remplacer par du matériau neuf. Pour l'indépendance vis-à-vis des importations, la valeur utilisée est identique à celle des systèmes à usage unique de même matériau :

$$Importabhängigkeit\ MW = Importabhängigkeit_{EW} \times Verlustquote$$

En règle générale, les importations s'accompagnent d'exportations qui, en cas d'absence d'importations, pourraient être réorientées afin de couvrir les besoins nationaux. Dans une économie de marché non dirigée par l'État et en supposant que les entreprises respectent les contrats, une adaptation rapide en cas de crise ne devrait toutefois pas être réaliste ni possible sans provoquer de grands bouleversements politiques.

Une forte indépendance vis-à-vis des importations est considérée comme souhaitable, elle résulte de la dépendance vis-à-vis des importations :

$$Import\boldsymbol{un}abhängigkeit = 100\ \% - Importabhängigkeit$$

Cette estimation, qui a lieu au niveau des emballages eux-mêmes, est très simplifiée. Elle néglige notamment le fait que même si les besoins en emballages pouvaient être entièrement couverts par une production nationale sans importations, le cas échéant au moyen d'importations en amont, il en résulterait une souveraineté technologique réduite. Une analyse complète de la chaîne en amont ne peut toutefois pas être réalisée dans le cadre de cette étude succincte. On peut raisonnablement supposer que là où de nombreux emballages sont importés, de nombreux produits en amont le sont également, et inversement, de sorte que l'indicateur proposé devrait être en grande partie fiable.

Pour les emballages plastiques, on obtient, sur la base des données de GVM (élèves 2020):

$$Import\boldsymbol{un}abhängigkeit_{EW,Kunststoff,2018} = 100\ \% - \frac{1596\ \frac{t}{a}}{\left(4461\frac{t}{a} - 1678{,}1\ \frac{t}{a}\right)} = 43\ \%$$

L'indépendance est nettement plus favorable pour les emballages en papier, carton (PPK) :

$$Import\boldsymbol{un}abhängigkeit_{EW,PPK,2018} = 100\ \% - \frac{1093\ \frac{t}{a}}{\left(9063\frac{t}{a} - 2185\ \frac{t}{a}\right)} = 84\ \%$$

Les données du MGM tiennent également compte des matériaux utilisés dans les systèmes réutilisables. On suppose toutefois que ceux-ci sont plutôt négligeables par rapport à la consommation totale et qu'une prise en compte explicite augmenterait plutôt la dépendance des systèmes à usage unique vis-à-vis des

importations. La dépendance des systèmes à usage unique vis-à-vis des importations est évaluée de manière plutôt conservatrice par la procédure décrite.

En tenant compte des valeurs pour le PPK et le plastique, la proposition d'échelle ordinale pour l'indépendance vis-à-vis des importations (Tableau 18). L'évaluation "neutre" se base sur la valeur déjà assez bonne du PPK. L'évaluation "mauvaise" se base sur la valeur pour le plastique.

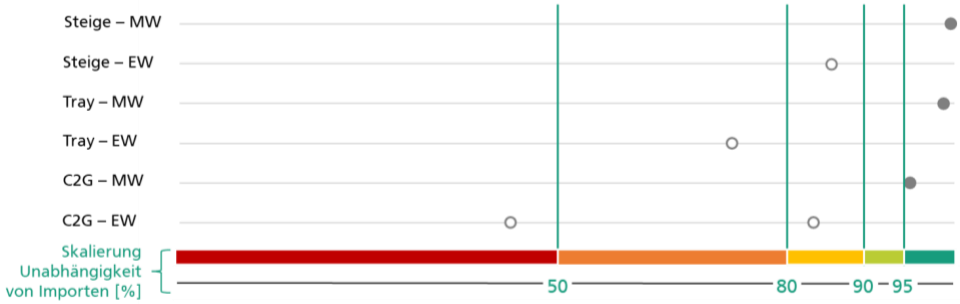
Tableau 18: Évaluation de l'indépendance vis-à-vis des importations

| Indicateur | -2 (mauvais) | -1 (plutôt mauvais) | 0 (neutre) | +1 (plutôt bon) | +2 (bon) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Indépendance vis-à-vis des importations** | < 50 % | 50 à < 80 % | 80 à < 90 % | de 90 à < 95 %. | ≥ 95% |

### Détermination des valeurs pour les systèmes étudiés

Le graphique suivant montre les résultats pour les systèmes réutilisables (RR) étudiés et les alternatives à usage unique (UU) correspondantes. Des indications sur la détermination des valeurs sont données dans le texte sous le graphique. Les tableaux présentant les données utilisées se trouvent au chapitre 9.4.16.

Figure 39Souveraineté technologique, représentée par l'indépendance vis-à-vis des importations




**Les cagettes réutilisables** pour les fruits et légumes présentent des taux de perte de 0,8 pour cent dans les systèmes établis (Muske 2021). Ils atteignent ainsi une indépendance presque totale vis-à-vis des importations :

$$Import\boldsymbol{un}abhängigkeit_{Mehrwegsteige,2018} = 100\,\% - \frac{1596\,\frac{t}{a}}{\left(4461\,\frac{t}{a} - 1678{,}1\,\frac{t}{a}\right)} \times 0{,}8\,\% = 99{,}5\,\%$$

Etant donné que les cagettes multidirectionnelles peuvent encore être fabriquées en grande partie à partir de recyclats d'anciennes cagettes, l'estimation est conservatrice. Il en résulte une valeur indicatrice de +2.

Pour les **cartons à usage unique** utilisés comme emballages de transport, les valeurs pour le PPK sont adoptées. En règle générale, il n'y a pas de revêtement.

Aucune information n'est disponible sur les systèmes en circuit fermé. La situation connue chez un discounter a révélé que même en cas de grandes quantités, des entreprises locales d'élimination des déchets sont mandatées, de sorte que des circuits de matériaux étroits sont plutôt improbables :

$$Import\boldsymbol{un}abhängigkeit_{Einwegkartonsteige,2018} = 84\ \%$$

Il en résulte une valeur indicatrice de 0.

Aucune donnée n'est encore disponible pour les **plateaux de plantes réutilisables**. Les taux de perte devraient être à peu près les mêmes que pour les plateaux réutilisables. Dans la mesure où les plateaux de plantes sont également utilisés dans le secteur B2C, le taux de perte pourrait augmenter. Le taux de perte maximal qui semble réaliste est de 2,5 pour cent (valeur indicatrice : +2) :

$$Import\boldsymbol{un}abhängigkeit_{Mehrwegtray,2018} = 100\ \% - \frac{1596\ \frac{t}{a}}{\left(4461\frac{t}{a} - 1678{,}1\ \frac{t}{a}\right)} \times 2{,}5\ \% = 98{,}6\ \%$$

**Les plateaux de plantes jetables** sont en partie recyclés directement dans la même application suite à une collecte séparée. Cela les rend moins dépendants des importations. On suppose un taux de réutilisation de 50 % pour les matières recyclées. Il en résulte une valeur indicatrice de -1 :

$$Import\boldsymbol{un}abhängigkeit_{Einwegtray,2018} = 100\ \% - \frac{1596\ \frac{t}{a}}{\left(4461\frac{t}{a} - 1678{,}1\ \frac{t}{a}\right)} \times 50\ \% = 71{,}3\ \%$$

Pour les **gobelets réutilisables de Coffee to go, les** premières études montrent un taux de perte encore assez élevé de 10 % (Pachaly 2021). On peut supposer qu'il s'agit ici des effets de l'augmentation des stocks ainsi que des utilisations à des fins privées

$$Import\boldsymbol{un}abhängigkeit_{Mehrwegbecher,2018} = 100\ \% - \frac{1596\ \frac{t}{a}}{\left(4461\frac{t}{a} - 1678{,}1\ \frac{t}{a}\right)} \times 10\ \% = 94{,}3\ \%$$

Bien que la dépendance à l'égard des importations soit plus faible pour le papier que pour le plastique et que le taux d'attrition des gobelets réutilisables soit encore comparativement élevé (en raison de l'utilisation par des tiers, du manque de notoriété et de la diffusion, etc.), le système réutilisable atteint déjà, à ce stade précoce de développement, un degré élevé d'indépendance à l'égard des importations (valeur d'indicateur +1).

Pour les **gobelets jetables Coffee-to-go**, il n'existe pas de données spécifiques à certains fabricants, c'est pourquoi la dépendance aux importations pour les emballages en PPK est appliquée à toutes les applications. Si l'on tient compte de la part de plastique pour le revêtement du gobelet, soit 5,5 pour cent (4 à 7 pour cent selon (Kauertz et al. 2019) séparément, on obtient pour l'indépendance vis-à-vis des importations

$$Import\boldsymbol{un}abhängigkeit_{Einwegbecher,2018} = 100\,\% - \frac{94{,}5\,\% \times 1596\,\frac{t}{a}}{\left(4461\frac{t}{a} - 1678{,}1\,\frac{t}{a}\right)} - \frac{5{,}5\,\% \times 1093\,\frac{t}{a}}{\left(9063\frac{t}{a} - 2185\,\frac{t}{a}\right)} = 81{,}8\,\%$$

Il en résulte une valeur d'indicateur de 0. Comme les gobelets jetables ne sont pas gérés en circuit fermé, le recyclage n'est pas pris en compte. Au contraire, on peut s'attendre à ce qu'une grande partie du matériau soit incinérée avec les déchets résiduels.

Pour les gobelets jetables en PS (gobelets de distributeurs automatiques), l'évaluation est nettement moins bonne (valeur d'indicateur -2) :

$$Import\boldsymbol{un}abhängigkeit_{Automatenbecher,2018} = 100\,\% - \frac{1093\,\frac{t}{a}}{\left(9063\frac{t}{a} - 2185\,\frac{t}{a}\right)} = 42{,}7\,\%$$

L'analyse précédente de la souveraineté technologique basée sur l'indépendance des importations des différents matériaux d'emballage ne peut être qu'une première approche de l'utilisation de cette catégorie d'évaluation. A l'avenir, il conviendra de développer ce critère de manière à ce qu'il puisse également représenter des chaînes amont complexes et des matériaux spécifiques. Au vu des expériences de pénuries en 2020 et 2021, cela semble toutefois valoir la peine.

# 7 Résultats pour les systèmes réutilisables étudiés

## 7.1 Monter (conteneurs, caisses O+G)

### 7.1.1 Description de l'application

Pour la chaîne de livraison de produits frais, en particulier en vrac mais aussi emballés, dans les segments alimentaires des fruits et légumes, de la viande et des produits de boulangerie, on utilise des caisses plates, appelées cagettes (également appelées "échelles"), traditionnellement en bois, en carton et, depuis le début des années 1990, en plastique. Les caisses sont classées dans la catégorie des petits supports de charge (KLT). Les caisses sont remplies chez le producteur, généralement empilées sur des palettes, si nécessaire sécurisées séparément pour le transport (par exemple avec une protection des bords, un film d'emballage ou des bandes transporteuses) et transportées vers le commerce de détail via les différents niveaux commerciaux. En outre, si nécessaire, le traitement a lieu dans des mûrisseries avant que la marchandise ne soit livrée au commerce de détail.

### 7.1.2 Statut des solutions à usage unique et réutilisables

Les cartons sont la **solution à usage unique** la plus courante. En général, le secteur des fruits et légumes utilise des cartons en carton compact standard et en carton

ondulé, ce dernier étant prédominant sur le marché et souvent à double cannelure. Les solutions jetables en bois sont généralement fabriquées à partir de bois déroulé ou scié, de bois aggloméré et de planchers en fibres dures. Ces deux variantes sont généralement fabriquées dans le pays de remplissage et transportées vers les producteurs locaux de fruits et légumes. Une fois remplis, ils sont transportés vers des centres de distribution, d'où ils sont finalement acheminés vers les détaillants ou les points de consommation. Une fois leur objectif atteint, ils sont généralement jetés sur place. Dans certains cas, les emballages jetables sont remis au client final en même temps que les denrées alimentaires vendues, qui les élimine alors par le biais de la collecte des déchets à proximité des ménages.

En ce qui concerne les boîtes en carton et les caisses en bois utilisées pour les fruits et légumes et autres produits alimentaires, il existe une grande variété de dimensions et de volumes de remplissage ainsi que de variantes.

Au début des années 1990, des **cagettes multidirectionnelles** en plastique de quatre tailles ont été mises sur le marché. (Euro Pool System 2021a)qui ont contribué à la standardisation de la distribution des fruits et légumes au sein d'un pool européen. Les développements ultérieurs de ces cagettes MW comprenaient d'une part des dimensions supplémentaires, celles-ci tenant généralement compte des dimensions des euro-palettes. D'autre part, outre les plateaux rigides, des variantes rabattables ont été lancées sur le marché, permettant une nette réduction du volume (67 à 87 pour cent) lors de la gestion des emballages. (Euro Pool System 2021c) , pendant la manutention des emballages vides. De plus, les plateaux MW sont aujourd'hui équipés de marquages de code, ce qui a permis de simplifier l'automatisation des processus ainsi que le suivi et la traçabilité des unités de transport. Aujourd'hui, ce sont surtout des modèles de location qui sont utilisés, par exemple une location journalière qui ne prend fin que lorsque la cage est rendue. (Hofmeister et al. 2021). Dans ce cas, l'entreprise elle-même n'est pas propriétaire (pool fermé). L'avantage du système de location est qu'il sert également de système d'incitation pour le retour. Dans le cas d'un pool ouvert, les entreprises pourraient également apporter leur propre stock et ne paieraient pas de loyer pour la caisse elle-même, mais uniquement par utilisation pour le service de nettoyage et de logistique. (Hofmeister et al. 2021).

Les chariots réutilisables vides sont collectés dans le commerce de détail, puis récupérés par l'exploitant du pool (parfois par un prestataire logistique sous-traitant) et transportés vers des centres de lavage et d'hygiène. Ils y sont lavés et désinfectés. Parallèlement, un contrôle de qualité est effectué de manière automatisée et/ou par contrôle visuel. Les cagettes nettoyées/désinfectées sont ensuite livrées aux producteurs en fonction de leurs besoins pour le prochain remplissage.

Si des cagettes défectueuses ont été identifiées lors du contrôle qualité, elles sont - selon la solution de réutilisation et l'exploitant du pool - réparées ou mises au rebut et éliminées, le plus souvent en étant envoyées au recyclage.

Le stock de cagettes de fruits et légumes réutilisables a considérablement augmenté ces dernières années : alors qu'en 2006, environ 200 millions de cagettes étaient en circulation en Europe, en 2017, le stock s'élevait déjà à 600 millions de cagettes. (Behrens et al. 2018). L'étude EKUPAC de 2018 fait état de 8 rotations par an pour les pâtes de fruits et légumes. Les données de référence pertinentes des principaux acteurs des cagettes à usages multiples sont présentées dans Tableau 19 dans les pages suivantes.

Tableau 19: Données de référence Acteurs : Plates-formes pliantes multidirectionnelles

| | **Système Euro Pool (EPS)** | **IFCO** | **WBG Pooling** |
|---|---|---|---|
| Mouvements ascendants | 1,3 milliard/an (Europe)<br>(Euro Pool System 2021a) | 1,2 milliard/an (Europe)<br>(Muske 2021) | n.d. |
| Matériau | HDPE | PP | PP |
| Couleurs (segment O/G) | vert, bleu, noir | noir, vert | bleu clair |
| Poids [g] | 550-2070<br>(Système Euro Pool 2021c) | 840-2000<br>(IFCO 2021) | 1430-1980 (WBG-Pooling 2021a, 2021b) |
| Volume de remplissage [L] | 9,25 à 47,14 | | 22 à 45 |
| Poids de remplissage [kg] | 5 à 20 | 5 à 20 | 20 |
| Dimensions de la surface [mm] | 400 x 300<br>600 x 400 | 400 x 300<br>600 x 400 | 600 x 400 |
| Codes | Code-barres 2D,<br>code-barres linéaire | Code GRAI | Code GRAI,<br>étiquette RFID |

### 7.1.3 Circularité, performance et Durabilité

Dans le chapitre 6 de cette étude, différentes catégories, y compris des indicateurs, sont considérées pour l'évaluation des systèmes d'emballage. Les indicateurs sont calculés pour différents systèmes d'emballage, représentés graphiquement et comparés pour toutes les applications. Les aspects les plus importants concernant les cagettes multi-usages sont récapitulés ci-dessous. Figure 40L'article "Les emballages réutilisables et les emballages à usage unique", qui se trouve à la fin de cette section, présente un profil global comparatif des emballages réutilisables et des emballages à usage unique sur la base des catégories étudiées.

**Circularité**

Le **nombre de rotations** de trottoirs roulants est actuellement déjà très élevé. Les chiffres les plus souvent cités dans la littérature ou lors des interviews se situent entre 100 et 150. Les expériences de ces dernières années laissent cependant penser qu'un nombre de rotations de 100 maximum est plus réaliste. Par définition, les systèmes à usage unique ont un nombre de rotations de 1.

Les caisses multidirectionnelles en plastique atteignent une **efficacité matérielle** élevée même avec un faible nombre de rotations. Pour un nombre de rotations de l'ordre de 100, les caisses en carton à usage unique sont loin derrière. Même en comparaison avec des systèmes d'emballage destinés à d'autres domaines d'application, il est possible d'atteindre une intensité matérielle particulièrement faible des caisses multi-usages, inférieure à un gramme de masse d'emballage par utilisation et par litre de produit.

Le **taux de retour** des matériaux des caisses réutilisables atteint plus de 99%. En comparaison, le taux de retour des emballages à usage unique collectés par les systèmes duaux, les solutions sectorielles et les systèmes de consigne à usage unique - si l'on ne tient pas compte des flux de matériaux valorisés énergétiquement qui ne sont pas disponibles pour la valorisation matière au sein d'une économie circulaire - n'atteint que 76 pour cent. En d'autres termes, les systèmes réutilisables constituent une très bonne base de départ pour l'économie circulaire, ne serait-ce que parce qu'ils garantissent le recyclage des matériaux et que les pertes de matériaux sont quasiment inexistantes.

Dans le cas des cagettes à fruits et légumes pliables, la **réparabilité** des pièces mobiles est tout à fait possible dans le segment des produits réutilisables, mais elle est appliquée différemment dans les différentes piscines. Dans cette étude, la réparabilité est donc globalement jugée bonne. En revanche, la réparabilité des cagettes jetables n'est ni prévue ni pratiquée en tant qu'emballage à usage unique.

La **recyclabilité** des cagettes multi-usages est en principe très bonne. Elles sont généralement composées d'un monomatériau (PP ou PEHD) qui n'est que peu chargé et peut être très bien recyclé mécaniquement. Toutes les étapes du recyclage de ces matériaux font partie de l'état de la technique, ce qui signifie que la recyclabilité pratique en Allemagne peut être considérée comme très bonne.

Les données relatives au **taux de recyclage** des caisses à claire-voie dans la littérature et lors de l'entretien avec les experts présentent une grande diversité. Contrairement à l'utilisation de matériaux recyclés, les valeurs de l'extrémité supérieure prédominent ici. En moyenne, on peut partir d'un taux de recyclage de 80%. Les pâtes qui circulent dans un système de pool et qui y sont triées atteignent presque 100 pour cent. Dans les études bibliographiques, les différences par rapport à cette valeur sont généralement dues à des hypothèses sur l'élimination des cagettes endommagées lors de l'utilisation. Moins il y en a, plus le taux de recyclage est proche de 100 %.

On trouve également de nombreuses indications différentes concernant la **part de matériau recyclé** dans les plateaux multidirectionnels. Il est fait état d'une utilisation de 70 % de matériaux recyclés. Mais il est aussi souvent indiqué que seuls des produits neufs sont utilisés. La raison invoquée est l'autorisation nécessaire des produits pour le contact avec les denrées alimentaires.

Les plateformes multidirectionnelles ont un très faible potentiel d'**émission de plastique**. La consigne ou la location assurent le retour, il n'y a pas de pièces détachées. Le littering, en particulier, devrait être nettement plus fréquent avec les

caisses en carton à usage unique. Dans la mesure où des revêtements, des colles, etc. sont également utilisés pour les cartons, ils sont également liés à des émissions de plastique. Les contraintes mécaniques et l'abrasion se produisent surtout à l'intérieur des locaux pour toutes les caisses, de sorte que les quantités libérées devraient être retenues par des mesures de nettoyage.

**Performance**

La **modularité** existe déjà aujourd'hui pour les passerelles à plusieurs voies. Les dimensions de surface de 600 mm x 400 mm, rapportées à la taille des euro-palettes, ou des sous-dimensions de celles-ci, sont utilisées par plusieurs exploitants de piscines. Dans l'ensemble, la modularité est très bien évaluée pour les caisses réutilisables. Sur le marché des caisses de transport à usage unique, des dimensions de surface uniformes se sont également développées au fil du temps. Cependant, il existe également de nombreuses solutions individuelles pour les caisses mobiles, dont la modularité a été évaluée de manière neutre.

La **possibilité de réduire le volume** est donnée par la possibilité de plier/replier les cageots à plusieurs voies. La valeur de l'indicateur est influencée de manière déterminante par la hauteur du cageot, c'est-à-dire s'il s'agit par exemple d'un cageot plutôt plat (p. ex. pour les baies) ou d'un cageot haut (p. ex. pour les melons, les bananes).

Les plateaux multidirectionnels offrent une très bonne **protection du produit** avec un faible taux de rupture pendant les processus de chargement complet, qui peut toutefois être influencé négativement par des facteurs externes (par exemple, le cas échéant, une sécurisation insuffisante de l'unité de chargement). Une meilleure intégration des processus permettrait d'exploiter le potentiel existant. Sur le plan qualitatif, les taux de rupture des solutions réutilisables sont considérés comme inférieurs à ceux des solutions à usage unique. Il a par exemple été mentionné que les parois rigides des cagettes MW permettent un meilleur empilement et offrent une meilleure protection en cas de choc. Pour la présente étude, les valeurs des indicateurs sont attribuées de manière neutre pour les trottoirs réutilisables et de manière mauvaise pour les trottoirs jetables.

Aujourd'hui déjà, les passerelles à plusieurs voies sont souvent identifiées par le code GRAI au niveau de chaque box. On utilise aussi bien des codes optiques que la technologie radio. En raison de la circulation non destructive et des coûts supplémentaires de moins de cinq pour cent par utilisation pour les capteurs RFID, par exemple, les passerelles **peuvent** très bien **être numérisées**. Il existe également un potentiel pour des capteurs supplémentaires. Lorsque les systèmes d'emballage sont utilisés plusieurs fois pour la même application, la numérisation offre également un potentiel d'optimisation des processus.

L'examen séparé de la **distance de transport** met en évidence le fait que la performance des caisses réutilisables à cet égard, par rapport aux solutions à usage unique, est particulièrement influencée par le produit à transporter. Les distances en amont et en aval de l'utilisation sont négligeables par rapport à la zone d'utilisation pour les plateformes MW, de sorte que les solutions MW sont

avantageuses par rapport aux solutions à usage unique pour les zones d'utilisation où la distance de production et de consommation du produit (c'est-à-dire la distance de redistribution) est inférieure à 500 km.

**Durabilité**

Les **émissions de gaz à effet de serre** des trottoirs multidirectionnels sont inférieures à celles des trottoirs unidirectionnels. Le principal facteur d'influence est le nombre de rotations, bien que les structures de distribution décentralisées ainsi que les réductions de poids et d'autres catégories de performance favorisent également l'avantage des trottoirs multidirectionnels.

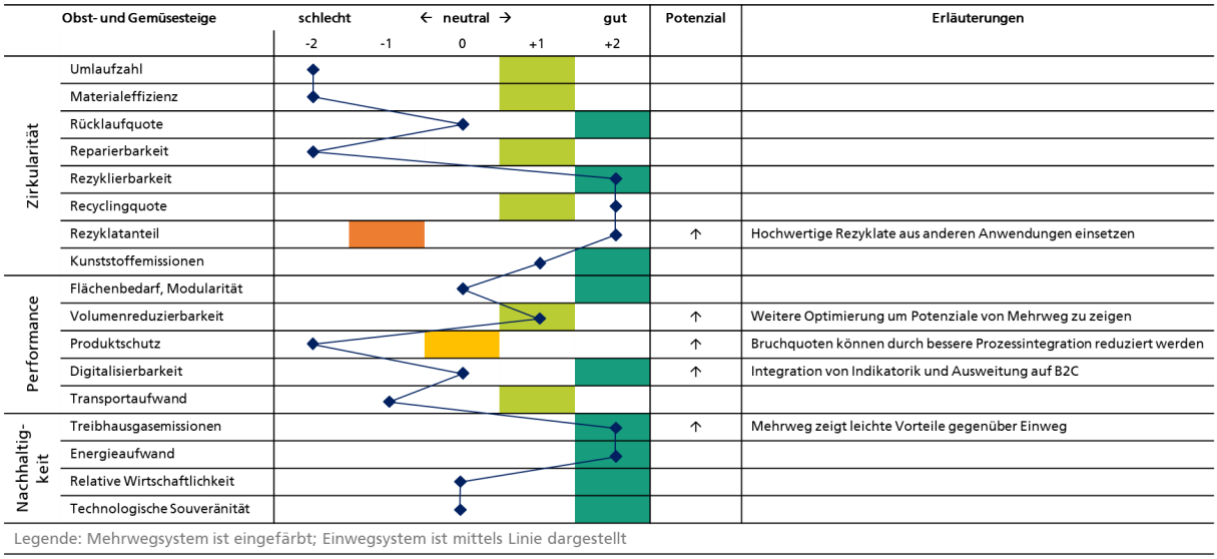
Toutes les caisses réutilisables analysées ont obtenu de meilleurs résultats que les variantes à usage unique dans la catégorie des **dépenses énergétiques cumulées**. Bien que les systèmes à usage unique en carton récupèrent parfois jusqu'à un tiers de l'énergie primaire totale en fin de vie, le KEA des caisses plastique réutilisables évaluées est inférieur sur l'ensemble du cycle de vie.

Si l'on compare, pour l'évaluation de la **rentabilité relative**[35] , les coûts de fabrication (à partir de matières recyclées) et d'élimination des systèmes à usage unique avec ceux de la fabrication, du nettoyage, de la réparation et de la perte des systèmes réutilisables, on constate que les systèmes réutilisables présentent déjà de nets avantages pour un nombre de rotations de 50 environ. Pour les groupes de coûts mentionnés, la valeur totale pour 50 rotations est inférieure à un centime par litre de produit et par utilisation. Dans la mesure où les dépenses de transport sont similaires pour les systèmes à usage unique et les systèmes réutilisables en concurrence, les systèmes réutilisables présentent donc de nets avantages.

Les systèmes réutilisables sont généralement utilisés à l'échelle régionale, en circuit ouvert ou fermé. Seule la perte doit être compensée par du matériel neuf. Ils contribuent donc à l'établissement de relations commerciales solides entre le producteur, le prestataire logistique et le commerce. Les pools établis, qui ne sont plus en croissance, atteignent un haut niveau d'indépendance vis-à-vis des importations et contribuent à la **souveraineté technologique**.

35 Pour la définition spécifique de la rentabilité relative dans cette étude, voir la section 6.3.3.

Figure 40: Aperçu pour les branches de fruits et légumes




### 7.1.4 Potentiels d'optimisation

Parmi les démonstrateurs étudiés ici, le trottoir réutilisable est probablement le système le mieux établi. Il présente logiquement le plus faible potentiel d'optimisation grâce aux améliorations apportées à la gestion du pool et au nombre élevé de rotations déjà réalisées. Dans de nombreuses catégories analysées dans le cadre de cette étude, le trottoir réutilisable obtient de bien meilleurs résultats que son concurrent également établi de longue date, le trottoir unidirectionnel en carton. Néanmoins, certains potentiels ou exigences futures ont été identifiés pour une amélioration supplémentaire par rapport aux trottoirs unidirectionnels.

Un grand nombre de bonnes évaluations pour les escaliers multidirectionnels sont basées sur le nombre élevé de rotations. Or, c'est justement le montant de ces derniers qui fait régulièrement l'objet de débats. Le secteur devrait se mettre d'accord sur des mécanismes de suivi et des possibilités de communication afin d'informer de manière transparente sur les taux de rotation atteints dans la pratique.

L'optimisation du nombre de rotations devrait être l'un des principaux objectifs lors du développement de produits et de systèmes. Pour les systèmes réutilisables, il convient de viser une valeur moyenne de 100. Pour augmenter le nombre de rotations, il est par exemple judicieux d'améliorer la résistance à la rupture des caisses pliables. Le cas échéant, de nouvelles procédures de test fixées dans des normes pourraient être utiles. L'amélioration de la communication avec les utilisateurs ou le développement de nouveaux systèmes d'incitation pour réduire la déperdition auraient également un effet positif.

L'extension des systèmes au-delà du transport B2B permet de substituer d'autres emballages jetables. Des exemples sont l'utilisation de caisses réutilisables comme boîtes de transport dans le commerce en ligne ou comme boîtes à emporter dans le commerce. Cela devrait être testé dans le cadre d'essais pilotes.

La politique devrait fixer le cadre d'une mise en œuvre généralisée des caisses réutilisables dans le commerce et l'industrie par le biais de directives correspondantes. Les prescriptions relatives aux taux de recyclage avancés ou aux taux de rotation des emballages réutilisables pourraient être rendues obligatoires sous la forme d'une condition "ou/ou" dans des actes juridiques appropriés. Les propositions des experts pour l'acte juridique délégué sur l'économie circulaire dans le cadre du règlement européen sur la taxonomie peuvent servir de modèle. (Platform on Sustainable Finance (PSG) 2022).

Les caisses réutilisables en particulier sont également souvent utilisées dans le cadre du commerce international, par exemple entre l'UE et les pays riverains comme le Royaume-Uni, la Suisse et les pays des Balkans occidentaux. Le risque existe que ces produits en plastique réutilisables soient soumis à des taxes sur les plastiques déjà introduites ou bientôt mises en œuvre à chaque fois qu'ils circulent au-delà des frontières des espaces économiques. Les législateurs de Bruxelles, des États membres de l'UE et des partenaires commerciaux extérieurs devraient mettre en place des règles excluant le paiement de telles taxes qui pèsent sur les systèmes réutilisables.

Les trottoirs multidirectionnels sont fabriqués en monomère thermoplastique. De ce fait, elles sont très faciles à recycler en tant que matière première après avoir dû être triées, par exemple en raison de dommages. Les modifications apportées à la base du matériau doivent être effectuées de manière à ce qu'elles n'aient pas d'effet critique sur le recyclage à l'avenir. Les solutions composites difficilement recyclables, les pièces injectées en élastomère et autres formes de mélange de matériaux devraient également être évitées à l'avenir. Les améliorations de la performance devraient être obtenues par l'amélioration de la forme ou de la texture de la surface.

Les développements ultérieurs dans le retraitement des thermoplastiques utilisés, grâce à une meilleure additivation et à des optimisations techniques des processus, peuvent faire progresser à l'avenir le recyclage de qualité des plastiques. Dans la pratique, les cagettes triées dans les systèmes réutilisables sont presque toujours envoyées au recyclage mécanique. Il existe encore un net potentiel d'amélioration de la part de matériaux recyclés, ce qui s'explique actuellement par le fait que les systèmes se développent et que les pâtes triées disponibles pour le recyclage ne suffisent pas à couvrir les besoins en matériaux neufs. Il faudrait néanmoins s'efforcer d'utiliser une part aussi élevée que possible de matériaux recyclés lors de la fabrication de cagettes à usages multiples. Le cas échéant, on pourrait envisager d'utiliser des matériaux recyclés de haute qualité provenant d'autres applications pour les nouvelles solutions réutilisables et pour la croissance des solutions réutilisables existantes. Les fabricants doivent respecter les dispositions de la législation alimentaire. Celles-ci devraient faire l'objet d'un examen critique de la part des législateurs dans le but de promouvoir une économie plastique circulaire.

Pour le produit de comparaison qu'est le carton de transport, le recyclage est établi depuis de nombreuses décennies. Cependant, le taux de perte d'environ 15 pour cent enregistré à chaque étape du recyclage du papier ne peut guère être réduit davantage, et il est possible d'obtenir ici d'autres avantages pour les caisses réutilisables.

En termes de réparabilité, de modularité et de réduction du volume, les caisses réutilisables sont des produits exemplaires. Les gains en termes de réduction de volume obtenus grâce aux systèmes de pliage ont déjà montré qu'ils n'occupent guère plus d'espace de stockage et de volume de transport que les cartons à usage unique.

En ce qui concerne la protection des produits, les quais multidirectionnels peuvent déjà marquer des points avec un faible taux de rupture pendant les processus de chargement complet. Une meilleure intégration des processus, par exemple au moyen d'une sécurisation suffisante des unités de chargement et d'une manipulation plus prudente avec des chariots élévateurs, apporterait encore des améliorations.

Les quais multidirectionnels permettent d'exploiter le potentiel de la numérisation. On pourrait ainsi se demander s'il est possible d'atteindre une perméabilité au client final sur la base de codes optiques ou de radio-étiquettes, par exemple par un enregistrement automatique en cas d'emport par le client final. Les caisses pourraient alors être utilisées pour le commerce en ligne de produits alimentaires ou comme boîtes de transport pour les achats dans les supermarchés. Il serait également intéressant d'intégrer des capteurs qui indiqueraient le vieillissement de la caisse en raison des changements de température et des rayons UV et qui recommanderaient la mise au rebut de la caisse en vue de son recyclage (y compris les réparations nécessaires au niveau moléculaire : liaison et allongement des chaînes, élimination des contaminants, etc.

## 7.2 Plateaux à plantes

### 7.2.1 Description de l'application

Les plateaux à plantes sont des aides au transport pour un nombre variable de plantes. Des renfoncements pour les pots de plantes permettent un transport sûr et facilitent la manipulation.

Les plateaux de plantes sont remplis par les producteurs de plantes, qui les utilisent parfois déjà pendant la culture. Pour le transport ultérieur, les plateaux de plantes remplis sont généralement préparés dans des conteneurs CC et transportés vers le commerce de détail via le commerce de gros, les systèmes de distribution et la commercialisation. Contrairement à l'exemple d'application Steige, les plateaux de plantes sont parfois utilisés par les clients finaux. Ils représentent donc en partie une application B2C, c'est-à-dire que les clients, lorsqu'ils achètent plusieurs plantes par exemple, les emportent dans un bac à plantes.

Les plateaux réutilisables vides sont collectés dans le commerce de détail et, si nécessaire, récupérés par l'exploitant du pool (via un prestataire de services logistiques) et transportés vers des centres de lavage et d'hygiène. Ils y sont lavés et désinfectés de manière appropriée, et un contrôle de la qualité est effectué simultanément de manière automatisée ou par contrôle visuel. Les plateaux de plantes nettoyés sont ensuite livrés aux producteurs de plantes pour le remplissage suivant. Si des plateaux réutilisables défectueux sont identifiés lors du contrôle de qualité, ils sont - selon la solution réutilisable et l'exploitant du pool - mis au rebut et éliminés comme les plateaux à usage unique ou recyclés.

### 7.2.2 Statut des solutions à usage unique et réutilisables

Les plateaux à plantes sont actuellement commercialisés à plus de 95% en tant que solutions à usage unique (Weschnowsky 2021 ; Deutsche Umwelthilfe e.V. 2021). La Deutsche Umwelthilfe estime la quantité de déchets annuels générés par l'utilisation de plateaux à plantes jetables à environ 150 millions de plateaux, soit environ 21 millions de kilogrammes. (Deutsche Umwelthilfe e.V. 2021). Selon BaumarktManager (2021) il existe actuellement environ 55 tailles de barquettes différentes.

Par exemple, Normpack® mentionne actuellement dans son aperçu des produits des **plateaux à plantes jetables** avec quatre dimensions de surface différentes (Normpack 2021). Celles-ci comportent de 1 à 30 trous, ce qui donne un total de 81 variantes de plateaux de plantation jetables.

Les plateaux à plantes EW sont fabriqués en polystyrène (PS). Selon l'entreprise, les plateaux Normpack sont recyclables à 100 %. (Royal FloraHolland 2021). Actuellement, un plateau Normpack est composé à 90 pour cent de matériaux recyclés, à 50 pour cent de recyclage de plateaux de plantes précédents et à 40 pour cent d'autres matériaux recyclés. Dix pour cent de matières premières primaires sont nécessaires en raison de la couleur ou du manque de matériaux recyclés.

La **solution réutilisable** "Palettino" est sur le marché depuis 20 ans (HAWITA Technoplant 2021). Les plateaux sont proposés avec deux dimensions de surface. Avec la mesure danoise, 4 plateaux peuvent être placés sur une planche CC[36] , avec la mesure européenne, 8 plateaux forment une couche de palette (cf. Tableau 20).

Fin 2013, Royal FloraHolland a lancé la solution réutilisable "Floratino" dans le domaine des plateaux à plantes. Actuellement, il existe cinq types de plateaux avec les mêmes dimensions extérieures, mais un nombre différent de trous par plateau (Royal FloraHolland 2021). Elles sont fabriquées en polyéthylène et pèsent de 375 à 411 grammes. (Royal FloraHolland 2021). Le plateau Floratino à 6 trous est actuellement fabriqué à partir de 100 % de matière première neuve. (van Paassen et Scholten 2020).

36 Pour plus de détails sur les CC-Conteneurs, voir le chapitre 6.2.1

La série de produits TEKU® "MS + R" de la société Pöppelmann pour les plateaux de transport et de culture comprend 6 solutions réutilisables différentes (cf. Tableau 20). Ils sont fabriqués en polyéthylène ou en polypropylène. (Pöppelmann 2021)

Tableau 20: Données clés des bacs à plantes

| Solution | Cote de surface [mm] | Nombre de plateaux | Source |
|---|---|---|---|
| Normpack® | 270 x 250<br>400 x 280<br>560 x 310<br>560 x 250 | 10 par planche CC<br>6 par planche CC<br>4 par planche CC<br>5 par planche CC | (Koskela et al. 2014) |
| Palettino® | 530 à 540 x 300 à 315<br>390 x 275 | 4 par planche CC<br>8 par couche de palettes | (HAWITA Technoplant 2021) |
| Floratino® | 540 x 310 | 4 par planche CC<br>8 par couche de palettes | (Royal FloraHolland 2021) |
| TEKU® "MS + R" | 395 x 280<br>385 x 284<br>565 x 383<br>432 x 432 | 6 par planche CC<br>6 par planche CC<br>3 par planche CC<br>2 par planche CC | (Pöppelmann 2021) |

### 7.2.3 Circularité, performance et Durabilité

Dans le chapitre 6 de cette étude, différentes catégories, y compris des indicateurs, ont été proposées pour évaluer les systèmes d'emballage. Les indicateurs ont été calculés pour différents systèmes d'emballage, représentés graphiquement et comparés entre les différentes applications. Les aspects les plus importants concernant les plateaux réutilisables sont récapitulés ci-dessous. Figure 41 donne un profil global comparatif des plateaux réutilisables et jetables sur la base des catégories étudiées.

**Circularité**

Le **taux de rotation** des plateaux réutilisables est actuellement déjà élevé. Le plus grand potentiel réside dans l'augmentation de la pénétration des solutions réutilisables sur le marché et, par conséquent, dans l'augmentation de la flexibilité du pool et l'intensification de la réutilisation. Par définition, les systèmes à usage unique ont un taux de rotation de 1.

On attend des plateaux réutilisables une **efficacité matérielle** à peu près équivalente à celle des plateaux réutilisables. Une utilisation d'environ un gramme de matériau par litre de produit et par utilisation semble réaliste. Comme les

plateaux réutilisables sont encore en cours de développement, cela suppose que des taux de rotation similaires soient atteints. Comme la masse des plateaux jetables est environ deux fois plus faible que celle des plateaux réutilisables, l'efficacité des matériaux est nettement moins bonne (environ 10 grammes par litre de produit et par utilisation) que pour les plateaux jetables.

Tant que les plateaux réutilisables sont utilisés exclusivement dans le secteur B2B, on peut s'attendre à un **taux de retour** analogue à celui des plateaux réutilisables. Mais comme une ouverture vers le marché B2C est envisagée et éventuellement judicieuse pour économiser d'autres emballages, ce taux de retour sera en pratique plus faible.
est plutôt un peu plus bas. Selon les indications des fabricants, les plateaux à usage unique atteignent actuellement un taux de retour de 55 pour cent.

Les plateaux à plantes sont mono-matériaux, les options d'identification sont imprimées/fusionnées et ils n'ont pas de composants mobiles. La **réparabilité n'est** pas pertinente à l'heure actuelle, que ce soit pour les produits jetables ou réutilisables, et a donc été évaluée comme "neutre".

La **recyclabilité** des plateaux réutilisables est en principe très bonne. Ils sont généralement composés d'un monomatériau (PP ou PEHD) qui se recycle très bien mécaniquement. Toutes les étapes du recyclage de ces matériaux font partie de l'état de la technique, ce qui signifie que la recyclabilité pratique peut être considérée comme très bonne.

Le **taux de recyclage** des plateaux réutilisables pour les plantes est estimé à 100 % par un exploitant de piscine. Ils sont composés d'un monomatériau de haute qualité qui est réutilisé dans la fabrication de nouveaux plateaux.

La **part de matières recyclées** dans les plateaux réutilisables est de 100 pour cent. Une utilisation aussi élevée de matières recyclées est possible parce que ces produits ne nécessitent pas d'autorisation pour le contact avec les aliments.

Les plateaux réutilisables sont consignés, de sorte que le littering est improbable ou seulement temporaire. La charge mécanique peut parfois être très élevée en raison du poids des plantes, et une fragilisation est probable à long terme sous l'effet des rayons UV. Il faut donc s'attendre à ce que certains plateaux se brisent ou se fendent au fil du temps, ce qui entraînera de faibles **émissions de plastique** . Les effets décrits se produisent également avec les plateaux à usage unique, mais ils devraient être nettement plus importants en raison de l'épaisseur réduite des parois et de l'absence d'étiquetage.

**Performance**

En ce qui concerne la **modularité,** il est important d'établir des dimensions de surface uniformes pour les plateaux à plantes, ce qui est actuellement discuté par le secteur dans le cadre du développement d'une solution réutilisable à l'échelle européenne (projet "Flowertray"). Dans le domaine des plateaux à plantes EW, il existe toujours une multitude de tailles de plateaux différentes. En principe, il est

désavantageux, du point de vue d'une mesure de surface uniforme, de s'en tenir aux voies de distribution parallèles pour les plateaux de plantes au moyen de palettes (LEH) et de conteneurs CC (marché de la construction/des plantes).

La **possibilité de réduire le volume** des plateaux réutilisables est assurée par leur capacité d'emboîtement. Celle-ci est toutefois limitée par leur conception (par exemple, la hauteur du bord du plateau). En outre, l'uniformisation et la compatibilité du nombre et de la disposition des trous ont également une influence sur la capacité d'emboîtement des plateaux à plantes. En raison de leur hauteur relativement faible, les plateaux de plantes sont moins bien classés que les autres démonstrateurs par définition de la valeur de l'indicateur.

La **protection du produit** actuellement mise en œuvre dans les bacs à plantes EW doit également être garantie par de futures solutions réutilisables. Les personnes interrogées sont unanimes sur ce point. En raison des données actuellement non disponibles, le taux de casse a été évalué comme neutre.

Grâce au circuit non destructif, les plateaux réutilisables présentent, avec un intérêt parallèle à supposer pour les paramètres de croissance des plantes transportées (humidité, pH, rayonnement, etc.), une très grande **capacité de numérisation**. Ce potentiel ne peut pas être activé si les plateaux jetables ne sont utilisés qu'une seule fois, en raison des coûts élevés qui y sont liés.

L'examen séparé de la **distance de transport** met également en évidence, pour les plateaux de plantes, que les distances en amont et en aval de l'utilisation sont négligeables par rapport à la zone d'utilisation. C'est pourquoi les solutions MW sont jugées plus avantageuses que les solutions à usage unique pour l'utilisation régionale des plateaux de plantes.

**Durabilité**

En comparaison, les plateaux réutilisables pour plantes obtiennent de meilleurs résultats que les plateaux à usage unique dans la catégorie des **émissions de gaz à effet de serre**. Les principaux moteurs des émissions de GES des plateaux réutilisables sont les processus de transport et de nettoyage. Cependant, les études sur les plateaux pour plantes sont plutôt pauvres dans cette catégorie, c'est pourquoi un examen plus approfondi est recommandé.

Les plateaux réutilisables pour les plantes présentent une **dépense énergétique cumulée** inférieure d'environ 25 pour cent et donc meilleure que celle des plateaux à usage unique. Cependant, pour l'évaluation, seule une étude avec une variante pour les produits jetables et réutilisables a pu être analysée. C'est pourquoi il faudrait valider les avantages dans le cadre d'autres études.

Dans la mesure où les plateaux réutilisables atteignent plus de 50 rotations, ils présentent une **rentabilité relative** aussi bonne[37] que les cagettes. Cependant, les coûts de nettoyage sont plus importants. Dans l'hypothèse où les plateaux sont

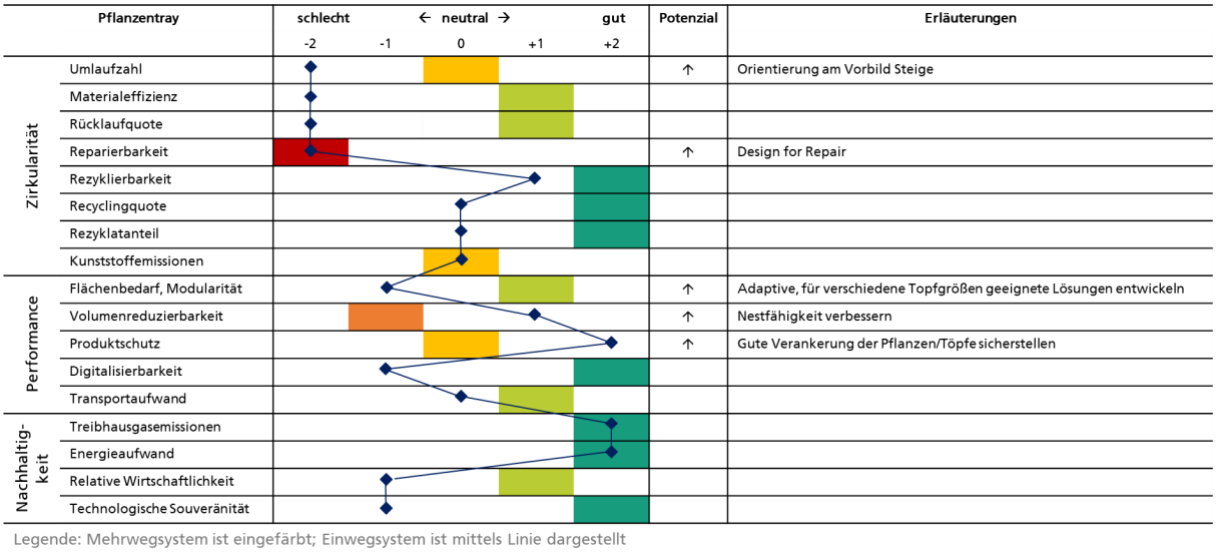
37 Pour la définition spécifique de la rentabilité relative dans cette étude, voir la section 6.3.3.

nettoyés à chaque rotation, une augmentation du nombre de rotations ne permettrait plus guère d'économiser des coûts. Dans la pratique, il s'est toutefois déjà avéré que le nettoyage n'est pas nécessaire à chaque rotation. La rentabilité des systèmes réutilisables est donc encore plus avantageuse que celle calculée dans le modèle.

Étant donné que les plateaux jetables sont déjà composés en grande partie de matériaux recyclés et que la quantité de plastique utilisée a déjà été réduite au maximum, ils présentent une bonne rentabilité relative par rapport aux autres emballages jetables. Celle-ci ne peut néanmoins pas rivaliser avec celle des systèmes réutilisables.

La **souveraineté technologique** d'un système réutilisable établi résulte de la dépendance à l'égard des importations pour les matériaux utilisés et du taux de perte. Il en résulte une souveraineté technologique très élevée pour les plateaux réutilisables, à peine inférieure à celle des cageots. Le système des plateaux réutilisables étant encore en cours de développement, cette situation pourrait devenir moins favorable dans les années à venir, jusqu'à ce qu'une large saturation du marché soit atteinte. Selon toute vraisemblance, le fait que la constitution du pool de matériaux à partir de matières recyclées soit prévue aura un effet positif. Les plateaux à usage unique atteignent une souveraineté technologique élevée grâce à une proportion assez importante de matières recyclées, mais celle-ci reste néanmoins inférieure à celle des plateaux réutilisables.

Figure 41: Aperçu des plateaux de plantes




### 7.2.4 Potentiels d'optimisation

En comparaison avec les cageots, les études et les données disponibles sur les plateaux de plantes sont encore insuffisantes.

Dans le cas des plateaux de plantes, le principal défi en matière de conception de produits est d'établir des dimensions de surface uniformes pour deux canaux de distribution parallèles, à savoir les palettes (grande distribution) et les conteneurs CC (marché de la construction/des plantes), de manière à réduire la multitude de tailles de plateaux actuelles tout en améliorant la modularité. En outre, la conception du produit doit également porter une attention particulière à la capacité d'emboîtement optimale des plateaux de plantes (en uniformisant et en rendant compatibles le nombre et la disposition des trous, entre autres). La conception du produit pose ainsi des bases essentielles pour des processus logistiques optimaux, tels que l'utilisation optimale des moyens de transport et la manipulation lors du transbordement et du nettoyage. La diversité des variantes de plateaux réutilisables est limitée par rapport aux plateaux à usage unique. Il convient de développer de bonnes solutions qui permettent néanmoins d'ancrer solidement les plantes et les pots de plantes.

En ce qui concerne le nombre de rotations, les plateaux réutilisables devraient atteindre des valeurs similaires à celles des cageots. Mais cela doit encore être démontré dans la pratique et il serait bon que les exploitants de pools documentent de manière fiable les chiffres de circulation réels. En particulier dans les catégories de durabilité, il est possible d'obtenir des améliorations supplémentaires par rapport aux plateaux jetables en optimisant l'utilisation. Les projets actuels de plateaux réutilisables tiennent compte des aspects de la construction légère, de sorte que l'on ne peut guère s'attendre à d'autres gains en termes d'efficacité des matériaux, si ce n'est ceux résultant d'une augmentation du nombre de rotations.

Le remplacement des composants défectueux n'est pas encore envisagé pour les plateaux. Dans la mesure du possible, il faudrait en tenir compte à l'avenir, tout en évitant les inconvénients liés à la robustesse. Le cas échéant, il serait possible d'aborder simultanément les aspects de la modularité et de la réduction du volume dans le cadre d'une nouvelle conception. Des solutions plus performantes devraient être développées, notamment pour l'imbrication. L'adaptabilité aux différentes tailles de pots serait également un plus.

Les plateaux à plantes réutilisables sont composés d'un monomatériau thermoplastique à base de matières recyclées. Après avoir dû être triés, par exemple en raison de dommages, ils peuvent être recyclés en tant que matière première. Il est toutefois possible et judicieux de poursuivre le développement du retraitement des thermoplastiques en améliorant les additifs et en optimisant les processus techniques. Une stabilisation écologique contre les processus de vieillissement est particulièrement intéressante pour les plateaux à plantes.


© CCPE Fraunhofer

## 7.3 Gobelet Coffee to go

### 7.3.1 Description de l'application

Le gobelet Coffee-to-go est représentatif d'une multitude d'emballages qui permettent d'emporter ou de consommer en route des plats préparés (Take-Away-Food). Les systèmes d'emballage correspondants jouent un rôle central pour de nombreux restaurants de restauration rapide, boulangeries et entreprises de la restauration de système avec une vente au comptoir (service de comptoir), pour les services en ligne et à emporter ainsi que pour les drive-in. Sans eux, leur modèle commercial ne serait guère imaginable.

La Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung a calculé que la consommation annuelle du secteur "vaisselle jetable et emballages pour consommation immédiate" s'élevait à 281 186 tonnes en 2017. (Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH (GVM) 2018). Cela correspond à environ 3,4 kilogrammes par personne et par an. Depuis 1994, la quantité augmente en moyenne de 2,5 % par an. La part de plastique dans la vaisselle jetable et les emballages pour consommation immédiate est d'environ 27,6 % et a augmenté de 3,9 % par an depuis 1994, ce qui est supérieur à la moyenne.

Le "gobelet à emporter" a été inventé au début du 20e siècle par Lawrence Luellen, d'abord comme gobelet en carton jetable pour les boissons froides. Avec le début de la grippe espagnole (1918-1920), les aspects liés à l'hygiène sont devenus l'argument de vente décisif qui a favorisé sa diffusion. L'utilisation comme gobelet pour le café à emporter a commencé avec la chaîne de magasins d'alimentation new-yorkaise "7-Eleven". Après que le café se soit établi de plus en plus comme un produit de luxe dans de larges couches de la population, la chaîne de snacks a proposé à partir de 1964 du café dans des gobelets en polystyrène expansé. Dans les années 80, le gobelet jetable avec couvercle a été introduit chez Starbucks. (Gräf 2018). Le gobelet Coffee to go a attiré l'attention négative lorsque Stella Liebeck, brûlée au troisième degré en renversant son café dans un gobelet Coffee to go, a obtenu 640 000 dollars de dommages et intérêts contre la chaîne de fast-food McDonald's. (Schneider 2014).

92 pour cent des Allemands boivent du café, 72 pour cent même tous les jours. 17 pour cent consomment un coffee-to-go plusieurs fois par semaine, voire tous les jours, et 50 pour cent supplémentaires occasionnellement. Ces chiffres à eux seuls permettent de conclure à plusieurs milliards d'utilisations par an. Le café à emporter est consommé dans des proportions à peu près égales sur le trajet domicile-travail ou pendant les loisirs. (Aral 2018)

Le volume de remplissage des gobelets de boissons destinés à la consommation hors domicile varie d'environ 80 à 600 millilitres. La taille moyenne de remplissage est de 227 millilitres. Le gobelet comprend jusqu'à trois composants : Le gobelet, le couvercle et la manchette pour les boissons chaudes. S'y ajoutent des aides pour mélanger, porter ou des pailles. (Kauertz et al. 2019)

### 7.3.2 Statut des solutions à usage unique et réutilisables

En ce qui concerne les **gobelets jetables, le** carton avec revêtement en polyéthylène ainsi que le polystyrène (PS) dominent dans le domaine des matériaux utilisés. Il existe également des gobelets en carton avec un revêtement en polylactide ainsi que des gobelets en plastique en polystyrène expansé (EPS), en polypropylène (PP) ou en polylactide (PLA). La masse des gobelets varie entre environ 4,1 et 18,2 grammes par gobelet, en fonction de la taille, du type de matériau et du modèle (simple ou double paroi). La part de plastique des gobelets en carton est d'environ 4 à 7 %. Le couvercle à usage unique est le plus souvent en polystyrène et pèse 3,2 grammes. (Kauertz et al. 2019)

La consommation de gobelets jetables pour boissons chaudes est estimée à environ 2,8 milliards par an en Allemagne. La quantité totale se compose d'environ 1,66 milliard de gobelets en carton et de 1,14 milliard de gobelets en plastique. Sur cette quantité totale, environ 1,1 à 1,2 milliard de gobelets sont utilisés dans le secteur de la vente à emporter. (Kauertz et al. 2019)

On peut distinguer différents systèmes de **gobelets réutilisables pour** la vente à emporter :

- Récipients privés réutilisables ("bring your own", système BYO),
- gobelets réutilisables spécifiques aux fournisseurs (en général, y compris un crédit pour le café) et
- gobelets réutilisables dans un système de pool.

En 2015, l'association allemande Umwelthilfe a lancé le projet "Sois une héroïne du gobelet ! (Deutsche Umwelthilfe e.V. 2015). Dans le cadre de ce projet, le besoin de systèmes de pool a également été thématisé. En réaction, de nombreuses offres de gobelets réutilisables privés ont d'abord vu le jour, principalement sous forme de cadeaux publicitaires. Depuis 2016, les premiers systèmes de pool se sont établis en Allemagne. (Pachaly 2021).

L'introduction d'un système de pool est liée à des dépenses élevées et à des risques importants, car il ne devient attractif que lorsqu'une couverture élevée de la surface est atteinte avec de nombreux sites. Par conséquent, des solutions spécifiques aux entreprises ou aux communes se sont d'abord établies, le plus souvent dans les grandes villes (Düsseldorf Becher (RP-Online 2017), FreiburgCup (FreiburgCup 2021), "Reste fidèle à ton gobelet" à Mannheim (Agence pour la protection du climat de Mannheim 2021); Back Cup dans le district de Höxter (Kreis Höxter - Département Environnement, construction et informations géographiques 2021). Ces gobelets présentent encore une grande diversité de matériaux. On trouve ainsi des gobelets en polylactide, en polypropylène avec un couvercle jetable en polystyrène ou ceux en copolymère styrène-acrylonitrile avec un couvercle en TPE et une fermeture en polypropylène. Ces solutions communales rendent difficile une diffusion suprarégionale qui serait judicieuse, par exemple, pour les voyageurs, les navetteurs ou les chauffeurs professionnels.

Dans ce contexte, l'extension des systèmes de pool suprarégionaux, qui misent exclusivement sur les gobelets et les couvercles en polypropylène, est une évolution importante pour l'établissement durable des systèmes réutilisables. Les principaux systèmes actuels sont les suivants :

- RECUP (> 8900 points de distribution) (ReCup 2021) ,
- FAIRCUP (> 3200 points de distribution) (FairCup GmbH 2021) ,
- CUPFORCUP (> 1000 points de distribution) (CUPFORCUP Sàrl 2022) et
- VYTAL (n.d. sur les points d'émission) (VYTAL Global GmbH 2022).

Les trois premiers systèmes s'appuyaient sur un système de consigne à 1 €. Vytal utilise à la place une approche numérique. Toute personne utilisant un tel gobelet doit s'enregistrer et, en cas de non-retour au bout de 14 jours, le prêt se transforme en achat. ReCup envisage d'introduire en parallèle ce système appelé "digital cashless". (Pachaly 2021). Les systèmes sont financés par une redevance système par site. Un autre système basé sur des gobelets en polypropylène est l'ÖkoCup. (moBrands GmbH 2022). Contrairement aux autres, il s'agit d'un gobelet qui doit être acheté par le distributeur. La consigne est fixée uniformément à 0,50 euro. Des distributeurs automatiques sont également proposés pour le retour. Pour que les règles d'hygiène soient respectées lors de l'utilisation de gobelets réutilisables, il existe des lignes directrices, des fiches techniques et des vidéos pédagogiques pour les consommateurs et les distributeurs, par exemple la fiche technique sur la manipulation des gobelets Coffee-to-go apportés par la Fédération allemande des denrées alimentaires. (Lebensmittelverband Deutschland 2020).

En supposant que les systèmes à usage unique ne sont utilisés qu'une seule fois et qu'environ 6 millions de gobelets réutilisables ont été distribués jusqu'à présent, qui atteignent en moyenne 15 utilisations par an. (Pachaly 2021)on obtient actuellement une part d'utilisation d'environ 3,1 % pour les systèmes réutilisables (Tableau 21).

Tableau 21: Comparaison de la diffusion des systèmes (Kauertz et al. 2019)

| Système | Matériau | Utilisations | Part des utilisations |
|---|---|---|---|
| Gobelets jetables | PS | 1 140 000 000 | 39,4 % |
| | PPK+PE | 1 660 000 000 | 57,4 % |
| Gobelets réutilisables | Plastique | 90 000 000 | 3,1 % |

Les systèmes réutilisables enregistrent actuellement des taux de croissance significatifs, tant en termes de nombre de points de vente, de gobelets distribués que d'utilisations. On peut donc s'attendre à ce que la part des utilisations augmente considérablement dans les années à venir.

Une taxe ciblée sur les systèmes à usage unique pourrait donner une impulsion supplémentaire à la diffusion des systèmes réutilisables. Les analyses d'économie comportementale montrent le fort potentiel des augmentations de prix sur les gobelets jetables. Elles ont même été nettement plus efficaces que les rabais sur

les gobelets réutilisables. Un effet appelé aversion aux pertes. (Poortinga et Whitaker 2018)

### 7.3.3 Circularité, performance et Durabilité

Dans le chapitre 6 de cette étude, différentes catégories, y compris des indicateurs, ont été proposées pour évaluer les systèmes d'emballage. Les indicateurs ont été calculés pour différents systèmes d'emballage, représentés graphiquement et comparés entre les différentes applications. Les aspects les plus importants concernant les gobelets réutilisables sont récapitulés ci-dessous. Figure 42 présente un profil global comparatif des gobelets réutilisables et jetables sur la base des catégories étudiées.

**Circularité**

Le **nombre de** gobelets réutilisables **en circulation** est déjà élevé. Le plus grand potentiel réside dans l'augmentation de la pénétration du marché des solutions réutilisables et, par conséquent, dans l'augmentation de la flexibilité des points de vente et l'intensification de la réutilisation.

Dès 5 utilisations, l'**efficacité matérielle** des gobelets réutilisables atteint celle des gobelets jetables concurrents. Le nombre de rotations pouvant être atteint dans la pratique est encore inconnu. Mais en principe, la consommation de matériau par utilisation et par litre de produit rempli sera plus élevée que pour d'autres applications réutilisables, car la protection contre la chaleur et la stabilité nécessaire imposent des exigences plus élevées au gobelet.

Dans le domaine des points de distribution, un **taux de retour de** 90% a été déterminé pour les gobelets réutilisables. On peut s'attendre à ce que ce taux de retour soit similaire pour l'ensemble du pool, car les pertes sont généralement moins importantes dans le secteur professionnel que dans le secteur B2C. Si la diffusion des gobelets réutilisables se poursuit, on peut supposer que le taux de retour augmentera, car les effets spéciaux, tels que la collecte des gobelets chez les particuliers, devraient alors avoir moins d'importance. Étant donné que de grandes quantités de gobelets jetables sont utilisées pour la consommation hors foyer, on peut supposer qu'ils sont principalement jetés dans les poubelles publiques avec les déchets résiduels. Ce flux de matériaux n'est généralement pas disponible pour l'économie circulaire.

La **réparabilité n**'est pas pertinente dans la perspective actuelle et a donc été évaluée comme neutre.

En principe, les gobelets réutilisables pour le café à emporter sont très bien **recyclables**. Dans la pratique, on trouve presque exclusivement des gobelets en PP mono-matériau, qui se recycle très bien mécaniquement. Toutes les étapes du recyclage de ces matériaux font partie de l'état de la technique, ce qui signifie que la recyclabilité pratique peut également être considérée comme très bonne.

Le **taux de recyclage** des gobelets réutilisables est généralement considéré comme très élevé (> 90 %), car ils sont composés d'un monomatériau de haute qualité. Les gobelets issus de systèmes de pool sont presque exclusivement recyclés à la fin de leur durée de vie.

La littérature ne donne pas d'indications sur la **part de matières recyclées** dans les gobelets réutilisables C2G. Selon les données d'un entretien avec un expert, elle est inférieure à 10 %. Les règles relatives à l'utilisation de matières recyclées lors du contact avec les aliments, notamment lors de l'utilisation des produits en plastique pour les boissons chaudes, s'opposent à une utilisation plus importante de matières recyclées.

Grâce à la consigne des gobelets réutilisables, **les émissions de plastique** dues au littering sont peu probables. Toutefois, il est probable que des gobelets soient parfois détruits lors de manifestations et restent dans l'environnement. Les gobelets jetables non consignés sont une découverte typique lors des opérations de nettoyage et constituent un sérieux problème environnemental.

**Performance**

Dans cette étude, la **modularité** est utilisée comme critère d'évaluation, en particulier pour les emballages de transport. Les gobelets Coffee-to-go étant des emballages de produits, leur valeur d'indicateur est considérée ici comme neutre, au sens de non pertinente.

La **possibilité de réduire le volume** est donnée aux gobelets réutilisables par leur capacité à s'emboîter. La mesure exacte est limitée par leur conception (par exemple la hauteur du bord du gobelet).

En raison de la plus grande stabilité des gobelets réutilisables, on s'attend à un taux de casse plus faible et donc à une meilleure **protection du produit** et des utilisateurs. En raison des données non disponibles actuellement, le taux de casse a été jugé plutôt bon.

Dans le cas des gobelets réutilisables, les coûts des codes optiques ou de la technologie radio passive ne pèsent guère dans la balance en raison du nombre plus élevé de rotations, de sorte qu'ils présentent une grande **capacité de numérisation.** En même temps, le gobelet réutilisable est un objet particulièrement intéressant dans l'interaction directe avec le consommateur. Il est par exemple possible de faire la promotion de futurs événements ou de donner des informations sur les ingrédients des boissons.

Même si les études actuellement publiées ne le prouvent pas, on suppose que pour les gobelets Coffee to go, les **distances de transport** en amont et en aval de l'utilisation sont également négligeables par rapport à la zone d'utilisation. En outre, dans le cas de ce démon -trateur B2C, la zone d'utilisation est locale et de faibles distances sont donc nécessaires pendant l'utilisation. Une évaluation n'a toutefois pas été réalisée en raison du manque de données.

ERROR! USE THE HOME TAB TO APPLY ÜBERSCHRIFT 1 TO THE TEXT THAT YOU WANT TO APPEAR HERE.

**Durabilité**

Même si les études examinées fixent des conditions cadres très différentes, les gobelets réutilisables présentent un résultat médian légèrement meilleur que les gobelets jetables en termes d'**émissions de gaz à effet de serre**. Les gobelets réutilisables en plastique présentent des avantages dans cette catégorie, notamment grâce à une logistique de reprise adéquate, à un comportement responsable des consommateurs, à des processus de rinçage et autres fonctionnant à l'électricité écologique et à l'absence de couvercles jetables.

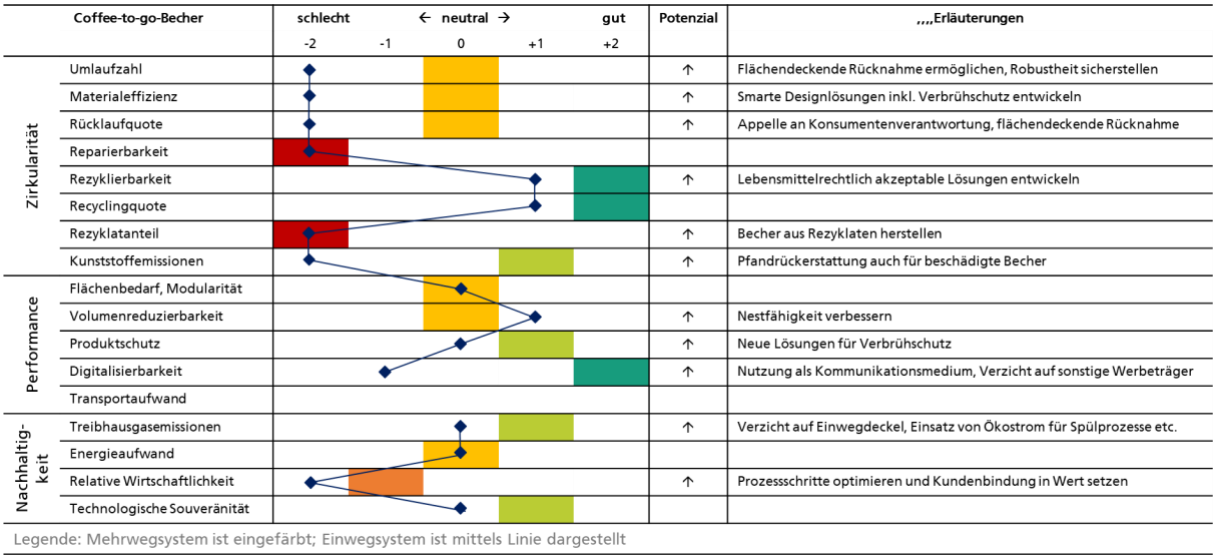
En revanche, en moyenne, les gobelets jetables sont légèrement meilleurs que les gobelets réutilisables dans la catégorie des **dépenses énergétiques cumulées**. Les résultats indiquent que cela pourrait être dû, entre autres, aux volumes plus faibles des gobelets réutilisables par rapport aux gobelets jetables. Il convient de vérifier si les gobelets réutilisables de même volume sont plus performants dans ce cas, le cas échéant.

La **rentabilité relative**[38] des gobelets réutilisables est encore largement inconnue. Il manque notamment des informations sur le lieu et le type de nettoyage ainsi que sur le personnel supplémentaire éventuellement nécessaire dans les services de distribution. On peut néanmoins s'attendre à ce que les gobelets présentent un coût par utilisation légèrement inférieur à celui des gobelets jetables concurrents.

En raison d'un taux de déperdition encore élevé à l'heure actuelle et de la nécessité de mettre en place des systèmes, la **souveraineté technologique** est plus faible que pour d'autres systèmes réutilisables. Cette situation devrait toutefois s'améliorer au fur et à mesure de la diffusion. Les gobelets jetables en papier ou en carton présentent également une assez bonne souveraineté technologique, car la part d'importation est plutôt faible pour le papier. Dans le cas d'un revêtement plastique ou d'un gobelet entièrement en plastique, la souveraineté technologique est nettement plus faible.

38 Pour la définition spécifique de la rentabilité relative dans cette étude, voir la section 6.3.3.

Figure 42: Aperçu pour les gobelets Coffee-to-go




### 7.3.4 Potentiels d'optimisation

Le gobelet réutilisable Coffee-to-go présente un certain potentiel de développement par rapport au gobelet jetable. Les principaux moteurs résident dans l'optimisation de la phase d'utilisation et dans l'implication des consommateurs, qui sont des acteurs importants du cycle, contrairement aux deux autres supports étudiés. L'introduction d'une logistique de reprise et de rinçage généralisée et décentralisée ainsi que l'appel à un comportement responsable des consommateurs permettraient d'augmenter le nombre de rotations et le taux de retour.

Un argument fort en faveur du gobelet réutilisable serait qu'il soit en outre composé de matériaux recyclés. Des solutions acceptables du point de vue de la législation alimentaire doivent être développées à cet égard.

On peut s'attendre à ce que les gobelets réutilisables remplis ne soient guère victimes de littering. Mais ils pourraient en outre être utilisés comme une précieuse plate-forme d'information contre le littering. Les gobelets endommagés devraient être repris contre remboursement de la consigne.

La capacité d'emboîtement devrait être optimisée, de sorte qu'il n'y ait pas d'inconvénient en termes d'espace de stockage. Le fait que les gobelets réutilisables permettent d'utiliser plus de matériau tout en réduisant l'intensité du matériau grâce à un nombre élevé de rotations devrait être mis à profit pour améliorer le confort de consommation et la protection contre les brûlures.

En tant qu'emballage B2C, le gobelet offre une base idéale pour la communication vers et avec le client. Il est possible d'informer sur les points de retour, mais le gobelet peut également servir de support publicitaire en combinaison avec un smartphone et une application et remplacer d'autres médias publicitaires. D'autres

ERROR! USE THE HOME TAB TO APPLY ÜBERSCHRIFT 1 TO THE TEXT THAT YOU WANT TO APPEAR HERE.

applications sont également envisageables, comme par exemple le suivi des habitudes de consommation, etc.

Afin d'accroître les avantages en termes d'émissions de gaz à effet de serre, les gobelets réutilisables devraient être systématiquement exemptés de couvercles jetables. Les dépenses énergétiques cumulées devraient être réduites en améliorant l'efficacité des processus de nettoyage et en réduisant l'utilisation des matériaux.

La rentabilité peut être assurée par une logistique et des processus de nettoyage efficaces. En outre, les gobelets réutilisables peuvent également améliorer la fidélisation de la clientèle, ce qui pourrait être évalué dans le cadre d'autres études.


© CCPE Fraunhofer

ERROR! USE THE HOME TAB TO APPLY ÜBERSCHRIFT 1 TO THE TEXT THAT YOU WANT TO APPEAR HERE.

# 8 Autres catégories sans évaluations

D'autres catégories qui ont été étudiées, mais qui n'ont finalement pas été incluses dans l'évaluation finale, sont énumérées ci-dessous. Soit elles se sont révélées non pertinentes (criticité des matériaux et additifs critiques), soit la base de données ne permettait pas une évaluation précise (appauvrissement des ressources).

## 8.1 Criticité des matériaux

Les risques liés aux matières premières peuvent entraîner à court et à long terme des risques d'approvisionnement et de prix dans le processus de production en série lors de la fabrication de produits. En outre, les fabricants de produits sont de plus en plus responsabilisés en ce qui concerne les conséquences écologiques et sociétales de l'extraction et du traitement des matières premières. Des risques de vente et d'image peuvent donc découler de l'utilisation de matières premières qui doivent être considérées comme critiques à cet égard. L'identification des risques liés aux matières premières est donc un aspect important pour le développement durable des produits.

La notion de criticité des matières premières décrit les risques liés à l'approvisionnement en matières premières. Lors de l'analyse, la situation de l'approvisionnement en matières premières est examinée sur la base de critères géologiques, structurels et techniques, géopolitiques, économiques, écologiques et sociétaux. (Kranich et al. 2019).

**Critère d'évaluation/indicateur**

La méthode d'évaluation de la criticité se base sur l'analyse du risque d'approvisionnement et de la vulnérabilité (vulnerability) des économies nationales, des secteurs ou des entreprises face aux pénuries d'approvisionnement. Il y a quelques années, une telle évaluation a été décrite dans la norme VDI 4800, feuille 2 (directive VDI)a été décrite pour la première fois dans une norme. Celle-ci définit au total 16 critères de risque d'approvisionnement, qui se répartissent en trois catégories principales : géologique et structurel-technique, géopolitique et réglementaire, et économique. Les risques géologiques liés aux matières premières se rapportent à la disponibilité des quantités de matières premières non encore exploitées et à leur portée, sur la base des chiffres de production actuels. Un exemple de facteurs structurels est l'extraction de matières premières en tant que co-produit, où l'extraction est déterminée par la rentabilité du produit principal. Les risques géopolitiques et réglementaires résultent par exemple de la concentration par pays des gisements ou de la production de matières premières ainsi que des conditions-cadres telles que les obstacles non tarifaires au commerce. Les critères économiques évaluent la situation de l'offre et de la demande. Ils incluent également la volatilité des prix des matières premières et l'évaluation de la capacité d'adaptation par la substitution de la matière première.

Selon la VDI 4800, feuille 2, la vulnérabilité se réfère à une entreprise. (directive VDI)Elle se rapporte à une entreprise et non à une économie nationale ou à une branche. Les indicateurs permettant de l'évaluer sont par exemple la part à risque d'une matière première dans la marge brute, la valeur d'achat proportionnelle d'une matière première par rapport à l'achat total de matières premières et la valeur de la matière première pour la fonction du produit.

Dans le cadre des considérations de cette étude, la vulnérabilité n'est pas prise en compte, mais se concentre uniquement sur le risque d'approvisionnement.

**Matériaux à considérer**

Les produits de démonstration considérés (caisses et plateaux de transport réutilisables, gobelets à café réutilisables et plateaux à plantes réutilisables) sont généralement fabriqués en polyéthylène (PE) ou en polypropylène (PP). Il s'agit dans les deux cas de polyoléfines thermoplastiques. Leurs composants de base, l'éthylène et le propylène, sont fabriqués en grande partie (>99 pour cent) à partir de matières premières fossiles. Le pétrole brut prédomine, le gaz naturel ne représente qu'une faible part, surtout aux États-Unis pour la production de polyéthylène. Des types de PE et PP biosourcés sont disponibles sur le marché en petites quantités, moins de 400 000 t/an au total, sur une production totale de PE et PP d'environ 200 millions de t/an. En raison de ces proportions quantitatives, l'examen de la criticité se limite aux polymères à base fossile.

La production de matières plastiques à base fossile dans l'UE est fortement dépendante de l'importation de pétrole comme matière première (84,9 % en 2011). (Bilici, N., Pehlivanli, R., & Ashirkhanova, K. 2017). Par conséquent, la dépendance aux importations est élevée, mais ne doit pas être considérée comme critique à l'heure actuelle en raison d'un grand nombre de pays importateurs. La demande mondiale de pétrole brut pour la production de matières plastiques et l'approvisionnement en énergie augmentera dans les années à venir, mais une augmentation modérée de la consommation devrait permettre de garantir l'approvisionnement. (Gaedicke et al. 2020). Même si l'approvisionnement en pétrole devait devenir critique à moyen terme (dans 20 à 30 ans), la production de plastique pourrait se tourner vers d'autres sources. Le polyéthylène peut être produit de manière aussi économique qu'à partir de fractions légères du pétrole, à partir du gaz liquide accompagnant l'extraction du gaz naturel. L'éthylène et le propylène peuvent en outre être produits à partir du produit chimique intermédiaire qu'est le méthanol. Ce dernier est aujourd'hui principalement produit à partir du gaz naturel, mais sa fabrication à partir du charbon encore disponible en grandes quantités ou à partir de sources non finies comme la biomasse ou le dioxyde de carbone et l'hydrogène renouvelable offre d'autres alternatives qui ne sont pas critiques du point de vue de l'approvisionnement en matières premières. Des efforts accrus pour réduire les émissions de gaz à effet de serre peuvent toutefois entraîner à l'avenir des changements dans les prix des matières premières fossiles et modifier ainsi l'économie de l'approvisionnement.

Les matières premières de polyéthylène et de polypropylène doivent être dotées d'additifs stabilisants pour leur traitement et pour garantir une longue durée de

conservation. Les antioxydants primaires et secondaires ainsi que les photoprotecteurs utilisés à cet effet sont également basés en grande partie sur des matières premières pétrochimiques. Outre l'élément de base qu'est le carbone, ils contiennent du phosphore et de l'azote. Ce dernier est obtenu pour les synthèses organiques par le procédé Haber-Bosch sous forme d'ammoniac à partir d'azote atmosphérique et d'hydrogène et est donc disponible en quantité non limitée - à condition que l'approvisionnement en énergie soit suffisant pour cette réaction endothermique à haute pression. Les minerais de phosphate sont une source d'utilisation du phosphore dans la chimie organique. Ceux-ci sont actuellement classés par l'Agence allemande des matières premières (Al Barazi et al. 2021) classés dans le groupe de risque 2, risque moyen, en ce qui concerne la sécurité d'approvisionnement (Al Barazi et al. 2021). Lors de l'évaluation du risque d'approvisionnement en phosphore pour la fabrication de produits chimiques spéciaux, il faut toutefois tenir compte du fait que le domaine d'utilisation de loin le plus important du phosphore est l'industrie des engrais, avec 82 pour cent des phosphates extraits dans le monde. (Killiches 2013). En outre, outre la chimie, l'industrie des boissons, l'industrie alimentaire et l'industrie de l'alimentation animale utilisent également des produits chimiques de base contenant du phosphore. Dans l'industrie chimique, l'utilisation de phosphates dans les produits de lavage et de nettoyage est en baisse constante depuis des années. C'est pourquoi nous partons du principe qu'il n'y aura pas non plus de risques fondamentaux d'approvisionnement en phosphore dans les décennies à venir pour la chimie spéciale des additifs pour plastiques, dont l'approvisionnement est proportionnellement très faible. Mais là aussi, des augmentations de prix peuvent survenir, ce qui est dû au caractère limité de la ressource en minerai de phosphate.

**Conclusion :** L'analyse réalisée dans le cadre de cette étude n'a pas donné de résultats significatifs sur la criticité des emballages plastiques réutilisables considérés. Nous en concluons que la catégorie de la criticité des matières premières ou des matériaux ne sera pas prise en compte plus avant dans l'analyse des démonstrateurs.

### 8.2 Additifs critiques

De nombreux produits en plastique contiennent des additifs qui modifient leurs propriétés physico-mécaniques, par exemple des retardateurs de flamme, des plastifiants ou des stabilisateurs. Parmi les additifs utilisés figuraient autrefois des produits chimiques qui sont aujourd'hui considérés comme des "substances extrêmement préoccupantes" *(SVHC, Substances of Very High Concern, une liste de produits chimiques critiques selon l'Agence européenne des produits chimiques, ECHA)* conformément au règlement REACH. (CE 1907/2006)ou même comme "polluants organiques persistants" *(POP, Persistant Organic Pollutants, selon la Convention de Stockholm des Nations unies).* (PNUE). Parmi les exemples de ces substances chimiques (éléments, composés ou groupes de composés chimiques) figurent les composés organiques halogénés tels que le DDT, les polychlorobiphényles (PCB), les dioxines, les retardateurs de flamme bromés et les agents de surface polyfluorés. Mais ils comprennent également certains esters de phtalate utilisés comme plastifiants dans certains plastiques, des pigments

contenant du plomb, des composés aromatiques simples comme le benzène et le toluène ou des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

Pour être classée comme SVHC, une substance doit au moins répondre aux critères de l'article 57 du règlement REACH (CE 1907/2006) répondre aux exigences de la directive :

- cancérogène selon l'article 57a *(classification dans la classe de danger "cancérogénicité" de catégorie 1A ou 1B selon le CLP)* ;
- mutagène conformément à l'article 57b *(classification dans la classe de danger Mutagénicité des cellules germinales de catégorie 1A ou 1B selon le CLP)* ;
- toxique pour la reproduction selon l'article 57c *(classification dans la classe de danger toxicité pour la reproduction de catégorie 1A ou 1B selon le CLP)* ;
- persistantes, bioaccumulables et toxiques conformément à l'article 57d, selon les critères de l'annexe XIII du règlement REACH (substances PBT) ;
- très persistantes et très bioaccumulables conformément à l'article 57e, selon les critères de l'annexe XIII du règlement REACH (substances vPvB) ;
- il existe des preuves scientifiques d'effets graves probables sur la santé humaine ou l'environnement, par exemple des substances neurotoxiques et des perturbateurs endocriniens ; ces substances sont évaluées au cas par cas conformément à l'article 57 septies.

Conformément à ces critères, 54 substances ou groupes de substances ont été classés SVHC en février 2020 et ajoutés à la liste des substances soumises à autorisation de l'annexe XIV du règlement REACH. Un certain nombre d'autres substances/groupes de substances, 52 au total, dont les POP de la Convention de Stockholm, étaient déjà soumis à des restrictions lors de la parution du règlement REACH et sont listés à l'annexe XVII de ce dernier. (CE 1907/2006)..

**Critère d'évaluation/indicateur**

Il s'agit d'examiner dans quelle mesure des additifs critiques peuvent être présents dans les produits de démonstration correspondants (caisses et plateaux de transport réutilisables, gobelets à café réutilisables et plateaux à plantes réutilisables). Ceux-ci sont généralement fabriqués en polyéthylène (PEHD) ou en polypropylène (PP). Les caisses de transport et les gobelets sont des produits qui entrent en contact avec des denrées alimentaires. Ils sont donc soumis aux réglementations de l'EFSA (European Food Safety Authority) concernant les substances en contact avec les aliments. Seules les substances autorisées en Europe et figurant dans la version actuelle du règlement UE 10/2011 (UE 10/2011) environ 600 substances peuvent être utilisées comme additifs et auxiliaires de fabrication de polymères pour les matières plastiques.

Dans le cas des plastiques, le polymère de base est généralement transformé sous la forme d'une formule (compound) avec différents additifs. Il s'agit de substances qui sont ajoutées pour améliorer la transformation, la fonctionnalité et les propriétés de vieillissement du polymère. Les additifs pour plastiques se répartissent essentiellement dans les 4 catégories suivantes (Hansen et al. 2013):

- Additifs fonctionnels (stabilisants, antistatiques, ignifuges, plastifiants, lubrifiants, lubrifiants, durcisseurs, agents moussants, biocides, etc.)
- Colorants (pigments, colorants solubles, etc.)
- Charges (mica, talc, kaolin, argile, craie, sulfate de baryum, etc.)
- les matériaux de renforcement (surtout les fibres de verre, les fibres de carbone).

Les matières premières de polyéthylène et de polypropylène doivent être dotées d'additifs stabilisants pour leur traitement et pour garantir une longue durée de conservation. Pour cela, on utilise des antioxydants primaires et secondaires ainsi que des photoprotecteurs. (Wegmann et al. 2016). En outre, selon l'application, ces polyoléfines contiennent également des auxiliaires technologiques tels que des lubrifiants et des agents de glissement, par exemple dans les bouchons à vis. (Gall et al. 2020). Les charges minérales, principalement le talc ou la craie, servent à augmenter la stabilité mécanique et à réduire le prix des composés, car il s'agit d'additifs minéraux bon marché. (Knerr et Hersche 2016). L'ECHA a rassemblé une vue d'ensemble des principaux additifs fonctionnels dans les matières plastiques en collaboration avec les fabricants de matières plastiques et la met à disposition sur Internet (https://echa.europa.eu/de/mapping-exercise-plastic-additives-initiative).

Additifs potentiellement nocifs utilisés dans le PE et le PP, tirés de l'aperçu des substances toxiques dans les plastiques en (Hansen et al. 2014):

- Triclosan (biocide, sur la liste prioritaire norvégienne) mais : pas d'autorisation alimentaire et mention : "exposure of consumers from plastics is assumed negligible".
- pigments contenant du plomb
- chlorhydrate de vert malachite, oxalate de vert malachite (colorant)
- C.I. Disperse Yellow 3 et C.I. Solvent Yellow 14 (colorants jaunes)
- HAP issus de colorants noirs
- Stabilisateurs UV, antioxydants et autres stabilisateurs :
  en raison des faibles concentrations (0,1 - 1,0 pour cent), le risque d'exposition pour les consommateurs est faible.

Dans les polymères autres que le PE, le PP et le PS, pertinents pour les exemples considérés ici, notamment le chlorure de polyvinyle PVC, ainsi que dans les mélanges de caoutchouc, des additifs toxiques tels que les phtalates, les retardateurs de flamme bromés, le bisphénol A et ses esters, les composés de plomb, d'étain et de cadmium, le formaldéhyde, l'acétaldéhyde, les composés de nonylphénol, le MTBE (méthyl-tertio-butyl-éther) ou le benzène étaient autrefois ajoutés. Toutes ces substances ou classes de substances n'étaient et ne sont généralement pas utilisées dans les matériaux thermoplastiques (PE, PP, PS) pour les gobelets, les caisses de transport réutilisables et les plateaux à plantes.

Ces polyoléfines n'ont pas besoin de plastifiants, car leurs polymères de base donnent déjà des matériaux flexibles - contrairement au PVC qui est très cassant et dur à l'état pur ; les stabilisants contenant du plomb, de l'étain ou du cadmium comme dans le PVC ne sont pas nécessaires, car aucun acide chlorhydrique agressif ne peut se former lors de la transformation, et les retardateurs de flamme ne sont

pas courants dans les applications. Outre les substances critiques contenues dans les PVC recyclés issus du secteur de la construction (sols, profilés de fenêtres), on trouve aujourd'hui encore des retardateurs de flamme en tant que substances critiques dans les plastiques de nombreux articles électriques et électroniques. (Wagner et Schlummer 2020). En ce qui concerne les gobelets réutilisables pour boissons, qui sont composés de résines duromères (résine de mélamine), il faut tenir compte des risques liés à la formation de formaldéhyde.

Des études ont été décrites, voir par ex. l'aperçu dans (Hahladakis et al. 2018)., dans lesquelles la migration d'antioxydants, de stabilisants à la lumière et d'auxiliaires technologiques habituellement utilisés dans le PP et le PEHD vers des aliments ou des simulants alimentaires a été observée. Les auteurs soulignent toutefois que si les exigences légales garantissant la sécurité des matériaux plastiques en contact avec les aliments sont respectées, ces matériaux ne présentent aucun risque, même en cas de recyclage.

**Conclusion :** les considérations menées dans le cadre de cette étude permettent de conclure que les emballages plastiques réutilisables ne contiennent pas d'additifs critiques, au sens de fortement polluants, si les fabricants de matériaux respectent les dispositions de la législation sur les produits chimiques en vigueur dans l'UE. Par conséquent, la catégorie "additifs critiques" n'est pas prise en compte dans l'analyse des démonstrateurs.

### 8.3 Appauvrissement des ressources

Les ressources naturelles, biotiques et abiotiques, sont fondamentales pour l'évaluation écologique et socio-économique. (Crenna et al. 2018). Cependant, l'impact sur l'appauvrissement des ressources mondiales est généralement mesuré par l'évaluation de l'utilisation des ressources abiotiques, telles que les combustibles fossiles, les minéraux, les métaux ou l'eau. La valeur de l'appauvrissement des ressources abiotiques d'une substance (par exemple, le lignite ou le charbon) est une mesure de son épuisement des ressources et est principalement mesurée comme critère d'évaluation via l'analyse du cycle de vie (ACV). L'épuisement des ressources dépend de la quantité et de la rareté des ressources utilisées ainsi que du taux de prélèvement au cours du cycle de vie d'un produit, et donc des restrictions sur la disponibilité des ressources pour les générations actuelles et futures. (Hauschild et al. 2013) .

En général, l'appauvrissement des ressources abiotiques est formé par des facteurs de caractérisation qui mesurent la quantité et la rareté des ressources utilisées en équivalent antimoine [Eq. Sb]. D'autres indicateurs calculent l'utilisation des minéraux en équivalents de fer ou de pétrole [kg éq. Fe ou kg éq. pétrole] ou la disponibilité monétaire des ressources [$]. Les facteurs de caractérisation de l'épuisement des ressources abiotiques sont sensibles aux variations temporelles de la production et des réserves disponibles au niveau mondial.

L'épuisement des ressources abiotiques est l'une des catégories d'impact les plus souvent discutées dans les ACV. Il existe de nombreuses méthodes de calcul de cette catégorie d'impact. (van Oers et Guinée 2016). Les différentes méthodes

reflètent des différences dans la définition du problème au sein d'une ACV. Cependant, le débat sur la caractérisation des catégories d'impact liées à l'épuisement dans l'ACV n'est pas clos. (Guinée et Lindeijer 2008 ; Klinglmair et al. 2014 ; Stotz et al. 2017). D'autres indicateurs d'ACV, tels que le "global resource indicator" (indicateur global de ressources), permettent d'évaluer la consommation de ressources. (Adibi et al. 2017) ,caractérise la consommation de ressources dans l'esprit de l'économie circulaire. Cet indicateur prend en compte pour la première fois la recyclabilité et la criticité de la consommation de ressources dans un indicateur multicritère qui complète les aspects de rareté. Cette approche n'a toutefois pas été trouvée dans la littérature actuelle sur les systèmes d'emballage, mais pourrait être utilisée dans de futures études afin de mieux prendre en compte le recyclage et la criticité dans l'évaluation de la consommation de ressources. Dans ce rapport, nous avons principalement évalué des études qui indiquent l'appauvrissement des ressources en équivalent antimoine. L'appauvrissement des ressources est également déterminé par rapport au système à usage unique, étant donné qu'il n'est pas possible de fixer des limites uniformes pour les chiffres absolus des différents systèmes. Cependant, seuls les chiffres basés sur la même unité sont mis en relation, par exemple l'éq. Sb/unité fonctionnelle.

**Conclusion :** la sollicitation des ressources en tant que catégorie d'impact environnemental est considérée comme peu robuste. Bien que la catégorie d'impact environnemental soit recommandée par le Joint Research Center et la CE, le niveau de robustesse III est attribué à cette catégorie, ce qui signifie que la catégorie est recommandée, mais que son application et son interprétation sont très incertaines. En raison du fait que seules quelques études ont examiné l'appauvrissement des ressources dans ce domaine, et ce en partie sur la base de méthodes différentes, cette catégorie n'a pas pu être évaluée en raison de la base de données insuffisante.

# 9 Annexe

## 9.1 Calcul de comparaison pour la dépense d'énergie primaire

Le processus de calcul permettant de déterminer le rapport entre les dépenses d'énergie primaire pour les systèmes réutilisables et les systèmes à usage unique est présenté ci-dessous. La présentation des résultats se trouve dans Figure 7, chapitre 4.4, ainsi que dans Tableau 22, plus loin dans cette section.

Pour les systèmes à usage unique, le calcul tient compte d'un recyclage complet plus le nettoyage des granulés ; pour les systèmes réutilisables, la fabrication (répartie sur le nombre de rotations), la réparation et le nettoyage sont inclus. Un taux de rupture de 1 % a été pris en compte pour la réparation et de 50 % pour le remplacement des composants. Ce dernier se traduit par un coût supplémentaire de moulage par injection. Le nettoyage est calculé en fonction de la masse. Les éventuelles dépenses supplémentaires pour le nettoyage des granulés en raison de la surface plus élevée au détriment des systèmes à usage unique n'ont pas été prises en compte.

$$PEA_{EW} = PEA_{EW,SP} + PEA_{EW,REC} + PEA_{EW,CLE} + PEA_{EW,TR}$$

$$PEA_{EW} = m_{EW} * (PEF_{Strom}EV_{SP} + PEF_{Strom}EV_{REC} + PEF_{Gas}EV_{CLE}) + s_{EW} * PEF_{Diesel}(EV_{leer} + EV_{Ladung} * m_{EW})$$

$$PEA_{MW} = PEA_{MW,SP} + PEA_{MW,REP} + PEA_{MW,CLE} + PEA_{MW,TR}$$

$$PEA_{MW} = m_{MW} * \left(\frac{PEF_{Strom}EV_{Sp}(1 + RQ * RA) + PEF_{Strom}EV_{Rec}}{UZ} + PEF_{Strom}EV_{Clean}\right) + s_{MW} * (EV_{leer} + EV_{Ladung} * m_{MW})$$

$$m_{MW} = MV * m_{MW}$$

$$s_{MW} = SV * s_{EW}$$

Avec les variables de calcul :

| | |
|---|---|
| $EV$ | Consommation d'énergie pour le moulage par injection (ici : 2,7 kWh/kg), le recyclage (ici : 1,0 kWh/kg), le nettoyage (ici : 0,11 kWh/kg), le transport à vide (ici : 2,9 kWh/km), le transport de charge (ici : 0,09 kWh/tkm) |
| $m$ | Masse de l'emballage, valeur de base pour un usage unique:1000 kg par 25 tonnes de chargement |
| $MV$ | Rapport de masse pour réutilisable/jetable (ici : varie à 2 et 5) |
| $PEA$ | Dépenses d'énergie primaire |

| | |
|---|---|
| $PEF$ | Facteur d'énergie primaire pour l'électricité, le gaz, le diesel |
| $RQ$ | Taux de réparation (ici : 1 pour cent) |
| $RA$ | Part de réparation (ici : 50 pour cent) |
| $s$ | Distance, valeur de base : 750 km |
| $SV$ | Rapport de distance réutilisable/unique (ici : varie à 0,5, 1 et 2) |
| $UZ$ | Nombre de rotations (varie ici de 1 à 100) |

Avec des indices :

| | | | |
|---|---|---|---|
| $CLE$ | Nettoyage | $REP$ | Réparation |
| $EW$ | À usage unique | $SP$ | Moulage par injection |
| $MW$ | Réutilisable | $TR$ | Transport |
| $REC$ | Recyclage | | |

Résultat du calcul : $PEA_{EW} = 6\,432$ kWh

Tableau 22: Résultats des calculs pour le ratio $PEA_{MW}$ / $PEA_{EW}$ en fonction de la variation des paramètres nombre de tours, rapport de masse et rapport de distance

| $UZ$ | $MV = 2{,}0$ $SV = 0{,}5$ | $MV = 2{,}0$ $SV = 1{,}0$ | $MV = 2{,}0$ $SV = 2{,}0$ | $MV = 5{,}0$ $SV = 0{,}5$ | $MV = 5{,}0$ $SV = 1{,}0$ | $MV = 5{,}0$ $SV = 2{,}0$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1,39 | 1,60 | 2,00 | 3,18 | 3,38 | 3,79 |
| 2 | 0,82 | 1,02 | 1,43 | 1,73 | 1,94 | 2,34 |
| 3 | 0,62 | 0,83 | 1,23 | 1,25 | 1,46 | 1,86 |
| 4 | 0,53 | 0,73 | 1,14 | 1,01 | 1,21 | 1,62 |
| 5 | 0,47 | 0,67 | 1,08 | 0,87 | 1,07 | 1,48 |
| 10 | 0,35 | 0,56 | 0,96 | 0,58 | 0,78 | 1,19 |
| 15 | 0,32 | 0,52 | 0,93 | 0,48 | 0,69 | 1,09 |
| 20 | 0,30 | 0,50 | 0,91 | 0,43 | 0,64 | 1,05 |
| 25 | 0,28 | 0,49 | 0,90 | 0,40 | 0,61 | 1,02 |
| 30 | 0,28 | 0,48 | 0,89 | 0,39 | 0,59 | 1,00 |
| 35 | 0,27 | 0,47 | 0,88 | 0,37 | 0,58 | 0,98 |
| 40 | 0,27 | 0,47 | 0,88 | 0,36 | 0,57 | 0,97 |
| 45 | 0,26 | 0,47 | 0,88 | 0,35 | 0,56 | 0,96 |
| 50 | 0,26 | 0,46 | 0,87 | 0,35 | 0,55 | 0,96 |
| 55 | 0,26 | 0,46 | 0,87 | 0,34 | 0,55 | 0,95 |
| 60 | 0,26 | 0,46 | 0,87 | 0,34 | 0,54 | 0,95 |
| 65 | 0,26 | 0,46 | 0,87 | 0,33 | 0,54 | 0,95 |

| $UZ$ | $MV = 2{,}0$ $SV = 0{,}5$ | $MV = 2{,}0$ $SV = 1{,}0$ | $MV = 2{,}0$ $SV = 2{,}0$ | $MV = 5{,}0$ $SV = 0{,}5$ | $MV = 5{,}0$ $SV = 1{,}0$ | $MV = 5{,}0$ $SV = 2{,}0$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 70 | 0,25 | 0,46 | 0,87 | 0,33 | 0,53 | 0,94 |
| 75 | 0,25 | 0,46 | 0,86 | 0,33 | 0,53 | 0,94 |
| 80 | 0,25 | 0,46 | 0,86 | 0,33 | 0,53 | 0,94 |
| 85 | 0,25 | 0,46 | 0,86 | 0,32 | 0,53 | 0,93 |
| 90 | 0,25 | 0,45 | 0,86 | 0,32 | 0,53 | 0,93 |
| 95 | 0,25 | 0,45 | 0,86 | 0,32 | 0,52 | 0,93 |
| 100 | 0,25 | 0,45 | 0,86 | 0,32 | 0,52 | 0,93 |

## 9.2 Entretiens d'experts réalisés

Outre l'analyse de la littérature, de nombreuses informations ont été recueillies dans le cadre d'entretiens avec des experts et ont été mises en évidence à l'endroit approprié dans le texte. Les entretiens suivants ont été menés :

Pâte à fruits et légumes :

- Bekuplast : Andreas Robbert
- IFCO : Bodo Muske
- Schoeller Group : Richard Kellerer
- WBG Pooling : Klaus Endebrock, Ann-Kathrin Herzog, Gerit Hofemeister

Plateaux à plantes

- Fraunhofer IML : Wolfgang Lammers
- Schoeller Allibert : Patrick Breukers
- Fondation Initiative Réutilisation : Günter Gerland, Jens Oldenburg

Gobelets Coffee to go :

- reCup : Florian Pachaly

Moulage par injection de systèmes réutilisables :

- Haidlmaier : Mario Haidlmaier

Nous tenons à remercier une nouvelle fois toutes les personnes interviewées pour leur participation.

## 9.3 Limites de l'étude

### 9.3.1 Évaluation de la qualité des données

**Sur la base d'expertises**

Nous faisons une distinction entre l'avis d'experts externes et l'auto-évaluation de la propre expertise des auteurs, dans la mesure où celle-ci a été prise en compte dans le traitement. L'évaluation s'effectue à l'aide d'un seul chiffre compris entre 1 et 4, selon la nomenclature suivante (Tableau 23) :

Tableau 23: Matrice Pedigree pour l'évaluation des expertises

| **Points** | **1** | **2** | **3** | **4** |
|---|---|---|---|---|
| **Niveau** | **Expertise formelle** | **Structuré Avis d'experts** | **Avis d'experts** | **Fondé Présomption** |
| Évaluation de l'expertise | Complètement informé sur l'objet de l'étude ; informations fournies dans le contexte de la collecte (empirique) de données | Basé sur quelques données empiriques ou sur une procédure compréhensible avec des expertises formelles | Informé de l'objet de l'enquête, mais sans base de données correspondante | Basé sur des hypothèses spéculatives ou non vérifiables |

Une distinction est faite entre l'évaluation de la qualité des données issue de l'enquête menée auprès d'experts externes, signalée par la mention [X], et l'auto-évaluation de la propre expertise, si celle-ci a été intégrée : [X]*.

**Sur la base de sources bibliographiques et Internet ainsi que de bases de données**

La littérature et les sources Internet sont évaluées au moyen d'une matrice 5 x 4. Le résultat est un quintuplet de 5 chiffres compris entre 1 et 4.

[v, w, x, y, z] : évaluation de la qualité des données à partir de sources bibliographiques et Internet

Une source unique dont plusieurs valeurs ont été extraites peut également être évaluée différemment en termes de qualité des différentes données.

Tableau 24: Matrice Pedigree pour l'évaluation des sources bibliographiques et Internet

| Points | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| **Catégorie/niveau** | **Très bon** | **Plutôt bon** | **Plutôt mauvais** | **mauvais** |
| Intégralité | L'objet de l'enquête est identique | L'objet de l'enquête est similaire ou correspond en partie à l'objet de l'enquête | L'objet est comparable mais différent | L'objet n'est que très vaguement comparable à l'objet de l'étude |
| la représentativité matérielle et/ou ou représentativité géométrique | Les matériaux ou produits examinés sont identiques à ceux de l'étude. | Les matériaux ou produits examinés sont similaires à ceux de l'étude | Les matériaux ou produits examinés sont comparables à ceux de l'étude | Les matériaux ou produits examinés ne sont que vaguement comparables à ceux de l'étude |
| Représentativité géographique | Allemagne | Région similaire sur le plan socio-économique et/ou climatique (par exemple, l'Europe centrale) | Différence socio-économique et/ou climatique (UE, USA) | Socio-économiquement très différent (par ex. monde, Chine) ou pas de conditions marginales spécifiées |
| Représentativité temporelle | < 5 ans | 5 à 10 ans | > 10 à 15 ans | > 15 ans ou pas d'information sur la référence temporelle |
| Fiabilité de la source | Toutes les données et méthodes de calcul pertinentes sont compréhensibles et correctes ; rapports officiels, publications évaluées par des pairs | La méthode de calcul est simplifiée mais correcte ou les données de départ sont parfois imprécises, rapports sur le marché et la technologie des associations | Le mode de calcul est très simplifié ou n'est pas tout à fait correct, les données de départ sont estimées (en partie seulement de manière approximative) | Le mode de calcul est grossièrement simplifié, erroné et difficilement compréhensible |

### 9.3.2 Comparabilité des études d'ACV

Les valeurs des catégories d'impact environnemental - émissions de gaz à effet de serre et dépenses énergétiques cumulées - sont tirées de la littérature qui se réfère exclusivement aux normes de la série ISO 14040. Ces normes décrivent les principes et les lignes directrices d'une ACV. (ISO 14040:2006 ; ISO 14044:2006). L'évaluation de l'impact consiste à rassembler les données relatives aux émissions et à la consommation d'une activité ou sur le cycle de vie d'un produit sous forme de catégories d'impact environnemental. Néanmoins, les bases de calcul et les conditions marginales ainsi que les hypothèses varient d'une étude à l'autre. Le résultat d'une catégorie d'impact environnemental des systèmes d'emballage dépend significativement des hypothèses. Citons par exemple les hypothèses relatives au nombre de rotations ou aux distances de transport, mais aussi l'utilisation de matériaux recyclés et les estimations relatives aux pertes de

matériaux et aux taux de retour. Les différences entre ces hypothèses dans les différentes études ont déjà été abordées dans les catégories de performance et de circularité correspondantes. C'est pourquoi les résultats des émissions de GES et de l'ACE pour les variantes étudiées doivent toujours être considérés avec les valeurs respectives supposées des catégories de performance et de circularité. Afin de pouvoir comparer les résultats des catégories d'impact environnemental de différentes sources pour les systèmes à usage unique et réutilisables dans cette méta-analyse, la cohérence des résultats et de la base de calcul doit être garantie, par exemple en ce qui concerne les données de base et les limites du système. Une cohérence des études n'est pas entièrement assurée, c'est pourquoi cela peut conduire à des incertitudes dans l'interprétation des données en dehors de la qualité des données déjà notée à partir de sources bibliographiques et Internet au moyen de la matrice de Pedigree. Les incertitudes et les problèmes potentiels liés à la comparabilité des résultats d'ACV de différentes études sont par exemple soulignés par les auteurs suivants Roßmann et al. (2021) ou Weidema (2019) signalent.

En plus de conditions marginales et d'hypothèses différentes, les études examinées utilisent parfois des bases de modélisation et de calcul différentes. Dans la plupart des cas, les résultats sont indiqués selon l'approche dite de substitution. Cela signifie que des crédits sont attribués pour les ressources secondaires et les gains d'énergie en fin de vie pour les émissions évitées, si leur mise à disposition permet de remplacer des ressources et des énergies primaires. C'est le cas, par exemple, lorsque la fourniture de chaleur et d'électricité lors de l'incinération des déchets remplace l'énergie primaire. En principe, il s'agit d'une pratique courante dans les analyses de cycle de vie, même si l'utilisation de crédits est parfois critiquée. (Brander et Wylie 2011). Lors de la comparaison entre les emballages en plastique et en papier, l'influence sur le résultat de la prise en compte ou non des crédits en fin de vie peut conduire à des conclusions différentes.

Pour les raisons susmentionnées, il est généralement déconseillé de comparer les résultats individuels de différentes études en raison du manque de cohérence. (Weidema 2019). Pour la présente méta-analyse, cela s'est avéré en partie nécessaire. La comparaison présentée ici entre les systèmes à usage unique et les systèmes réutilisables sur la base de l'impact environnemental et des données de différentes études reflète donc une première estimation et est entachée d'incertitudes en raison de la dépendance aux hypothèses et aux conditions limites retenues. Dans le cadre de cette étude, nous avons tenté d'établir une base de comparaison en convertissant les résultats des publications considérées en une unité de référence de fonction identique, à savoir 1000 litres de marchandises emballées. Dans le détail, il faudrait étudier séparément les différents systèmes, par exemple pour différents produits emballés, en se basant sur des hypothèses solides, afin de démontrer l'avantage réel du réutilisable ou du jetable.

## 9.4 Données tabulaires sur les catégories étudiées

### 9.4.1 Nombre de rotations

Tableau 25: Taux de rotation et durée de vie des cageots de fruits et légumes

| Système | Nombre de rotations | Durée de vie | Source/expert | Pedigree-Classification |
|---|---|---|---|---|
| À usage unique | 1 | Cycle d'utilisation | par définition | |
| Réutilisable | 1-150 | | (ADEME 2000) | [1,1,2,4,1] |
| Réutilisable | 50-100 | 10 | (Albrecht et al. 2009) | [1,1,1,3,1] |
| Réutilisable | 200 | 20 | (Levi et al. 2011) | [1,1,1,3,1] |
| Réutilisable | 50 - 200 | 20 | (Albrecht et al. 2013) | [1,1,1,3,1] |
| Réutilisable | 30 - 70 | | (Accorsi et al. 2014) | [1,1,2,2,2] |
| Réutilisable | 700 | 13,75 | (Koskela et al. 2014) | [2,1,2,2,1] |
| Réutilisable | 20 - 200 | | (Battini et al. 2016) | [1,1,2,2,2] |
| Réutilisable | 23,4 - 72,9 | | (Franklin Associates 2016) | [1,1,3,2,1] |
| Réutilisable | 100 | 10 | (Baruffaldi et al. 2019) | [1,1,2,2,2] |
| Réutilisable | 100 - 150 | 10 | (Abejón et al. 2020) | [1,1,2,2,1] |
| Réutilisable | | 7 | (Accorsi et al. 2020) | [1,1,2,2,1] |
| Réutilisable | 150 | 1,5 | (Antala et al. 2020) | [3,3,4,1,3] |
| Réutilisable | 50 | 5 | (Del Borghi et al. 2020) | [1,1,2,3,2] |
| Réutilisable | 150 | | (López-Gálvez et al. 2021) | [1,1,2,1,1] |
| Réutilisable | 1 - 125 | | (Tua et al. 2019) | [1,1,2,1,1] |
| Réutilisable | 50 | | (Hofmeister et al. 2021) | [1] |
| Réutilisable | 250 | | (Haidlmair 2021) | [1] |
| Réutilisable | 50 - 100 | 7-10 | (Muske 2021) | [1] |
| Réutilisable | | 10-15 | (Kellerer 2021) | [1] |
| Réutilisable | 100 - 200 | 5-20 | (Robbert 2021) | [1] |

Tableau 26: Nombre de rotations et durée de vie pour les plateaux de plantes

| Système | Nombre de rotations | Durée de vie | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|
| À usage unique | 1 | Cycle d'utilisation | par définition | |
| Réutilisable | 70 | | (van Paassen et Scholten 2020) | [1,1,1,1,1] |
| Réutilisable | 100 - 200 | | (Breukers 2021) | [1] |
| Réutilisable | | > 5 ans [39] | (HAWITA Technoplant 2021) | [1,1,1,1,4] |

Tableau 27: Taux de rotation et durée de vie des gobelets Coffee to go

| Système | Nombre de rotations | Durée de vie | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|
| À usage unique | 1 | Cycle d'utilisation | par définition | |
| Réutilisable | 15 / an | > 5 ans[40] | (Pachaly 2021) | [1] |

### 9.4.2 Efficacité des matériaux

Tableau 28: Intensité matérielle pour les branches de fruits et légumes

| Système | Spécification | masse moyenne [g] | Utilisations/ Nombre de rotations | Volume du produit [L] | Matériau-intensité [g/(L x Service)] | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Réutilisable | PP | 1400 | 5 | 22,3 | 12,56 | UMSICHT | [1]* |
| Réutilisable | PP | 1650 | 5 | 29,8 | 11,07 | UMSICHT | [1]* |
| Réutilisable | PP | 1859 | 5 | 36,9 | 10,08 | UMSICHT | [1]* |
| Réutilisable | PP | 2050 | 5 | 44,2 | 9,28 | UMSICHT | [1]* |
| Réutilisable | PP | 1400 | 50 | 22,3 | 1,26 | UMSICHT | [1]* |
| Réutilisable | PP | 1650 | 50 | 29,8 | 1,11 | UMSICHT | [1]* |
| Réutilisable | PP | 1859 | 50 | 36,9 | 1,01 | UMSICHT | [1]* |
| Réutilisable | PP | 2050 | 50 | 44,2 | 0,93 | UMSICHT | [1]* |

[39] 5 ans de garantie sur le produit
[40] Les gobelets actuels sont en circulation depuis mai 2017 au plus tôt.

| Système | Spécification | masse moyenne [g] | Utilisations/ Nombre de rotations | Volume du produit [L] | Matériau-intensité [g/(L x Service)] | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Réutilisable | PP | 1400 | 125 | 22,3 | 0,50 | UMSICHT | [1]* |
| Réutilisable | PP | 1650 | 125 | 29,8 | 0,44 | UMSICHT | [1]* |
| Réutilisable | PP | 1859 | 125 | 36,9 | 0,40 | UMSICHT | [1]* |
| Réutilisable | PP | 2050 | 125 | 44,2 | 0,37 | UMSICHT | [1]* |
| À usage unique | Carton | 420 | 1 | 22,3 | 18,8 | UMSICHT | [1]* |
| À usage unique | Carton | 490 | 1 | 29,8 | 16,4 | UMSICHT | [1]* |
| À usage unique | Carton | 550 | 1 | 36,9 | 14,9 | UMSICHT | [1]* |
| À usage unique | Carton | 620 | 1 | 44,2 | 14,0 | UMSICHT | [1]* |

Tableau 29: Intensité des matériaux pour les plateaux de plantes

| Système | Spécification | moyenne. Masse [g] | Utilisations/taux de rotation | Volume du produit [L] | Intensité du matériau [g/(L x service)] | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| À usage unique | PS | 135 (8 pots) | 1 | 0,75(1) | 22,5 | (Dobers et Lammers 2017 ; Pöppelmann 2021) | [1,1,1,1,1], [3]*, [1,1,1,1,1] |
| Réutilisable | HDPE | 400 (10 pots)(2) | 5 | 0,75(1) | 10,67 | (Dobers et Lammers 2017 ; Pöppelmann 2021) | [1,1,1,1,1], [3]* [1,1,1,1,1] |
| Réutilisable | HDPE | 400 (10 pots)(2) | 50 | 0,75(1) | 1,07 | (Dobers et Lammers 2017 ; Pöppelmann 2021) | [1,1,1,1,1], [3]* [1,1,1,1,1] |
| Réutilisable | HDPE | 400 (10 pots)(2) | 125 | 0,75(1) | 0,43 | (Dobers et Lammers 2017 ; Pöppelmann 2021) | [1,1,1,1,1], [3]* [1,1,1,1,1] |

(1) Le volume correspond au volume moyen des pots de 12 à 13 cm.

(2) La taille des barquettes et le nombre de pots tiennent compte d'une utilisation identique par surface.

Tableau 30: Intensité matérielle des gobelets Coffee to go

| Système | Spécification | masse moyenne [g] | Utilisations /taux de rotation | Volume du produit [L] | Intensité du matériau [g/(L x service)] | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| À usage unique | Papier/PE | 8,3 | 1 | 0,30 | 27,7 | (Martin et al. 2018) | [1,1,1,1,2] |
| Gobelets jetables pour distributeurs automatiques | PS | 4,1 | 1 | 0,18 | 22,8 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Carton/PE | 7,8 | 1 | 0,20 | 39,0 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Carton à double paroi/PE | 12,0 | 1 | 0,20 | 60,0 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Carton/PE | 10,7 | 1 | 0,30 | 35,7 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Carton à double paroi/PE | 18,2 | 1 | 0,30 | 60,7 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| Réutilisable | Céramique | 310 | 750 | 0,30 | 1,4 | (Martin et al. 2018) | [1,1,1,1,3] |
| Réutilisable | PP | 41 | 100 | 0,40 | 1,0 | (Pachaly 2021) | [1] |
| Réutilisable | PP | 33 | 5 | 0,30 | 22,00 | (Pachaly 2021) | [1] |
| Réutilisable | PP | 33 | 50 | 0,30 | 2,20 | (Pachaly 2021) | [1] |
| Réutilisable | PP | 33 | 125 | 0,30 | 0,88 | (Pachaly 2021) | [1] |

### 9.4.3 Retours et pertes de matériel

Tableau 31: Taux de réponse pour les branches de fruits et légumes

| Système | Spécification | Taux de réponse | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|
| Réutilisable | PP | >99 % | (Muske 2021) | [2] |
| À usage unique | Carton | 86 % | (Étudiants 2020) | [3,1,1,1,3] |

Tableau 32: Taux de réponse pour les plateaux de plantes

| Système | Spécification | Taux de réponse | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|
| À usage unique | PS | 55 % | (Normpack 2021) | [3,1,1,1,4] |
| Réutilisable | HDPE | >95 % | (Oldenbourg 2021) | [2] |

Tableau 33: Taux de retour des gobelets Coffee to go

| Système | Spécification | Taux de réponse | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|
| À usage unique | PS, PPK | 53 % | (Kauertz et al. 2019); Fraunhofer UMSICHT | [1,1,1,1,1] [4}* |
| Réutilisable | PP | 90 % | (Pachaly 2021) | [2] |

### 9.4.4 Réparabilité

Tableau 34: Réparabilité et valeurs indicatrices résultantes pour les cageots de fruits et légumes

| Système | Valeur de l'indicateur | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|
| À usage unique | -2 | Fraunhofer IML | [1]* |
| Réutilisable | -1 | (Kellerer 2021) | [1] |
| Réutilisable | -1 | (Robbert 2021) | [1] |
| Réutilisable | +2 | Hofemeister (WBG Pooling) 2021 | [1] |
| Réutilisable | +2 | (Muske 2021) | [1] |

Tableau 35: Réparabilité et valeurs indicatrices résultantes pour les plateaux de plantes

| Système | Valeur de l'indicateur | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|
| Réutilisable | 0 | Fraunhofer IML | [1]* |
| À usage unique | 0 | Fraunhofer IML | [1]* |

Tableau 36: Réparabilité et valeurs indicatrices résultantes pour les gobelets Coffee-to-go

| Système | Valeur de l'indicateur | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|
| Réutilisable | 0 | Fraunhofer IML | [1]* |

| Système | Valeur de l'indicateur | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|
| À usage unique | 0 | Fraunhofer IML | [1]* |

### 9.4.5 Recyclabilité

Tableau 37: Matériaux et valeurs indicatrices (VI) qui en découlent pour la recyclabilité de principe (PriRe) et la recyclabilité pratique (PraRe) pour les pâtes de fruits et légumes

| Système | Matériau | IWPriRe | IWPraRe | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|
| À usage unique | Carton | +2 | +2 | (Burger et al. 2021) | [1,1,1,1,1] |
| Réutilisable | PP / HDPE | +2 | +2 | (Abejón et al. 2020) | [1,1,2,2,1] |
| Réutilisable | PP | +2 | +2 | (Accorsi et al. 2014) | [1,1,2,2,2] |
| Réutilisable | PP | +2 | +2 | (ADEME 2000) | [1,1,2,4,1] |
| Réutilisable | PP / HDPE | +2 | +2 | (Albrecht et al. 2009) | [1,1,1,3,1] |
| Réutilisable | PP / HDPE | +2 | +2 | (Del Borghi et al. 2020) | [1,1,2,3,2] |
| Réutilisable | PP | +2 | +2 | (Franklin Associates 2016) | [1,1,3,2,1] |
| Réutilisable | PP | +2 | +2 | (Gruyters et al. 2019) | [1,1,2,1,1] |
| Réutilisable | HDPE | +2 | +2 | (Koskela et al. 2014) | [2,1,2,2,1] |
| Réutilisable | PP / HDPE | +2 | +2 | (Krieg et al. 2018) | [1,1,1,1,2] |
| Réutilisable | PP | +2 | +2 | (Levi et al. 2011) | [1,1,1,3,1] |
| Réutilisable | PP | +2 | +2 | (Lo-Iacono-Ferreira et al. 2021) | [1,1,1,1,1] |
| Réutilisable | PP | +2 | +2 | (López-Gálvez et al. 2021) | [1,1,2,1,1] |
| Réutilisable | PP | +2 | +2 | (Singh et al. 2006) | [1,1,3,3,1] |
| Réutilisable | PP | +2 | +2 | (Tua et al. 2019) | [1,1,2,1,1] |
| Réutilisable | PP / HDPE | +2 | +2 | (Hofmeister et al. 2021) | [3] |
| Réutilisable | PP / HDPE (PA, PET) | +2 | +2 | (Haidlmair 2021) | [2] |
| Réutilisable | PP | +2 | +2 | (Muske 2021) | [3] |

| Système | Matériau | IWPriRe | IWPraRe | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|
| Réutilisable | PP | +2 | +2 | (Kellerer 2021) | [1] |
| Réutilisable | PP / HDPE | +2 | +2 | (Robbert 2021) | [1] |

Tableau 38: Matériaux et valeurs indicatrices (VI) qui en découlent pour la recyclabilité de principe (PriRe) et la recyclabilité pratique (PraRe) pour les plateaux de plantes

| Système | Matériau | IWPriRe | IWPraRe | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|
| À usage unique | PS | +2 | +1 | (van Paassen et Scholten 2020) | [1,1,1,1,1] |
| Réutilisable | HDPE | +2 | +2 | (van Paassen et Scholten 2020) | [1,1,1,1,1] |
| Réutilisable | PP | +2 | +2 | (van Paassen et Scholten 2020) | [1,1,1,1,1] |
| Réutilisable | PP / HDPE | +2 | +2 | (Breukers 2021) | [1] |

Tableau 39: Matériaux et valeurs indicatrices (VI) qui en découlent pour la recyclabilité de principe (PriRe) et la recyclabilité pratique (PraRe) des gobelets Coffee-to-go

| Système | Matériau | IWPriRe | IWPraRe | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|
| À usage unique | PP, PET | +2 | +2 | (Cottafava et al. 2021) | [1,1,2,1,1] |
| À usage unique | PLA | +2 | 0 | (Cottafava et al. 2021) | [1,1,2,1,1] |
| À usage unique | Carton/PE | +2 | -2[41] | (Cottafava et al. 2021) | [1,1,2,1,1] |
| Réutilisable | PP, PET | +2 | +2 | (Cottafava et al. 2021) | [1,1,2,1,1] |
| Réutilisable | PLA | +2 | 0 | (Cottafava et al. 2021) | [1,1,2,1,1] |
| À usage unique | Carton/PE | +2 | +2 | (Foteinis 2020) | [1,1,2,1,1] |
| Réutilisable | PP | +2 | +2 | (Foteinis 2020) | [1,1,2,1,1] |
| À usage unique | PP | +2 | +2 | (Garrido et Del Alvarez Castillo 2007) | [1,1,2,3,1] |
| Réutilisable | PP | +2 | +2 | (Garrido et Del Alvarez Castillo 2007) | [1,1,2,3,1] |
| Réutilisable | PP | +2 | +2 | (Pachaly 2021) | [1] |

[41] Indication dans la source bibliographique : le carton revêtu de PE est incinéré

### 9.4.6 Taux de recyclage

Tableau 40: Matériaux et taux de recyclage (RQ) et valeurs indicatrices dérivées (IW) pour les hausses O/G

| Système | Matériau | RQ (%) | IWRQ | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|
| À usage unique | Carton | 89 | +2 | (Burger et al. 2021), tableau 84 | [1,1,1,1,1] |
| Réutilisable | PP / HDPE | 70 | +1 | (Abejón et al. 2020) | [1,1,2,2,1] |
| Réutilisable | PP | 80 | +1 | (Accorsi et al. 2014) | [1,1,2,2,2] |
| Réutilisable | PP | 20 | -2 | (ADEME 2000) | [1,1,2,4,1] |
| Réutilisable | PP / HDPE | 70 | +1 | (Albrecht et al. 2009) | [1,1,1,3,1] |
| Réutilisable | PP / HDPE | 93 | +2 | (Del Borghi et al. 2020) | [1,1,2,3,2] |
| Réutilisable | PP | 100 | +2 | (Franklin Associates 2016) | [1,1,3,2,1] |
| Réutilisable | HDPE | 20 | -2 | (Koskela et al. 2014) | [2,1,2,2,1] |
| Réutilisable | PP / HDPE | 77,5 | +1 | (Krieg et al. 2018) | [1,1,1,1,2] |
| Réutilisable | PP | 95 | +2 | (Levi et al. 2011) | [1,1,1,3,1] |
| Réutilisable | PP | 55 | 0 | (Lo-Iacono-Ferreira et al. 2021) | [1,1,1,1,1] |
| Réutilisable | PP | 79 | +1 | (López-Gálvez et al. 2021) | [1,1,2,1,1] |
| Réutilisable | PP | 100 | +2 | (Singh et al. 2006) | [1,1,3,3,1] |
| Réutilisable | PP | 100 | +2 | (Tua et al. 2019) | [1,1,2,1,1] |
| Réutilisable | PP / HDPE | 100 | +2 | Herzog (WBG Pooling) 2021 | [1] |
| Réutilisable | PP | 100 | +2 | (Muske 2021) | [1] |
| Réutilisable | PP | 100 | +2 | (Kellerer 2021) | [1] |
| Réutilisable | PP / HDPE | 100 | +2 | (Robbert 2021) | [1] |

Tableau 41: Matériaux et taux de recyclage (RQ) et valeurs indicatrices (VI) dérivées pour les plateaux de plantes

| Système | Matériau | RQ (%) | IWRQ | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|
| À usage unique | PS | 51,5 | 0 | (Burger et al. 2021), tableau 84 | [1,1,1,1,1] |
| Réutilisable | PP / HDPE | 100 | +2 | (Breukers 2021) | [1] |

Tableau 42: Matériaux et taux de recyclage (RQ) et valeurs indicatrices (VI) dérivées pour les gobelets C2G

| Système | Matériau | RQ (%) | IWRQ | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|
| À usage unique | PP, PET | 85 | +1 | (Cottafava et al. 2021) | [1,1,2,1,1] |
| À usage unique | PLA | 0 | -2 | (Cottafava et al. 2021) | [1,1,2,1,1] |
| À usage unique | Carton/PE | 0 | -2 | (Cottafava et al. 2021) | [1,1,2,1,1] |
| Réutilisable | PP, PET | 85 | +1 | (Cottafava et al. 2021) | [1,1,2,1,1] |
| Réutilisable | PLA | 0 | -2 | (Cottafava et al. 2021) | [1,1,2,1,1] |
| À usage unique | Carton/PE | 0 | -2 | (Foteinis 2020) | [1,1,2,1,1] |
| À usage unique | Carton/PE | 100 | +2 | (Foteinis 2020) | [1,1,2,1,1] |
| À usage unique | PP | 7 | -2 | (Garrido et Del Alvarez Castillo 2007) | [1,1,2,3,1] |
| Réutilisable | PP | 100 | +2 | (Pachaly 2021) | [1] |

### 9.4.7 Part de matières recyclées

Tableau 43 Matériaux et pourcentages de recyclats (RA) et valeurs indicatrices dérivées (IW) pour les pâtes O/G

| Système | Matériau | RA (%) | IWRA | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|
| À usage unique | Carton | 83 | +2 | Base de données Ecoinvent ; enregistrement "corrugated board, mixed fibre, double wall, at plant". | [1,1,1,1,1] |
| Réutilisable | PP / HDPE | 30 | 0 | (Abejón et al. 2020) | [1,1,2,2,1] |
| Réutilisable | PP | 0 | -2 | (ADEME 2000) | [1,1,2,4,1] |

| Système | Matériau | RA (%) | IWRA | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|
| Réutilisable | PP / HDPE | 70 | +2 | (Albrecht et al. 2009) | [1,1,1,3,1] |
| Réutilisable | HDPE | 0 | -2 | (Koskela et al. 2014) | [2,1,2,2,1] |
| Réutilisable | PP / HDPE | 10 | -2 | (Krieg et al. 2018) | [1,1,1,1,2] |
| Réutilisable | PP | 0 | -2 | (Levi et al. 2011) | [1,1,1,3,1] |
| Réutilisable | PP | 0 | -2 | (Lo-Iacono-Ferreira et al. 2021) | [1,1,1,1,1] |
| Réutilisable | PP | 0 | -2 | (López-Gálvez et al. 2021) | [1,1,2,1,1] |
| Réutilisable | PP | 0 | -2 | (Singh et al. 2006) | [1,1,3,3,1] |
| Réutilisable | PP | 61 | +1 | (Tua et al. 2019) | [1,1,2,1,1] |
| Réutilisable | PP / HDPE | 0 | -2 | (Hofmeister et al. 2021) | [3] |
| Réutilisable | PP / HDPE (PA, PET) | 45 | +1 | (Haidlmair 2021) | [2] |
| Réutilisable | PP | >30 | 0 | (Muske 2021) | [3] |
| Réutilisable | PP / HDPE | 35 | 0 | (Robbert 2021) | [1] |

Tableau 44: Matériaux et pourcentages de matières recyclées (RA) et valeurs indicatrices (VI) dérivées pour les plateaux de plantes

| Système | Matériau | RA (%) | IWRA | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|
| À usage unique | PS | 0 | -2 | (van Paassen et Scholten 2020) | [1,1,1,1,1] |
| Réutilisable | HDPE | 0 | -2 | (van Paassen et Scholten 2020) | [1,1,1,1,1] |
| Réutilisable | PP | 100 | +2 | (van Paassen et Scholten 2020) | [1,1,1,1,1] |
| Réutilisable | PP / HDPE | 100 | +2 | (Breukers 2021) | [1] |

Tableau 45: Matériaux et pourcentages de matières recyclées (RA) et valeurs indicatrices (VI) dérivées pour les gobelets C2G

| Système | Matériau | RA (%) | IWRA | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|
| À usage unique | Carton/PE | 0 | -2 | (Cottafava et al. 2021) | [1,1,2,1,1] |
| À usage unique | PP | 0 | -2 | (Garrido et Del Alvarez Castillo 2007) | [1,1,2,3,1] |
| Réutilisable | PP | 0 | -2 | (Garrido et Del Alvarez Castillo 2007) | [1,1,2,3,1] |
| Réutilisable | PP | <10 | -2 | (Pachaly 2021) | [1] |

### 9.4.8 Besoin en surface et modularité

Tableau 46: Modularité et valeurs indicatrices résultantes pour les branches de fruits et légumes

| Système | Valeur de l'indicateur | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|
| Réutilisable | 2 | (Kellerer 2021) | [1] |
| Réutilisable | 2 | Dobers (Fraunhofer IML) | [1]* |
| À usage unique | -1 ou +1 | Dobers (Fraunhofer IML) | [1]* |

Tableau 47: Modularité et valeurs indicatrices résultantes pour les tableaux de plantes

| Système | Valeur de l'indicateur | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|
| Réutilisable | 0 | (Breukers 2021) | [1] |
| Réutilisable | +1 | (Oldenbourg 2021) | [1] |
| À usage unique | -1 | Dobers (Fraunhofer IML) | [1]* |

Tableau 48: Modularité et valeurs indicatrices résultantes pour les gobelets Coffee-to-go

| Système | Valeur de l'indicateur | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|
| Réutilisable | 0 | Dobers (Fraunhofer IML) | [1]* |
| À usage unique | 0 | Dobers (Fraunhofer IML) | [1]* |

### 9.4.9 Réductibilité du volume

Les indications (a) à (c) se réfèrent aux trois points du cycle d'utilisation mentionnés précédemment, où la réduction de volume a lieu :

(a) Pliage/repliage

(b) Possibilité de nicher

(c) Compressibilité en phase d'élimination

Tableau 49: Réductibilité du volume et valeurs indicatrices résultantes pour les pâtes de fruits et légumes

| Système | Facteur de réduction du volume | Valeur de l'indicateur | Source/expert | Pedigree-Classification |
|---|---|---|---|---|
| Réutilisable (a), (c) | 3,4-7,9[42] | 0 ... +1 | (Euro Pool System 2021b) | [1,1,1,1,1] |
| Réutilisable (a), (c) | 3,1-8,5[42] | 0 ... +1 | (IFCO 2021) | [1,1,1,1,1] |
| Usage unique (a) | 8[43] | +1 | Dobers (Fraunhofer IML) | [4]* |
| Usage unique (c) | 10 | +2 | Fraunhofer UMSICHT | [1]* |

Tableau 50: Réductibilité du volume et valeurs indicatrices résultantes pour les plateaux de plantes

| Système | Facteur de réduction du volume | Valeur de l'indicateur | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|
| Réutilisable (b),(c) | 2,6 | -1 | Dobers (Fraunhofer IML) | [4]* |
| Usage unique (b) | 6 | +1 | Dobers (Fraunhofer IML) | [4]* |
| Usage unique (c) | 4-10 | 0 ... +2 | Dobers (Fraunhofer IML) | [4]* |

Tableau 51: Réductibilité du volume et valeurs indicatrices résultantes pour les gobelets Coffee-to-go

| Système | Facteur de réduction du volume | Valeur de l'indicateur | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|
| Réutilisable (b),(c) | 5,4 | 0 | Dobers (Fraunhofer IML) | [4]* |
| Usage unique (b) | 11 | +2 | Dobers (Fraunhofer IML) | [4]* |
| Usage unique (c) | 7 | +1 | Fraunhofer UMSICHT | [1]* |

42 La fourchette résulte de la différence de hauteur des cagettes dépliées, pour une même hauteur une fois repliées. Pour la comparaison avec une caisse à bananes jetable, il convient de choisir la valeur la plus élevée.

43 La valeur se réfère au nouveau carton de la caisse de bananes qui n'est pas encore collée.

### 9.4.10 Protection des produits

Tableau 52: Taux de casse avec valeurs indicatrices résultantes pour les pâtes de fruits et légumes

| Système | Taux de rupture | Valeur de l'indicateur | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|
| À usage unique | 4 % | -2 | (Lange et al. 2013) | [1,1,1,2,2] |
| À usage unique | 4 % | -2 | (Euro Pool System 2021c) | [1,1,1,1,3] |
| Réutilisable | 0,1 % | +1 | (Lange et al. 2013) | [1,1,1,2,2] |
| Réutilisable | 0,53 % | 0 | (Krieg et al. 2018) | [1,1,1,1,3] |
| Réutilisable | 0,1 % | +1 | (Euro Pool System 2021c) | [1,1,1,1,3] |

Tableau 53: Taux de rupture avec valeurs indicatrices résultantes pour les plateaux de plantes

| Système | Taux de rupture | Valeur de l'indicateur | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|
| À usage unique | k. A. | +2 | Dobers (Fraunhofer IML) | [4]* |
| Réutilisable | k. A. | 0 | Dobers (Fraunhofer IML) | [4]* |

Tableau 54: Taux de casse avec valeurs indicatrices résultantes pour les gobelets Coffee to go

| Système | Taux de rupture | Valeur de l'indicateur | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|
| À usage unique | k. A. | 0 | Dobers (Fraunhofer IML) | [4]* |
| Réutilisable | k. A. | +1 | Dobers (Fraunhofer IML) | [4]* |

### 9.4.11 Numérisabilité

Tableau 55: Part des coûts pour la numérisation de Steigen (hypothèse transpondeur 10 ct/unité) ; Les sources et le classement Pedigree se réfèrent au prix du marché.

| Système | Nombre de rotations | Prix du marché [€/pce] | Part des coûts de numérisation [%] | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|
| À usage unique | 1 | 0,90 | 11 % | (pack de valeur 2021) | [1,1,1,1,1] |
| Réutilisable | 5 | 7,00 | 0,3 % | a) (Robbert 2021) b) (Fabrique de boîtes 2021) | a) [1] b) [1,1,1,1,1] |
| Réutilisable | 50 | 7,00 | 0,03 % | | |
| Réutilisable | 125 | 7,00 | 0,003 % | | |

Tableau 56: Part des coûts pour la numérisation des plateaux de plantes (hypothèse transpondeur 10 ct/unité) ;
Les sources et la classification Pedigree se réfèrent au prix du marché.

| Système | Utilisation / Circulations | Prix du marché [€/pce] | Part des coûts de numérisation [%] | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|
| À usage unique | 1 | 0,25 | 29 % | (Oldenbourg 2021) | [1] |
| Réutilisable | 5 | 2,00 | 1 % | (Oldenbourg 2021) | [2] |
| Réutilisable | 50 | 2,00 | 0,1 % | | |
| Réutilisable | 125 | 2,00 | 0,01 % | | |

Tableau 57: Part des coûts pour la numérisation des gobelets Coffee-to-go (hypothèse transpondeur 10 ct/unité) ; la source et le classement Pedigree se réfèrent au prix du marché.

| Système | Utilisation / Circulations | Prix du marché [€/pce] | Part des coûts de numérisation [%] | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|
| À usage unique | 1 | 0,136 | 42 % | (Metro 2021) | [1,1,1,1,1] |
| À usage unique | 1 | 0,026 | 79 % | | |
| Réutilisable | 5 | 0,55 | 3 % | (Schorm 2021) | [1,1,1,1,1] |
| Réutilisable | 50 | 0,55 | 0,3 % | | |
| Réutilisable | 125 | 0,55 | 0,12 % | | |


© CCPE Fraunhofer

*Les coûts des redevances ont été estimés à partir des informations fournies par les distributeurs qui proposent des licences en tant que service (https://www.bechershop.de/thermo-automatenbecher-150-ml-braun-weiss?c=48).

**Les coûts de nettoyage ont été estimés de manière conservatrice sur la base des données d'un lave-vaisselle à convoyeur commercial (240 l/h, 24,7 kW de puissance moyenne absorbée). Un remplissage typique du lave-vaisselle de 3 070 assiettes normalisées par heure a été pris comme base. Les coûts de l'électricité ont été estimés à 20 ct/kWh et ceux de l'eau et des eaux usées à 4,00 €/m³. On a supposé que la manutention entraînait des coûts de main-d'œuvre de 25 €/heure. On obtient ainsi des coûts d'environ 1 ct par assiette normalisée. Par ailleurs, nous supposons qu'un cageot correspond à environ 10 assiettes standard, un bac à plantes à 5 et un gobelet Coffee-to-go à une assiette standard. Il en résulte que chaque nettoyage coûte 10 ct pour les cagettes, 5 ct pour les plateaux à plantes et 1 ct pour les gobelets C2G.

### 9.4.12 Frais de transport

Tableau 58: Effort de transport pour une application et valeurs indicatrices résultantes pour les pâtes O/G

| Système | Distance de transport | Valeur de l'indicateur | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|
| Réutilisable | 1408 km | -2 | (Albrecht et al. 2013) | [1,1,3,2,1] |
| À usage unique | 1103 km | -2 | (Albrecht et al. 2013) | [1,1,3,2,1] |
| Réutilisable | 843 km | -1 | (Abejón et al. 2020) | [1,1,2,1,1] |
| À usage unique | 1153 km | -2 | (Abejón et al. 2020) | [1,1,2,1,1] |
| Réutilisable | 374 km | +1 | (Del Borghi et al. 2020) | [1,1,3,1,1] |
| À usage unique | 853 km | -1 | (Del Borghi et al. 2020) | [1,1,3,1,1] |
| À usage unique | 850 km | -1 | (Del Borghi et al. 2020) | [1,1,3,1,1] |
| Réutilisable | 943 km | -1 | (López-Gálvez et al. 2021) | [1,1,2,1,1] |
| À usage unique | 1217 km | -2 | (Del Borghi et al. 2020) | [1,1,3,1,1] |
| À usage unique | 1275 km | -2 | (Del Borghi et al. 2020) | [1,1,3,1,1] |
| Réutilisable | 1438 km | -2 | (Koskela et al. 2014) | [2,1,2,2,1] |
| À usage unique | 1275 km | -2 | (Koskela et al. 2014) | [2,1,2,2,1] |

| Système | Distance de transport | Valeur de l'indicateur | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|
| Réutilisable | 408 km | +1 | (Accorsi et al. 2014) | [1,1,2,2,2] |
| À usage unique | 803 km | -1 | (Accorsi et al. 2014) | [1,1,2,2,2] |

Tableau 59: Coût du transport pour une application et valeurs indicatrices résultantes pour les plateaux de plantes

| Système | Distance de transport | Valeur de l'indicateur | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|
| Réutilisable | 1611 km | -2 | (van Paassen et Scholten 2020) | [1,1,3,3,2] |
| Réutilisable | 1511 km | -2 | (van Paassen et Scholten 2020) | [1,1,3,3,2] |
| À usage unique | 1275 km | -2 | (van Paassen et Scholten 2020) | [1,1,3,3,2] |
| À usage unique | 1225 km | -2 | (van Paassen et Scholten 2020) | [1,1,3,3,2] |
| À usage unique | 1350 km | -2 | (van Paassen et Scholten 2020) | [1,1,3,3,2] |
| Réutilisable | 411 km | +1 | (van Paassen et Scholten 2020) | [1,1,3,3,2] |
| À usage unique | 635 km | 0 | (van Paassen et Scholten 2020) | [1,1,3,3,2] |
| Réutilisable | 454 km | +1 | (Dobers et Lammers 2017) | [1,1,1,1,1] |
| À usage unique | 1226 km | -2 | (Dobers et Lammers 2017) | [1,1,1,1,1] |

### 9.4.13 Émissions de gaz à effet de serre

Tableau 60 Émissions de GES en équivalents $CO_2$ et valeur indicative pour les branches de fruits et légumes

| Système | Matériau | Équivalents $CO_2$ [kg $CO_2$ éq./ 1000 L] | IW | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|
| Réutilisable | Plastique (PP, PE) | 6,40 | +2 | (Albrecht et al. 2013) | [1,1,3,2,1] |
| Réutilisable | Plastique (PP, HDPE) | 4,51 | +2 | (Abejón et al. 2020) | [1,1,2,1,1] |
| Réutilisable | Plastique (PP, HDPE) | 5,21 | +2 | (Del Borghi et al. 2020) | [1,1,3,1,1] |
| Réutilisable | Plastique (PP) | 1,25 | +2 | (López-Gálvez et al. 2021) | [1,1,2,1,1] |
| Réutilisable | Plastique (PP) | 17,33 | +2 | (Levi et al. 2011) | [1,1,2,3,1] |
| Réutilisable | Plastique (PE) | 46,83 | 0 | (Koskela et al. 2014) | [2,1,2,2,1] |
| Réutilisable | Plastique (PP, PE) | 4,77 | +2 | (Accorsi et al. 2014) | [1,1,2,2,1] |
| Réutilisable | Plastique (PP, PE) | 4,32 | +2 | (Krieg et al. 2018) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Cartonnage | 12,29 | +2 | (Albrecht et al. 2013) | [1,1,3,2,1] |
| À usage unique | Cartonnage | 37,73 | +1 | (Abejón et al. 2020) | [1,1,2,1,1] |
| À usage unique | Cartonnage | 53,65 | 0 | (Del Borghi et al. 2020) | [1,1,3,1,1] |
| À usage unique | Cartonnage | 12,25 | +2 | (López-Gálvez et al. 2021) | [1,1,2,1,1] |
| À usage unique | Cartonnage | 13,84 | +2 | (Levi et al. 2011) | [1,1,2,3,1] |
| À usage unique | Cartonnage | 44,69 | +1 | (Koskela et al. 2014) | [2,1,2,2,1] |
| À usage unique | Cartonnage | 13,89 | +2 | (Accorsi et al. 2014) | [1,1,2,2,2] |
| À usage unique | Cartonnage | 11,23 | +2 | (Krieg et al. 2018) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Bois | 6,46 | +2 | (Albrecht et al. 2013) | [1,1,3,2,1] |
| À usage unique | Bois | 8,85 | +2 | (Del Borghi et al. 2020) | [1,1,3,1,1] |
| À usage unique | Bois | 38,75 | +1 | (López-Gálvez et al. 2021) | [1,1,2,1,1] |
| À usage unique | Bois | 6,22 | +2 | (Accorsi et al. 2014) | [1,1,2,2,1] |


© CCPE Fraunhofer

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| À usage unique | Bois (MDF) | 14,41 | +2 | (Del Borghi et al. 2020) | [1,1,3,1,1] |
| À usage unique | Panneau de particules | 14,06 | +2 | (Del Borghi et al. 2020) | [1,1,3,1,1] |
| À usage unique | Plastique (PP, HDPE) | 152,60 | -1 | (Del Borghi et al. 2020) | [1,1,3,1,1] |
| À usage unique | Plastique (PP, PE) | 35,12 | +1 | (Accorsi et al. 2014) | [1,1,2,2,1] |

Tableau 61 Émissions de GES en équivalents $CO_2$ et valeur indicative pour les plateaux de plantes

| Système | Matériau | Émissions de $CO_2$ [kg $CO_2$ éq. 1000 L] | IW | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|
| Réutilisable | Plastique (HDPE) | 6,11 | +2 | (van Paassen et Scholten 2020) | [1,1,1,1,2] |
| Réutilisable | Plastique (PP) | 8,93 | +2 | (van Paassen et Scholten 2020) | [1,1,1,1,2] |
| Réutilisable | PS, PE ? | 10,32 | +2 | (Dobers et Lammers 2017) | [1,1,1,1,3] |
| À usage unique | PE ? | 14,53 | +2 | (Dobers et Lammers 2017) | [1,1,1,1,3] |
| À usage unique | Plastique (PS) | 20,68 | +1 | (van Paassen et Scholten 2020) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Plastique (PS) | 30,98 | +1 | (van Paassen et Scholten 2020) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Cartonnage (Paper/cardboard) | 26,50 | +1 | (van Paassen et Scholten 2020) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Cartonnage (Kraft/testliner) | 21,48 | +2 | (van Paassen et Scholten 2020) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Cartonnage (Kraft/testliner) | 17,87 | +2 | (van Paassen et Scholten 2020) | [1,1,1,1,2] |

Tableau 62 Émissions de GES en équivalents $CO_2$ et valeur indicative pour les gobelets C2G

| Système | Matériau | Équivalents $CO_2$ [kg $CO_2$ éq./ 1000 L] | IW | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|
| Réutilisable | Porcelaine | 65,56 | 0 | (Ligthart 2007) | [1,1,3,3,2] |
| Réutilisable | Céramique/porcelaine | 132,22 | -1 | (Ligthart 2007) | [1,1,3,3,2] |


© CCPE Fraunhofer

| Système | Matériau | Équivalents $CO_2$ [kg $CO_2$ éq./ 1000 L] | IW | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|
| Réutilisable | Plastique (PP) | 18,63 | +2 | (Cottafava et al. 2021) | [2,3,3,1,1] |
| Réutilisable | Plastique (PP) | 61,78 | 0 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| Réutilisable | PP avec couvercle | 165,61 | -1 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| Réutilisable | Plastique (PE) | 16,00 | +2 | (Melbinger 2018) | [2,1,2,1,3] |
| Réutilisable | Plastique (PE) | 60,00 | 0 | (Melbinger 2018) | [2,1,2,1,3] |
| Réutilisable | Plastique (PLA) | 29,13 | +2 | (Cottafava et al. 2021) | [2,3,3,1,1] |
| Réutilisable | Plastique (PET) | 22,58 | +2 | (Cottafava et al. 2021) | [2,3,3,1,1] |
| Réutilisable | Verre | 23,00 | +2 | (Cottafava et al. 2021) | [2,3,3,1,1] |
| Réutilisable | Système BYO | La conversion n'a pas pu être effectuée | - | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Plastique (PS) | 71,67 | 0 | (Ligthart 2007) | [1,1,3,3,2] |
| À usage unique | Plastique (PS ; 180 mL ; avec couvercle) | 121,06 | 0 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Plastique (PS ; 180 mL ; sans couvercle) | 68,00 | 0 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Plastique (PS ; insert cup) | 50,00 | 0 | (Ligthart 2007) | [1,1,3,3,2] |
| À usage unique | Plastique (PP) | 82,50 | +2 | (Cottafava et al. 2021) | [2,3,3,1,1] |
| À usage unique | Papier avec revêtement PE | 21,17 | +2 | (Melbinger 2018) | [2,1,2,1,3] |
| À usage unique | Papier avec revêtement PE | 52,00 | 0 | (Melbinger 2018) | [2,1,2,1,3] |

| Système | Matériau | Équivalents $CO_2$ [kg $CO_2$ éq./ 1000 L] | IW | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|
| À usage unique | Plastique (PLA) | 92,50 | 0 | (Cottafava et al. 2021) | [2,3,3,1,1] |
| À usage unique | Plastique (PET) | 122,50 | +1 | (Cottafava et al. 2021) | [2,3,3,1,1] |
| À usage unique | Papier | 21,11 | +1 | (Ligthart 2007) | [1,1,3,3,2] |
| À usage unique | Papier (simple paroi avec couvercle) | 75,85 | +1 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Papier (simple paroi sans couvercle) | 29,75 | +1 | (Kauertz et al. 2019)) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Papier (double paroi avec couvercle) | 77,40 | +1 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Papier (double paroi sans couvercle) | 31,25 | +1 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Papier (simple paroi avec couvercle) | 51,87 | +2 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Papier (simple paroi sans couvercle) | 21,10 | +1 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Papier (double paroi avec couvercle) | 53,87 | +1 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Papier (double paroi sans couvercle) | 23,10 | +1 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Cartonnage | 72,50 | 0 | (Cottafava et al. 2021) | [2,3,3,1,1] |


© CCPE Fraunhofer

### 9.4.14 Dépenses énergétiques cumulées

Tableau 63 Dépenses énergétiques cumulées et valeurs indicatrices pour les branches de fruits et légumes

| Système | Matériau | KEA total [MJ pour 1000 L] | IW | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|
| Réutilisable | Plastique (PP, PE) | 85,57 | +2 | (Albrecht et al. 2013) | [1,1,3,2,1] |
| Réutilisable | Plastique (PP, HDPE) | 86,98 | +2 | (Abejón et al. 2020) | [1,1,2,1,1] |
| Réutilisable | Plastique (PP, HDPE) | (1) | - | (Del Borghi et al. 2020) | [1,1,3,1,1] |
| Réutilisable | Plastique (PP) | 34,58 | +2 | (López-Gálvez et al. 2021) | [1,1,2,1,1] |
| À usage unique | Cartonnage | 465,94 | +2 | (Albrecht et al. 2013) | [1,1,3,2,1] |
| À usage unique | Cartonnage | 209,39 | +2 | Abejón et al. 2020 | [1,1,2,1,1] |
| À usage unique | Cartonnage | 0,00 | 0 | (Del Borghi et al. 2020) | [1,1,3,1,1] |
| À usage unique | Cartonnage | 222,92 | +2 | (López-Gálvez et al. 2021) | [1,1,2,1,1] |
| À usage unique | Cartonnage | (1) | - | (Accorsi et al. 2014) | [1,1,2,2,2] |
| À usage unique | Bois | 227,19 | +2 | (Albrecht et al. 2013) | [1,1,3,2,1] |
| À usage unique | Bois | 694,44 | +2 | (Del Borghi et al. 2020) | [1,1,3,1,1] |
| À usage unique | Bois | 1589,58 | 0 | (López-Gálvez et al. 2021) | [1,1,2,1,1] |
| À usage unique | Bois | - | 0 | (Accorsi et al. 2014) | [1,1,2,2,1] |
| À usage unique | Bois (MDF) | (1) | - | (Del Borghi et al. 2020) | [1,1,3,1,1] |
| À usage unique | Bois (panneau de particules) | (1) | - | (Del Borghi et al. 2020) | [1,1,3,1,1] |
| À usage unique | Plastique (PP, HDPE) | (1) | - | (Del Borghi et al. 2020) | [1,1,3,1,1] |

(1) Le calcul n'a pas pu être suivi

Tableau 64 Dépenses énergétiques cumulées et valeurs indicatives pour les plateaux de plantes

| Système | Matériau | KEA total [MJ pour 1000 L] | IW | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|
| Réutilisable | PS, PE ? | 168,55 | +2 | Confidentiel | [1,1,1,1,3] |
| À usage unique | PE ? | 226,05 | +2 | Confidentiel | [1,1,1,1,3] |


© CCPE Fraunhofer

ERROR! USE THE HOME TAB TO APPLY ÜBERSCHRIFT 1 TO THE TEXT THAT YOU WANT TO APPEAR HERE.

Tableau 65 Dépenses énergétiques cumulées pour les gobelets C2G


© CCPE Fraunhofer

| Système | Matériau | KEA total [MJ pour 1000 L] | IW | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|
| Réutilisable | Plastique (PP) | 1000,00 | 0 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| Réutilisable | Plastique (PP ; avec couvercle) | 3222,22 | 0 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Plastique (PS ; 180 mL ; avec couvercle) | 1888,89 | 0 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Plastique (PS ; 180 mL ; sans couvercle) | 1055,56 | 2 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Papier (simple paroi avec couvercle) | 2100,00 | 2 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Papier (simple paroi sans couvercle) | 950,00 | 0 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Papier (double paroi avec couvercle) | 2400,00 | 1 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Papier (double paroi sans couvercle) | 1250,00 | 0 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Papier (simple paroi avec couvercle) | 1566,67 | 2 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Papier (simple paroi sans couvercle) | 800,00 | 0 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |
| À usage unique | Papier (double paroi avec couvercle) | 1866,67 | 2 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| À usage unique | Papier (double paroi sans couvercle) | 1100,00 | 0 | (Kauertz et al. 2019) | [1,1,1,1,2] |

### 9.4.15 Rentabilité relative

Tableau 66: Coûts totaux spécifiques par litre de produit et par utilisation pour les cagettes de fruits et légumes

| Système | Matériau | Utilisation / Circulations | Volume [L] | Prix du marché [€/pce] | Suppléments | | coût total spécifique [ct/ (L x utilisation)} | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Licence redevances | Lavage [€/utilisation] | | | |
| À usage unique | PPK | 1 | 23 | 0,81 | 0% | - € | 3,5 | (pack de valeur 2021) | [1,1,1,1,1] |
| À usage unique | PPK | 1 | 22 | 0,9945 | 0% | - € | 4,5 | | |
| À usage unique | PPK | 1 | 14 | 0,9595 | 0% | - € | 6,9 | | |
| Réutilisable | PP-C | 5 | 14 | 6,5 | 0% | 0,10 € | 10,0 | (Robbert 2021) | [1] |
| Réutilisable | PP-C | 50 | 14 | 6,5 | 0% | 0,10 € | 1,6 | | |
| Réutilisable | PP-C | 125 | 14 | 6,5 | 0% | 0,10 € | 0,8 | | |
| Réutilisable | HDPE | 5 | 32 | 8,05 | 0% | 0,10 € | 5,3 | (Fabrique de boîtes 2021) | [1,1,1,1,1] |
| Réutilisable | HDPE | 50 | 32 | 8,05 | 0% | 0,10 € | 0,8 | | |
| Réutilisable | HDPE | 500 | 32 | 8,05 | 0% | 0,10 € | 0,4 | | |

Tableau 67: Coûts totaux spécifiques par litre de produit de remplissage et utilisation pour les plateaux de plantes

| Système | Matériau | Utilisation / Circulations | Volume [L] | Prix du marché [€/pce] | Suppléments | | coût total spécifique [ct/ (L x utilisation)} | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Licence redevances | Lavage [€/pce] | | | |
| À usage unique | PS | 1 | 6 | 0,25 | 10% | - € | 4,6 | (Oldenbourg 2021) | [1] |
| Réutilisable | HDPE | 5 | 6 | 2,00 | 0% | 0,05 € | 7,5 | (Oldenbourg 2021) | [2] |
| Réutilisable | HDPE | 50 | 6 | 2,00 | 0% | 0,05 € | 1,5 | | |
| Réutilisable | HDPE | 500 | 6 | 2,00 | 0% | 0,05 € | 1,1 | | |

Tableau 68: Coûts totaux spécifiques par litre de produit de remplissage et utilisation pour les gobelets Coffee to go

| Système | Matériau | Utilisation / Circulations | Volume [L] | Prix du marché [€/pce] | Suppléments | | Coût total spécifique [ct/(L x utilisation)} | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Licence redevances | Lavage [€/pce] | | | |
| À usage unique | PPK (simple paroi) | 1 | 0,3 | 0,08 | 2% | - € | 27,2 | (Boîte verte 2021) | [1,1,1,1,1] |
| À usage unique | PPK (gobelets pour distributeurs automatiques) | 1 | 0,18 | 0,05 | 2% | - € | 28,3 | | |
| À usage unique | PPK (gobelet récifal) | 1 | 0,25 | 0,14 | 2% | - € | 57,1 | | |
| À usage unique | PPK+PE | 1 | 0,3 | 0,0966 | 2% | - € | 32,8 | (Rausch 2021) | [1,1,1,1,1] |
| À usage unique | PPK+PE-double | 1 | 0,3 | 0,1848 | 2% | - € | 62,8 | | |
| À usage unique | PPK+PLA | 1 | 0,3 | 0,1057 | 2% | - € | 35,9 | | |
| À usage unique | PS | 1 | 0,3 | 0,136 | 15% | - € | 52,1 | (Metro 2021) | [1,1,1,1,1] |
| À usage unique | PP | 1 | 0,2 | 0,026 | 10% | - € | 14,3 | | |
| À usage unique | PLA (pas pour les boissons chaudes) | 1 | 0,3 | 0,064 | 15% | - € | 24,5 | | |
| Réutilisable | PP | 5 | 0,3 | 0,55 | 0% | 0,01 € | 40,0 | (Schorm 2021) | [1,1,1,1,1] |
| Réutilisable | PP | 50 | 0,3 | 0,55 | 0% | 0,01 € | 7,0 | | |
| Réutilisable | PP | 500 | 0,3 | 0,55 | 0% | 0,01 € | 3,7 | | |

*Les coûts des droits de licence ont été estimés à partir des informations fournies par les distributeurs qui proposent les licences en tant que service (https://www.bechershop.de/thermo-automatenbecher-150-ml-braun-weiss?c=48).

**Les coûts de nettoyage ont été estimés de manière conservatrice sur la base des données d'un lave-vaisselle à bandes professionnel (240 l/h, 24,7 kW de puissance moyenne absorbée). On a supposé un remplissage typique du lave-vaisselle de 3070 assiettes normalisées par heure. Les coûts de l'électricité ont été estimés à 20 ct/kWh et ceux de l'eau et des eaux usées à 4,00 €/$m^3$ . On a supposé que la manutention engendrait des coûts de main-d'œuvre de 25 €/heure. On obtient ainsi un coût d'environ 1 ct par assiette normalisée. De plus, nous supposons qu'un cageot correspond à environ 10 assiettes standard, un bac à plantes à 5 et un gobelet Coffee to go à une assiette standard. Il en résulte que chaque nettoyage coûte 10 ct pour les cagettes, 5 ct pour les plateaux à plantes et 1 ct pour les gobelets C2G.

### 9.4.16 Souveraineté technologique

Tableau 69: Indépendance vis-à-vis des importations pour les figues de fruits et légumes

| Système | Spécification | Indépendance vis-à-vis des importations | Source/expert | Pedigree-Classification |
|---|---|---|---|---|
| Réutilisable | PP | 99,5 | (Muske 2021)<br>(élèves 2020) | [1]<br>[3,3,1,1,3] |
| À usage unique | Carton | 84,1 | (Étudiants 2020) | [3,3,1,1,3] |

Tableau 70: Indépendance vis-à-vis des importations pour les plateaux de plantes

| Système | Spécification | Indépendance vis-à-vis des importations | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|
| À usage unique | PS | 71,3 | (Normpack 2021)<br>(Étudiants 2020) | [3,1,1,1,3]<br>[3,3,1,1,3] |
| Réutilisable | HDPE | 98,6 | (Oldenbourg 2021) | [2] |

Tableau 71: Indépendance vis-à-vis des importations pour les gobelets Coffee to go

| Système | Spécification | Indépendance vis-à-vis des importations | Source/expert | Classification Pedigree |
|---|---|---|---|---|
| Réutilisable | PP | 94,3 | (Pachaly 2021)<br>(Étudiants 2020) | [2]<br>[3,3,1,1,3] |
| À usage unique | PPK | 81,8 | (Kauertz et al. 2019);<br>(élèves 2020) | [1,1,1,1,1]<br>[3,3,1,1,3] |


© CCPE Fraunhofer

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| À usage unique | PS | 42,7 | (Étudiants 2020) | [3,3,1,1,3] |

# 10 L bibliographie

2018/852/UE : Directive modifiant la directive 94/62/CE relative aux emballages et aux déchets d'emballages. Disponible en ligne sur https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0852&from=DE, dernière vérification le 01.02.2022.

94/62/CE : Directive relative aux emballages et aux déchets d'emballages. Disponible en ligne sur https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:31994L0062&from=DE, dernière vérification le 29.03.2022.

Abejón, R. ; Bala, A. ; Vázquez-Rowe, I. ; Aldaco, R. ; Fullana-i-Palmer, P. (2020) : Quand l'emballage plastique doit être préféré : Analyse du cycle de vie des emballages pour la distribution de fruits et légumes sur le marché péninsulaire espagnol. In : *Resources, Conservation and Recycling* 155. DOI : 10.1016/j.resconrec.2019.104666.

Accorsi, Riccardo ; Baruffaldi, Giulia ; Manzini, Riccardo (2020) : A closed-loop packaging network design model to foster infinitely reusable and recyclable containers in food industry. In : *Sustainable Production and Consumption* 24, p. 48-61. DOI : 10.1016/j.spc.2020.06.014.

Accorsi, Riccardo ; Cascini, Alessandro ; Cholette, Susan ; Manzini, Riccardo ; Mora, Cristina (2014) : Évaluation économique et environnementale des conteneurs en plastique réutilisables : une étude de cas de la chaîne d'approvisionnement de la restauration. In : *International Journal of Production Economics* 152, p. 88-101. DOI : 10.1016/j.ijpe.2013.12.014.

ADEME (2000) : Analyse du cycle de vie des caisses en bois, carton ondulé et plastique pour pommes. ACV des caisses en bois, des caisses en carton et des caisses en plastique pour pommes. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME), 2000. Disponible en ligne sur https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Analyse+du+cycle+de+vie+des+caisses+en+bois%2C+carton+ondul%C3%A9+et+plastique+pour+pommes, dernière vérification le 27.07.2021.

Adibi, N. ; Lafhaj, Z. ; Yehya, M. ; & Payet, J. (2017) : Global Resource Indicator for life cycle impact assessment : Applied in wind turbine case study. In : *Journal of Cleaner Production* (165), p. 1517-1528. DOI : 10.1016/j.jclepro.2017.07.226.

Al Barazi, Siyamend ; Damm, Sophie ; Huy, Dieter ; Liedtke, Maren ; Schmidt, Michael (2021) : DERA-Rohstoffliste. Ed. par l'Agence allemande des matières premières (DERA) au sein de l'Institut fédéral des géosciences et des matières premières (BGR) (DERA Rohstoffinformationen).

Albrecht, Stefan ; Beck, Tabea ; Barthel, Leif ; Fischer, Matthias ; Deimling, Sabine ; Baitz, Martin (2009) : The sustainability of packaging system for fruit and vegetable transport in Europe based on Life-cycle Analysis. Mise à jour 2009. Résumé exécutif. Edité par la Fondation Initiative Réutilisation. Disponible en ligne sur https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=The+sustainability+of+packaging+system+for+fruit+and+vegetable+transport+in+Europe+based+on+Life-cycle+Analysis, dernière vérification le 21.07.2021.

Albrecht, Stefan ; Brandstetter, Peter ; Beck, Tabea ; Fullana-i-Palmer, Pere ; Grönman, Kaisa ; Baitz, Martin et al. (2013) : An extended life cycle analysis of packaging systems for fruit and vegetable transport in Europe. In : *Int J Life Cycle Assess* 18 (8), p. 1549-1567. DOI : 10.1007/s11367-013-0590-4.

Antala, D. K. ; Satasiya, R. M. ; Chauhan, P. M. (2020) : Design, development and performance evaluation of transportation container for sapota fruit. In : *J Food Sci Technol*. DOI : 10.1007/s13197-020-04865-w.

Aral (éd.) (2018) : Tendances en matière de consommation de café. Étude Aral sur le café 2018. Disponible en ligne sur https://www.aral.de/de/global/retail/presse/trends-beim-kaffee-genuss.html, dernière vérification le 16.12.2021.

Baruffaldi, G. ; Accorsi, R. ; Volpe, L. ; Manzini, R. ; Nilsson, F. (2019) : Sustainable operations in reusable food packaging networks. In : Riccardo Accorsi et Riccardo Manzini (éd.) : Sustainable food supply chains. Planning, design, and control through interdisciplinary methodologies. London : Academic Press, p. 293-304. Disponible en ligne sur https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85081932212&doi=10.1016%2fB978-0-12-813411-5.00020-X&partnerID=40&md5=7eb016b959d6eec0cb669188b33f140a.

Battini, D. ; Calzavara, M. ; Persona, A. ; Sgarbossa, F. (2016) : Sustainable Packaging Development for Fresh Food Supply Chains. In : *08943214* 29 (1), p. 25-43. DOI : 10.1002/pts.2185.

BaumarktManager (2021) : Solution sectorielle pour les bacs à plantes réutilisables en vue. Disponible en ligne sur https://www.baumarktmanager.de/branchenloesung-fuer-mehrweg-pflanzentrays-in-sicht-26072021, dernière vérification le 14.12.2021.

Behrens, Rudolf ; Janßen, Ingrid ; Kuhn, Ekart ; Zimmermann, Peter (2018) : Développements et tendances sur le marché des emballages de transport réutilisables en Allemagne et en Europe. Ed. par EKUPAC.

Bertling, Jürgen ; Zimmermann, Till ; Istel, Katharina ; Jedelhauser, Michael (2021) : Les matières plastiques dans l'agriculture. In : *Ordures et déchets* (9). DOI: 10.37307/j.1863-9763.2021.09.04.

Bettermarks (2022) : Quartiles et boxplots. Disponible en ligne sur https://de.bettermarks.com/mathe/quartile-und-boxplots/, dernière vérification le 22.02.2022.

Biermann, Katja ; Jacobs, Luisa ; Polke-Majewski, Karsten (2020) : En attendant les masques. Les masques de protection se font rares dans les cliniques. L'armée allemande et les douanes créent ce qu'elles peuvent obtenir. Mais jusqu'à présent, personne ne sait exactement combien il en faut. Ed. par Zeit Online. Disponible en ligne sur https://www.zeit.de/wirtschaft/2020-03/schutzausruestung-coronavirus-atemmasken-schutzanzuege-krankenhaeuser-knappheit-hersteller, dernière vérification le 16.12.2021.

Bilici, N., Pehlivanli, R., & Ashirkhanova, K. (2017) : Innovation and Global Issues in Social Sciences. Disponible en ligne à l'adresse https://www.researchgate.net/profile/Efekan-Oezkan-2/publication/330509892_Sel_ve_Taskinlar_Sadece_Bir_Dogal_Afet_mi_Aksu_Cayi_Alt_Havzasi_Ornegi/links/5ddc56bc458515dc2f4dbdcc/Sel-ve-Taskinlar-Sadece-Bir-Dogal-Afet-mi-Aksu-Cayi-Alt-Havzasi-Oernegi.pdf#page=1079.

Blümm, Florian (2021) : Klimaschutz Statistik 2021 : Energiemix Deutschland vs Europa vs weltweit. Disponible en ligne sur https://www.tech-for-future.de/klimaschutz-ranking/, dernière vérification le 23.03.2022.

BMBF (2021) : Concevoir l'avenir en toute souveraineté technologique. Document d'impulsion du BMBF sur la souveraineté technologique. Ed. par le ministère fédéral de l'Éducation et de la Recherche (BMBF). Disponible en ligne sur https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/pdf/technologisch-souveraen-die-zukunft-gestalten.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

BMU (éd.) (2018) : Plan en 5 points du ministère fédéral de l'environnement pour moins de plastique et plus de recyclage. Disponible en ligne sur https://www.bmuv.de/download/5-punkte-plan-des-bundesumweltministeriums-fuer-weniger-plastik-und-mehr-recycling/, dernière vérification le 21.02.2022.

BMWi (2019) : Stratégie industrielle 2030. Lignes directrices pour une politique industrielle allemande et européenne. Ed. par le ministère fédéral de l'Économie et de l'Énergie (BMWi). Disponible en ligne sur https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/industriestrategie-2030.pdf?__blob=publicationFile&v=20.

Boxfabrik (éd.) (2021) : Caisse de fruits/légumes. Disponible en ligne sur https://www.dieboxfabrik.de/stapelbehaelter/obstkisten-gemuese-kisten/obst/gemuesekiste-600x400x170mm-volle-vpe, dernière vérification le 21.12.2021.

Brander, Matthew ; Wylie, Charlotte (2011) : The use of substitution in attributional life cycle assessment. In : *Greenhouse Gas Measurement and Management* 1 (3-4), p. 161-166. DOI : 10.1080/20430779.2011.637670.

Breukers, Patrick (2021) : Plateaux de plantes (Schoeller Group). Entretien avec Kerstin Dobers et Jürgen Bertling. Numérique via Microsoft Teams.

Ministère fédéral de l'environnement (BMU) (éd.) (2020) : Programme fédéral de prévention des déchets avec la participation des Länder. Disponible en ligne sur https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/fortschreibung_abfallvermeidungsprogramm_bund_laender_bf.pdf, dernière vérification le 21.02.2022.

Gouvernement fédéral (éd.) (2018) : Plus de recyclage en Allemagne. Disponible en ligne sur https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/mehr-recycling-in-deutschland-1507858, dernière vérification le 23.03.2022.

Burger, Alexandar ; Cayé, Nicolas ; Jaegermann, Corinna ; Schüler, Kurt (2021) : Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2019. Ed. v. Umweltbundesamt (UBA Texte, 148/2021). Disponible en ligne sur https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2021-11-23_texte_148-2021_aufkommen-verwertung-verpackungsabfaelle-deutschland-2019_bf.pdf, dernière vérification le 16.03.2021.

COM(2018) 28 final (2018) : Stratégie européenne sur les plastiques dans l'économie circulaire, du 16.01.2018. Disponible en ligne sur https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:2df5d1d2-fac7-11e7-b8f5-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_2&format=PDF, dernière vérification le 13.03.2022.

COM(2019) 640 final (2019) : Le Green Deal européen, du 11.12.2019. Disponible en ligne sur https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?qid=1576150542719&uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN, dernière vérification le 13.03.2022.

COM(2020) 98 final (2020) : Plan d'action de l'UE en faveur de l'économie circulaire. Référence : Commission européenne. Disponible en ligne sur https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0016.02/DOC_1&format=PDF, dernière vérification le 13.03.2022.

Container Centralen GmbH (éd.) (2018) : CC Container. La norme européenne pour les plantes à fleurs et les plantes en pot. Disponible en ligne sur https://www.container-centralen.com/wp-content/uploads/2018/05/DE_leaflet_2018_CC-Container_Produktblatt.pdf, dernière vérification le 23.03.2022.

Conversio (éd.) (2020) : Stoffstrombild Kunststoffe 2019. Disponible en ligne sur https://www.vci.de/ergaenzende-downloads/kurzfassung-stoffstrombild-kunststoffe-2019.pdf, dernière vérification le 31.01.2022.

Cottafava, Dario ; Costamagna, Mattia ; Baricco, Marcello ; Corazza, Laura ; Miceli, Davide ; Riccardo, Luigi E. (2021) : Assessment of the environmental break-even point for deposit return systems through an LCA analysis of single-use and reusable cups. In : *Sustainable Production and Consumption* 27, p. 228-241. DOI : 10.1016/j.spc.2020.11.002.

Crenna, Eleonora ; Sozzo, Sara ; Sala, Serenella (2018) : Natural biotic resources in LCA : Towards an impact assessment model for sustainable supply chain management. In : *Journal of Cleaner Production* 172, p. 3669-3684. DOI : 10.1016/j.jclepro.2017.07.208.

CUPFORCUP GmbH (éd.) (2022) : Cupforcup. Disponible en ligne sur https://cupforcup.de/, dernière vérification le 11.04.2022.

Del Borghi, A. ; Parodi, S. ; Moreschi, L. ; Gallo, M. (2020) : Sustainable packaging : an evaluation of crates for food through a life cycle approach. In : *International Journal of Life Cycle Assessment*. DOI: 10.1007/s11367-020-01813-w.

Detzel, Andreas ; Kauertz, Benedikt ; Grahl, Brigitte ; Heinisch, Jürgen (2016) : Vérification et actualisation des écobilans pour les emballages de boissons. Ed. par l'Office fédéral allemand de l'environnement (TEXTE, 19/2016). Disponible en ligne sur https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_19_2016_pruefung_und_aktualisierung_der_oekobilanzen_fuer_gertaenkeverpackungen_0.pdf.

Deutsche Umwelthilfe e.V. (Hg.) (2015) : Becherheld - Mehrweg to go. Campagne DUH-Becherheld 2015. Disponible en ligne sur https://www.duh.de/becherheld/, dernière vérification le 16.12.2021.

Deutsche Umwelthilfe e.V. (éd.) (2020) : Bouteilles en PET. Disponible en ligne sur https://www.mehrweg-mach-mit.de/getraenkeverpackungen/pet-flaschen/, dernière vérification le 17.03.2022.

Deutsche Umwelthilfe e.V. (éd.) (2021) : Le problème des déchets plastiques du commerce des plantes. Disponible en ligne sur https://www.duh.de/projekte/pflanzenhandel//, dernière vérification le 14.12.2021.

Deutsche Welle (éd.) (2021) : Le plastique aussi se fait rare - pourquoi en est-il ainsi ? Disponible en ligne sur https://www.dw.com/de/auch-plastik-wird-knapp-warum-ist-das-so/a-57061666, dernière vérification le 16.12.2021.

DNV (2021) : Économie circulaire. Comment les entreprises font-elles la transition ? Disponible en ligne sur https://www.dnv.com/news/is-the-circular-economy-transition-fast-enough--206722, dernière vérification le 29.03.2022.

Dobers, Kerstin ; Lammers, Wolfgang (2017) : Evaluation écologique comparative des palettes jetables et réutilisables dans le commerce des plantes. Étude réalisée pour la fondation Landgard en coopération avec les magasins de bricolage toom. Ed. par Fraunhofer IML.

Dörfelt, Stefan (2018) : Kilomètres à vide et trajets à vide - Comment les réduire et les éviter. MMLogistik (en allemand). Disponible en ligne sur https://www.mm-logistik.vogel.de/leerkilometer-und-leerfahrten--wie-man-sie-reduziert-und-vermeidet-a-673353/, dernière vérification le 14.12.2021.

CE 1907/2006 : Règlement concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH). Disponible en ligne sur

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R1907, dernière vérification le 22.02.2022.

CE 1935/2004 : Règlement concernant les matériaux et objets destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires. Disponible en ligne sur https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004R1935&from=DE, dernière vérification le 22.02.2022.

ESG Enterprise (éd.) : SFDR, NFRD, and CSRD : Guidance on EU Taxonomy. Disponible en ligne sur https://www.esgenterprise.com/esg-reporting/eu-taxonomy-sfdr-nfrd-csrd/, dernière vérification le 30.03.2022.

UE 10/2011 : Règlement concernant les matériaux et objets en matière plastique destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires. Disponible en ligne sur https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02011R0010-20150226&from=MT, dernière vérification le 30.03.2022.

UE 2019/665 : Décision d'exécution modifiant la décision 2005/270/CE établissant les formats de tableaux pour la base de données conformément à la directive 94/62/CE du Parlement européen et du Conseil relative aux emballages et aux déchets d'emballages. Disponible en ligne sur https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019D0665&from=EN, dernière vérification le 22.02.2022.

UE 2019/904 (2019) : Directive visant à réduire l'impact de certains produits en plastique sur l'environnement. Directive sur les plastiques à usage unique, de 2019. Disponible en ligne sur https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0904, dernière révision le 01/02/2022.

UE 2020/852 (DV) : Règlement délégué complétant le règlement (UE) 2020/852. Disponible en ligne à l'adresse https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d84ec73c-c773-11eb-a925-01aa75ed71a1.0014.02/DOC_1&format=PDF, dernière vérification le 04.02.2021.

UE RL 2008/98 : Directive relative aux déchets (directive-cadre sur les déchets), du 19.11.2008. Disponible en ligne sur https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=DE, dernière vérification le 22.02.2022.

EU Technical Expert Group on Sustainable Finance (éd.) (2020) : Taxonomy Report : Technical Annex. Disponible en ligne sur https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/business_economy_euro/banking_and_finance/documents/200309-sustainable-finance-teg-final-report-taxonomy-annexes_en.pdf, dernière vérification le 22.02.2022.

UE, Euratom 2020/2053 (2020) : décision relative au système des ressources propres de l'Union européenne et abrogeant la décision relative au système des ressources propres de l'Union européenne et abrogeant la décision 2014/335/UE, Euratom, du 14.12.2020. Disponible en ligne à l'adresse https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020D2053&qid=1646674309201&from=EN, dernière vérification le 13.03.2022.

Euro Pool System (éd.) (2021a) : Ensemble vers une chaîne d'approvisionnement circulaire. Disponible en ligne sur https://www.europoolsystem.com/de/, dernière vérification le 14.12.2021.

Euro Pool System (éd.) (2021b) : Passerelles pliantes. Les avantages de la passerelle pliante. Fiche technique du produit. Disponible en ligne sur https://cdn2.hubspot.net/hubfs/5799001/Download%20centre/Leaflets/Leaflet%20Foldable%20green%20-%20DE%20-%20Final.pdf, dernière vérification le 14.12.2021.

ERROR! USE THE HOME TAB TO APPLY ÜBERSCHRIFT 1 TO THE TEXT THAT YOU WANT TO APPEAR HERE.

Commission européenne (éd.) : Climate change consequences. Disponible en ligne sur https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_en, dernière vérification le 10.12.2021.

EY (éd.) (2021) : Plastic and packaging taxes in Europe. Disponible en ligne sur https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/en_gl/topics/tax/tax-pdfs/ey-plastics-and-packaging-taxes-webcast-summary.pdf, dernière vérification le 22.02.2022.

FairCup GmbH (éd.) (2021) : Le système de consigne pour les boissons à emporter ou To-Go. Disponible en ligne sur https://fair-cup.de/, dernière vérification le 16.12.2021.

Fazio, S. ; Biganzioli, F. ; Laurentiis, V. de ; Zampori, L. ; Sala, S. ; Diaconu, E. (2018) : Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment methods. Version 2 de ILCD à EF 3.0. Edité par l'Office des publications de l'Union européenne. Disponible en ligne sur https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/TR_SupportingCF_FINAL.pdf.

FEFCO (éd.) (2018) : European Database for Corrugated Board Life Cycle Studies. Corrugated Packaging ; Cepi ContainerBoard. Disponible en ligne sur https://www.fefco.org/download/file/fid/2626, dernière vérification le 10.12.2021.

Foteinis, Spyros (2020) : Comment les petits choix quotidiens jouent un rôle majeur dans le changement climatique : l'écueil environnemental de la coupe de papier jetable. In : *Journal of Cleaner Production* 255, p. 120294. DOI : 10.1016/j.jclepro.2020.120294.

Franklin Associates (2016) : Comparative life cycle assessment of reusable plastic containers and display- and non-display-ready corrugated containers used for fresh produce application. prepared for IFCO Corporation. Disponible en ligne sur https://nanopdf.com/download/comparative-life-cycle-assessment-of-reusable-plastic-containers-and_pdf, dernière vérification le 23.03.2022.

FreiburgCup (éd.) (2021) : Le système de consigne. Disponible en ligne sur https://freiburgcup.de/de/wie.php, dernière vérification le 16.12.2021.

Frischknecht, Rolf ; Wyss, Franziska ; Büsser Knöpfel, Sybille ; Lützkendorf, Thomas ; Balouktsi, Maria (2015) : Cumulative energy demand in LCA : the energy harvested approach. In : *Int J Life Cycle Assess* 20 (7), p. 957-969. DOI : 10.1007/s11367-015-0897-4.

Gaedicke, Christoph ; Franke, Dieter ; Ladage, Stefan ; Lutz, Rüdiger ; Pein, Martin ; Rebscher, Dorothee et al. (2020) : BGR Energiestudie 2019. Ed. par l'Institut fédéral des géosciences et des matières premières (BGR). Disponible en ligne sur https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/energiestudie_2019.pdf?__blob=publicationFile&v=6.

Gall, Markus ; Schweighuber, Andrea ; Buchberger, Wolfgang ; W. Lang, Reinhold (2020) : Plastic Bottle Cap Recycling-Characterization of Recyclate Composition and Opportunities for Design for Circularity. In : *Sustainability* 12 (24), p. 10378. DOI : 10.3390/su122410378.

Garrido, Nuria ; Del Alvarez Castillo, M. Dolors (2007) : Environmental evaluation of single-use and reusable cups. In : *Int J Life Cycle Assess* 12 (4), p. 252-256. DOI : 10.1065/lca2007.05.334.

Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH (GVM) (2018) : Production de déchets par la vaisselle jetable et autres emballages pour la consommation immédiate. Disponible en ligne sur https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/abfallpolitik/181022_gvm-studie_einweggeschirr_sofortverzehr.pdf, dernière vérification le 23.03.2022.

Gräf, Alexander (2018) : Coffee-to-go / Histoire du café à emporter. Édité par Greenape. Disponible en ligne sur https://greenape.de/kaffee/coffee-to-go-kaffee-zum-mitnehmen-herkunft, dernière vérification le 16.12.2021.

Greenbox (éd.) (2021) : Gobelets en carton pour boissons chaudes. Disponible en ligne sur https://www.biologischverpacken.de/sortiment/becher/pappbecher/, dernière vérification le 21.12.2021.

Gruyters, W. ; Defraeye, T. ; Verboven, P. ; Berry, T. ; Ambaw, A. ; Opara, U. L. ; Nicolai, B. (2019) : Reusable boxes for a beneficial apple cold chain : A precooling analysis [Boîtes réutilisables pour une chaîne du froid bénéfique pour les pommes : analyse de préréfrigération]. In : *International Journal of Refrigeration* 106, p. 338-349. DOI : 10.1016/j.ijrefrig.2019.07.003.

Guinée, J. B. ; Lindeijer, E. (2008) : Handbook on life cycle assessment : operational guide to the ISO standards. Vol. 7 : Springer Science & Business Media.

Hahladakis, John N. ; Velis, Costas A. ; Weber, Roland ; Iacovidou, Eleni ; Purnell, Phil (2018) : An overview of chemical additives present in plastics : Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. In : *Journal of Hazardous Materials* 344, p. 179-199. DOI : 10.1016/j.jhazmat.2017.10.014.

Haidlmair, Mario (2021) : Systèmes réutilisables à base de plastique (groupe Haidlmaier). Entretien avec Stephan Kabsci et Jürgen Bertling. Numérique via MsTeams.

Hansen, Erik ; Nilson, Nils H. ; Lithner, Delilah ; Lassen, Carsten (2013) : Hazardous substances in plastic materials. Ed. par COWI en coopération avec l'Institut technologique danois. Vejle, Danemark. Disponible en ligne sur https://www.byggemiljo.no/wp-content/uploads/2014/10/72_ta3017.pdf.

Hansen, Erik ; Nilsson, Nils ; Vium, Kristine Slot Ravnholt (2014) : Substances dangereuses dans les plastiques. Survey of chemical substances in consumer products No. 132, 2014, édité par l'Agence danoise de protection de l'environnement. Disponible en ligne sur https://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2014/12/978-87-93283-31-2.pdf.

Hauschild, M. Z. ; Goedkoop, M. ; Guinée, J. ; Heijungs, R. ; Huijbregts, M. ; Jolliet, O. ; et al. (2013) : Identifying best existing practice for characterization modeling in life cycle impact assessment. In : *The International Journal of Life Cycle Assessment* (18(3)), p. 683-697. DOI : 10.1007/s11367-012-0489-5.

HAWITA Technoplant (éd.) (2021) : Palettino. Le système réutilisable intelligent et éprouvé. Disponible en ligne sur https://www.palettino.de/, dernière vérification le 14.12.2021.

Hegemann, Lisa (2020) : Le gouvernement fédéral veut exclure les fabricants lors de l'extension de la 5G si nécessaire. Ed. par Zeit Online. Disponible en ligne sur https://www.zeit.de/digital/internet/2020-11/it-sicherheit-gesetz-g5-netz-ausbau-huawei, dernière vérification le 16.12.2021.

Heim - EDT GmbH (2022) : Lave-caisses & machines à laver les caisses. Edité par (heimedt.de). Disponible en ligne sur https://heimedt.de/kistenwaschanlage/, dernière vérification le 29.03.2022.

Hofmeister, Gerit ; Herzog, Ann-Kathrin ; Endebrock, Klaus (2021) : Escalade à plusieurs voies (WGB Pooling). Entretien avec Kerstin Dobers et Anna Schulte. Numérique via Microsoft Teams.

IFCO (éd.) (2021) : Black Lift Lock (Europe). Disponible en ligne sur https://www.ifco.com/wp-content/uploads/IFCO-DS-1003-BLACK-LL-DE-DE-21-03-30.pdf, dernière vérification le 14.12.2021.

IN4climate.NRW (éd.) (2020) : Recyclage chimique des plastiques - Potentiels et perspectives de développement. Une contribution à la défossilisation de l'industrie chimique et de transformation des matières plastiques en Rhénanie-du-Nord-Westphalie. Document de discussion du groupe de travail Circular Economy. Disponible en ligne sur https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7605/file/7605_Kunststoffrecycling.pdf, dernière vérification le 13.03.2022.

Infras (éd.) (2019) : Manuel des facteurs d'émission 4.1. Disponible en ligne sur https://www.hbefa.net, dernière vérification le 20.02.2022.

GIEC (éd.) (2014) : Climate change 2014 : Synthesis Report. Contribution des Groupes de travail I, II et III au Cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Core Writing Team, R.K. Pachauri et L.A. Meyer (eds.)]. Genève, Suisse. Disponible en ligne à l'adresse https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/, dernière vérification le 10.12.2021.

ISO 14040:2006 : Management environnemental - Évaluation du cycle de vie - Principes et cadre. Disponible en ligne à l'adresse https://www.iso.org/standard/37456.html.

ISO 14044:2006 : Gestion de l'environnement - Évaluation du cycle de vie - Exigences et lignes directrices. Disponible en ligne à l'adresse https://www.iso.org/standard/38498.html.

Kauertz, b. ; Schlecht, S. ; Markwardt, S. ; Rubik, F. ; Heinrich, J. ; Kolbe, P. ; Hake, Y. (2019) : Étude de l'importance écologique des gobelets de boissons jetables dans la consommation hors foyer et mesures possibles pour réduire la consommation. Ed. par l'Agence fédérale allemande pour l'environnement (TEXTE, 29/2019). Disponible en ligne sur https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-02-20_texte_29-2019_einweggetraenkebechern_im_ausser-haus-verzehr_final.pdf.

Kauertz, Benedikt ; Bick, Carola ; Schlecht, Samuel ; Busch, Miriam ; Markwardt, Stefanie ; Wellenrether, F. (2018) : Comparaison du bilan écologique de cartons composites pour boissons avec des bouteilles en PET à usage unique et des bouteilles en verre réutilisables dans les segments des boissons jus/nectar, lait UHT et lait frais. Rapport final après examen critique. Ed. par l'ifeu - Institut de recherche sur l'énergie et l'environnement de Heidelberg.

Kellerer, Richard (2021) : Tiges de fruits et légumes (Schoeller Alibert). Entretien avec Stephan Kabasci et Anna Schulte. Numérique via Microsoft Teams.

Kent, Robin (2009) : Quelle est votre empreinte énergétique du processus ? Ed. par Plastics Technology. Disponible en ligne sur https://www.ptonline.com/articles/whats-your-process-energy-fingerprint, dernière vérification le 03.03.2022.

Killiches, Franziska (2013) : Phosphate. Matière première minérale et élément nutritif indispensable à la sécurité alimentaire dans le monde. Ed. par l'Institut fédéral des géosciences et des matières premières (BGR) pour le compte du ministère fédéral de la Coopération économique. Disponible en ligne sur https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Zusammenarbeit/TechnZusammenarbeit/Politikberatung_SV_MER/Downloads/phosphat.pdf?__blob=publicationFile&v=4.

Klimaschutzagentur Mannheim (éd.) (2021) : Reste fidèle à ton gobelet. Disponible en ligne sur https://www.bleibdeinembechertreu.de/, dernière vérification le 16.12.2021.

Klinglmair, M. ; Sala, S. ; Brandão, M. (2014) : Assessing resource depletion in LCA : a review of methods and methodological issues. In : *Int J Life Cycle Assess* (19 (3)), 580-592. DOI : 10.1007/s11367-013-0650-9.

Klooster, R. ten ; Koejer, B. de ; Lange, J. de (2017) : Towards a generic set of packaging material key figures. Edité par le 28e symposium IAPRI sur l'emballage. 28th IAPRI Symposium on Packaging. Disponible en ligne sur https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/21754833/Klooster_Koeijer_Lange_Towardsagenericsetofpackagingmaterialkeyfigures_IAPRI.pdf.

Klöpffer, Walter ; Grahl, Brigit (2009) : Analyse du cycle de vie (ACV). Un guide pour la formation et la profession. Weinheim : Wiley-VCH.

Knerr, Michael ; Hersche, Emil (éd.) (2016) : Charges et agents de renforcement (Handbuch Kunststoff Additive, Ralph D. Maier, Michael Schiller (Hrsg.)).

Koskela, Sirkka ; Dahlbo, Helena ; Judl, Jáchym ; Korhonen, Marja-Riitta ; Niininen, Mervi (2014) : Caisse en plastique réutilisable ou boîte en carton recyclable ? Une comparaison de deux systèmes de livraison. In : *Journal of Cleaner Production* 69, p. 83-90. DOI : 10.1016/j.jclepro.2014.01.045.

KPMG (éd.) (2021) : Plastic Tax - Reduce, Reuse, Recycle. Disponible en ligne sur https://home.kpmg/xx/en/home/insights/2021/09/plastic-tax.html, dernière vérification le 21.02.2022.

Kranich, Sebastian ; Krommes, Sandra ; Rieder, Rosina (2019) : Évaluation de la méthode de criticité des matières premières selon VDI 4800 dans le processus de développement de produits : étude de cas d'un système d'entraînement électrique de véhicule. In : *NachhaltigkeitsManagementForum* 27 (1), p. 53-63. DOI : 10.1007/s00550-018-0481-z.

Kreis Höxter - Fachbereich Umwelt, Bauen und Geoinformationen (éd.) (2021) : Notre système régional de gobelets consignés. Disponible en ligne sur https://kreis-hx.maps.arcgis.com/apps/Cascade/index.html?appid=71e85c138117497685493703009a78a2/, dernière vérification le 16.12.2021.

Krieg, Hannes ; Gehring, Florian ; Fischer, Matthias ; Albrecht, Stefan (2018) : Empreinte carbone des systèmes d'emballage pour le transport des fruits et légumes en Europe. Ed. par la Fondation Initiative Réutilisation. Fraunhofer IBP. Disponible en ligne sur https://www.stiftung-mehrweg.de/fileadmin/user_upload/SIM_CF_Bericht_De.pdf.

KrWG (2012) : Loi sur le recyclage : loi visant à promouvoir l'économie circulaire et à assurer une gestion des déchets respectueuse de l'environnement. KrWG, du Modifié en dernier lieu par l'art. 1 G du 23.10.2020. Disponible en ligne sur https://www.gesetze-im-internet.de/krwg/BJNR021210012.html.

Lammers, Wolfgang (2021) : Monter à plusieurs (département de la logistique d'emballage du Fraunhofer IML). Entretien avec Kerstin Dobers. Numérique via Microsoft Teams.

Lange, Volker ; Pelka, Michael ; Kreyenschmidt, Judith (2013) : Détermination de la détérioration des fruits et légumes frais en fonction du type d'emballage. Résumé exécutif. Fraunhofer IML ; Université de Bonn. Disponible en ligne sur https://www.stiftung-mehrweg.de/fileadmin/user_upload/downloads-save-food-studie/savefoodstudie_de.pdf.

Lebensmittelverband Deutschland (éd.) (2020) : Fiche technique "Vaisselle de pool". Hygiène lors de la manipulation de vaisselle réutilisable au sein des systèmes de pool de consigne. Disponible en ligne sur https://www.lebensmittelverband.de/de/lebensmittel/sicherheit/hygiene/hygiene-beim-umgang-mit-mehrweg-bechern-behaeltnissen-pool-geschirr, dernière vérification le 17.03.2022.

Leitner, Felix von (2020) : Commentaire : Souveraineté numérique à un prix d'aubaine - de l'Europe et Mozilla. Ed. par heise online. Disponible en ligne sur https://www.heise.de/meinung/Kommentar-Digitale-Souveraenitaet-zum-Schnaeppchenpreis-von-Europa-und-Mozilla-4874038.html, dernière vérification le 16.12.2021.

Levi, Marinella ; Cortesi, Sara ; Vezzoli, Carlo ; Salvia, Giuseppe (2011) : A Comparative Life Cycle Assessment of Disposable and Reusable Packaging for the Distribution of Italian Fruit and Vegetables. Dans : *Packag. Technol. Sci.* 24 (7), p. 387-400. DOI : 10.1002/pts.946.

Ligthart, T. N. (2007) : Single use Cups or Reusable (coffee) Drinking Systems : An Environmental Comparison. TNO (ORGANISATION NÉERLANDAISE POUR LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE). Pays-Bas. Disponible en ligne sur https://www.tno.nl/media/2915/summary-research-drinking-systems.pdf.

Lo-Iacono-Ferreira, Vanesa G. ; Viñoles-Cebolla, Rosario ; Bastante-Ceca, María José ; Capuz-Rizo, Salvador F. (2021) : Carbon Footprint Comparative Analysis of Cardboard and Plastic Containers Used for the International Transport of Spanish Tomatoes. In : *Sustainability* 13 (5), p. 2552. DOI : 10.3390/su13052552.

López-Gálvez, Francisco ; Rasines, Laura ; Conesa, Encarnación ; Gómez, Perla A. ; Artés-Hernández, Francisco ; Aguayo, Encarna (2021) : Reusable Plastic Crates (RPCs) for Fresh Produce (Case Study on Cauliflowers) : Sustainable Packaging but Potential Salmonella Survival and Risk of Cross-Contamination. In : *Foods (Bâle, Suisse)* 10 (6). DOI : 10.3390/foods10061254.

Martin, S. ; Bunsen, A. ; Ciroth, A. (2018) : Case Study Ceramic Cup vs. Paper Cup. Greendelta GmbH. Disponible en ligne sur https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi8x8m889v2AhWPlqQKHbOkAbIQFnoECAYQAQ&url=https%3A%2F%2Fnexus.openlca.org%2Fws%2Ffiles%2F6229&usg=AOvVaw0NCfTz81occ9BlJY-qtujm.

Meiko (éd.) (2021) : Fiche technique M-iQ B-M54 V8 N02 P8. Version nationale : Allemagne. Disponible en ligne sur https://cdn.meiko-company.com/miplan_media/m_iplan/M-iQ_B-M54_V8_N02_P8%C3%BEDEU%C3%BEDE%C3%BEDS.pdf, dernière vérification le 03.03.2022.

Melbinger, Isabella (2018) : Possibilités et limites des systèmes à usage unique et réutilisables pour le coffee to go, compte tenu notamment d'une sélection d'analyses de cycle de vie. Mémoire de master. Université Karl-Franzens. Disponible en ligne sur https://unipub.uni-graz.at/obvugrhs/download/pdf/3107961?originalFilename=true.

Metro (éd.) (2021) : Gobelets. Disponible en ligne sur https://www.metro.de/marktplatz/product/e61fa857-2372-4dc1-a967-efd892336fbe, dernière vérification le 21.12.2021.

moBrands GmbH (éd.) (2022) : Le gobelet réutilisable durable. Disponible en ligne sur https://oekocup.de/, dernière vérification le 11.04.2022.

Morris, Jeffrey (1996) : Recycling versus incineration : an energy conservation analysis. In : *Journal of Hazardous Materials* 47 (1-3), p. 277-293. DOI : 10.1016/0304-3894(95)00116-6.

Muske, Bodo (2021) : Ligature des fruits et légumes (IFCO). Entretien avec Jürgen Bertling. Numérique via Microsoft Teams.

NABU (éd.) (2021) : Le guide du réutilisable de NABU. Les principales questions et réponses sur le réutilisable et le jetable. Disponible en ligne sur https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/ressourcenschonung/einzelhandel-und-umwelt/mehrweg/nabumehrwegguide.html, dernière vérification le 23.03.2022.

Normpack (éd.) (2021) : Recyclingpool - Le cycle de vie d'un plateau de plantation à usage unique. Disponible en ligne sur https://normpack.nl/de/recyclingpool, dernière vérification le 23.03.2022.

Normpack (éd.) (2022) : Le cycle de vie d'un plateau à plantes jetable. Disponible en ligne sur https://normpack.nl/de/recyclingpool, dernière vérification le 11.04.2022.

N° 10/2011 (UE) (2011) : Règlement relatif aux matériaux et objets en matière plastique destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires, du 14.01.2011. Disponible en ligne sur https://eur-

lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:012:0001:0089:DE:PDF, dernière vérification le 13.03.2022.

Oldenburg, Jens (2021) : Plateaux de plantes (Fondation Initiative Réutilisation). Entretien avec Jürgen Bertling. Numérique via Microsoft Teams.

Pachaly, Patrick (2021) : Gobelet Coffee-to-Go (ReCup). Entretien avec Kerstin Dobers et Jürgen Bertling. Numérique via Microsoft Teams.

Pfaender, Rudolf (éd.) (2016) : Additifs pour le recyclage mécanique des matières plastiques. 4e édition : Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG (Handbuch Kunststoff Additive, Ralph D. Maier, Michael Schiller (Hrsg.)). Disponible en ligne sur https://www.hanser-elibrary.com/doi/10.3139/9783446432918.015, dernière vérification le 13.03.2022.

Pladerer, Christian ; Meissner, Markus ; Dinkel, Fredy ; Zschokke, Mischa ; Dehoust, Günter ; Schüler, Doris (2008) : Comparative Life Cycle Assessment of various Cup Systems for the Selling of Drinks at Events. Focussing on major events such as the European Football Championships UEFA EURO 2008(TM) in Austria and Switzerland as well as the German "Bundesliga". Österreichisches Ökologie-Institut ; Carbotech AG ; Öko-Institut e.V. Allemagne. Disponible en ligne sur http://www.meucopoeco.com.br/environmental_study.pdf.

Poortinga, Wouter ; Whitaker, Louise (2018) : Promouvoir l'utilisation de tasses à café réutilisables par le biais d'un message environnemental, de l'offre d'alternatives et d'incitations financières. In : *Sustainability* 10 (3), p. 873. DOI : 10.3390/su10030873.

Pöppelmann (éd.) (2021) : Passerelles multidirectionnelles - Série MS, R. Gamme de produits TEKU(R). Disponible en ligne sur https://www.poeppelmann.com/de/teku/produkte/detail/ms-r/fromPid-529/?tx_pptekudatabase_frontendteku%5BsearchParams%5D%5Bproduktgruppe%5D=6&cHash=069cd2b3763661534a7878cc5eb694b5, dernière vérification le 14.12.2021.

Potting, Jose ; Hekkert, Marko ; Worrell, Ernst ; Hanemaaijer, Aldert (2017) : Circular Economy : Measuring Innovation in the Product Chain. Rapport de politique générale. PBL Agence néerlandaise d'évaluation environnementale. La Haye. Disponible en ligne sur https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/358310, dernière vérification le 02.11.2020.

Rausch (éd.) (2021) : Gobelets pour boissons chaudes. Disponible en ligne sur https://www.rausch-packaging.com/de/heissgetraenke-becher-frisch-fein-doppelwandig.html, dernière vérification le 21.12.2021.

ReCup (éd.) (2021) : RECUP & REBOWL - Tous les produits dans un seul système. Disponible en ligne sur https://recup.de/, dernière vérification le 16.12.2021.

Carte RFID (2020) : McDonald's et Starbucks prévoient d'adopter la technologie RFID McDonald's et Starbucks prévoient d'adopter la technologie RFID. Disponible en ligne sur https://www.rfidcard.com/mcdonalds-and-starbucks-are-planning-to-adopt-rfid-technology/, dernière vérification le 23.03.2022.

RFID journal (éd.) (n.d.) : Quel est le coût d'une étiquette RFID aujourd'hui ? Disponible en ligne sur https://www.rfidjournal.com/faq/how-much-does-an-rfid-tag-cost-today, dernière vérification le 17.03.2022.

Robbert, Andreas (2021) : Recyclabilité des caisses en plastique. Entretien avec Kerstin Dobers et Jürgen Bertling.

ERROR! USE THE HOME TAB TO APPLY ÜBERSCHRIFT 1 TO THE TEXT THAT YOU WANT TO APPEAR HERE.

Roßmann, M. ; Stratmann, M. ; Rötzer, N. ; Schäfer, P. ; Schmidt, M. (2021) : Comparability of LCAs - Review and Discussion of the Application Purpose. Cham. : Springer (Albrecht S., Fischer M., Leistner P., Schebek L. (eds) Progress in Life Cycle Assessment 2019).

Royal FloraHolland (éd.) (2021) : Le cycle de vie d'un plateau de plantation jetable. Disponible en ligne sur https://www.royalfloraholland.com/de/nachricht/warum-ist-das-recycling-von-einweg-trays-so-wichtig, dernière vérification le 14.12.2021.

RP-Online (éd.) (2017) : A Düsseldorf, on peut désormais acheter son café dans un gobelet consigné. Disponible en ligne sur https://rp-online.de/nrw/staedte/duesseldorf/cup-for-cup-pfandbecher-fuer-coffee-to-go-kaffee-in-duesseldorf_aid-19478055, dernière vérification le 08.04.2022.

Schneider, Jürgen (2014) : Chaud et liquide. Nouvelle plainte contre le café McDonald's. Ed. par le Süddeutsche Zeitung. Disponible en ligne sur https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/neue-klage-gegen-mcdonald-s-kaffee-heiss-und-fluessig-1.1867442, dernière vérification le 16.12.2021.

Schorm (éd.) (2021) : Gobelets réutilisables. Disponible en ligne sur https://www.mehrwegbecher.com/coffee-to-go-becher-pp-0-3l-braun, dernière vérification le 21.12.2021.

Schröer, Alisa (2020) : HolyGrail 2.0 : Les filigranes numériques facilitent le tri. Ed. par greiner packaging. Disponible en ligne sur https://www.greiner-gpi.com/de/Magazin/HolyGrail-2.0-Digitale-Wasserzeichen-erleichtern-das-Sortieren_s_274785, dernière vérification le 17.03.2022.

Schüler, K. (2020) : Production et valorisation des déchets d'emballages en Allemagne en 2018. Ed. v. Umweltbundesamt. Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH (GVM) (Textes UBA, 166/2020). Disponible en ligne sur https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_166-2020_aufkommen_und_verwertung_von_verpackungsabfaellen_in_deutschland_im_jahr_2018.pdf.

Shamsuyeva, Madina ; Endres, Hans-Josef (2021) : Plastics in the context of the circular economy and sustainable plastics recycling : Comprehensive review on research development, standardization and market. Dans : *Composites Part C : Open Access* 6, p. 100168. DOI : 10.1016/j.jcomc.2021.100168.

Singh, S. Paul ; Chonhenchob, Vanee ; Singh, Jagjit (2006) : Life cycle inventory and analysis of reusable plastic containers and display-ready corrugated containers used for packing fresh fruits and vegetables. Dans : *Packag. Technol. Sci.* 19 (5), p. 279-293, DOI : 10.1002/pts.731.

SPD, Bündnis 90/Die Grünen, FDP (éd.) (2021) : Oser plus de progrès. Contrat de coalition. Disponible en ligne sur https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/04221173eef9a6720059cc353d759a2b/2021-12-10-koav2021-data.pdf?download=1, dernière vérification le 21.02.2022.

Städte-Gemeindebund Nordrhein-Westfalen (éd.) (2003) : Communications - Environnement, déchets, eaux usées. Coûts des corbeilles à papier de rue. Disponible en ligne sur https://www.kommunen.nrw/informationen/mitteilungen/datenbank/detailansicht/dokument/kosten-fuer-strassenpapierkoerbe.html, dernière vérification le 16.12.2021.

Statista (éd.) (2022) : Statistiques sur l'industrie de l'emballage en Allemagne. Disponible en ligne sur https://de.statista.com/themen/4330/verpackungsindustrie-in-deutschland/#dossierKeyfigures, dernière vérification le 21.02.2022.

Stotz, P. M. ; Niero, M. ; Bey, N. ; Paraskevas, D. (2017) : Évaluation environnementale de nouvelles technologies visant à accroître la circularité des matériaux : une étude de cas sur les canettes en

aluminium. In : *Resources, Conservation and Recycling* (127), 96-106. DOI : 10.1016/j.resconrec.2017.07.013.

Tandt, Ellen de ; Demuytere, Cody ; van Asbroeck, Elke ; Moerman, Hiram ; Mys, Nicolas ; Vyncke, Gianni et al. (2021) : A recycler's perspective on the implications of REACH and food contact material (FCM) regulations for the mechanical recycling of FCM plastics. In : *Waste management (New York, N.Y.)* 119, p. 315-329. DOI : 10.1016/j.wasman.2020.10.012.

Tua, Camilla ; Biganzoli, Laura ; Grosso, Mario ; Rigamonti, Lucia (2019) : Life Cycle Assessment of Reusable Plastic Crates (RPCs). In : *Resources* 8 (2), p. 110. DOI : 10.3390/resources8020110.

Agence fédérale de l'environnement (éd.) (2018) : La consommation d'emballages en Allemagne reste très élevée. Disponible en ligne sur https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/verpackungsverbrauch-in-deutschland-weiterhin-sehr, dernière vérification le 31.01.2022.

Agence fédérale de l'environnement (éd.) (2020) : Déchets d'emballages. Disponible en ligne sur https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/verpackungsabfaelle#verpackungen-uberall, dernière vérification le 22.02.2022.

Agence fédérale de l'environnement (éd.) (2021) : Recyclabilité des emballages : Nouvelle norme minimale. Disponible en ligne sur https://www.umweltbundesamt.de/themen/recyclingfaehigkeit-von-verpackungen-neuer, dernière vérification le 17.03.2022.

PNUE (éd.) : Convention de Stockholm. 2022. Disponible en ligne sur http://www.pops.int/, dernière vérification le 11.04.2022.

Valtokari, Antti (2021) : Digitalization and innovation will unlock sustainability. Ed. par Huhatamaki. Disponible en ligne sur https://www.huhtamaki.com/en/highlights/sustainability/digitalization-and-innovation-will-unlock-sustainability/, dernière vérification le 17.03.2022.

van Oers, Lauran ; Guinée, Jeroen (2016) : The Abiotic Depletion Potential : Background, Updates, and Future. In : *Resources* 5 (1), p. 16. DOI : 10.3390/resources5010016.

van Paassen, Mike ; Scholten, Jasper (2020) : Comparative Life Cycle Assessment of one-way plant trays versus returnable plant trays. Rapport public. Edité par Royal FloraHolland. Blonk Consultants.

Directive VDI, 2018 : VDI 4800 feuille 2 - Efficacité des ressources - Évaluation des dépenses en matières premières.

vdp (éd.) (2015). Disponible en ligne sous file:///C:/Users/bj/Downloads/Papierrecyceln.pdf.

vdp (éd.) (2021). Disponible en ligne sous file:///C:/Users/bj/Downloads/Kompass_fr.pdf.

VDP - Verband deutscher Papierfabriken (éd.) (2021) : Papier-Kompass.

Association de l'industrie automobile (VDA) (éd.) (2018) : Système de transport de petites charges (KLT) : recommandation technique. VDA 4500, partie 1, version 2.0.

Verbraucherzentrale (Hg.) (2020) : Réutilisable ou à usage unique : confusion totale sur la consigne. Disponible en ligne sur https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/umwelt-haushalt/abfall/mehrweg-oder-einweg-verwirrung-total-beim-pfand-11504, dernière vérification le 22.12.2021.

VerpackG (2021) : loi sur la mise sur le marché, la reprise et la valorisation de qualité des emballages. VerpackG, du , modifiée en dernier lieu par l'article 2 G. v. 22.09.2021 BGBl. I p. 4363. Disponible en

ligne sur https://www.gesetze-im-internet.de/verpackg/VerpackG.pdf, dernière vérification le 31.01.2022.

VYTAL Global GmbH (éd.) (2022) : Welcome ot Mehrweg. Disponible en ligne sur https://www.vytal.org/, dernière vérification le 11.04.2022.

Wagner, Swetlana ; Schlummer, Martin (2020) : Legacy additives in a circular economy of plastics : Current dilemma, policy analysis, and emerging countermeasures. In : *Resources, Conservation and Recycling* 158, p. 104800. DOI : 10.1016/j.resconrec.2020.104800.

WBG-Pooling (éd.) (2021a) : WBG-Pooling-Foldable-Crate 6412 light blue. Fiche technique du produit. Disponible en ligne sur https://wbg-pooling.eu/wp-content/uploads/2021/04/wbg-pooling-produktdatenblatt-WBG-Pooling-Foldable-Crate-6412-light-blue-DE.pdf, dernière vérification le 14.12.2021.

WBG-Pooling (éd.) (2021b) : WBG-Pooling-Foldable-Crate 6423 light blue. Fiche technique du produit. Disponible en ligne sur https://wbg-pooling.eu/wp-content/uploads/2021/04/wbg-pooling-produktdatenblatt-WBG-Pooling-Foldable-Crate-6423-light-blue-DE.pdf, dernière vérification le 14.12.2021.

Wegmann, Alex ; Le Gal, André ; Müller, Daniel (éd.) (2016) : Antioxidantien (Handbuch Kunststoff Additive, Ralph D. Maier, Michael Schiller (éd.)).

Weidema, Bo P. (2019) : Consistency check for life cycle assessments. In : *Int J Life Cycle Assess* 24 (5), p. 926-934. DOI : 10.1007/s11367-018-1542-9.

Welchering, Peter (2021) : Souveraineté numérique - Blackout montre : Les connexions à Facebook sont risquées. Ed. par la ZDF. Disponible en ligne sur https://www.zdf.de/nachrichten/digitales/facebook-blackout-login-100.html, dernière vérification le 16.12.2021.

Wertpack (éd.) (2021) : Flachsteige/Stecksteige. Disponible en ligne sur https://www.wertpack.de/detail/flachsteige-stecksteige__748.html, dernière vérification le 21.12.2021.

Weschnowsky, Sven (2021) : Flowertray : solution sectorielle pour remplacer les plateaux de plantes jetables. Disponible en ligne sur https://taspo.de/kategorien/flowertray-branchenloesung-zum-ersatz-von-einweg-pflanzentrays/, dernière vérification le 14.12.2021.

Weyh, Florian Felix (2020) : La grande crise du papier toilette : achats en hamster et chaînes d'approvisionnement dans le capitalisme. Ed. par Deutschlandfunkkultur. Disponible en ligne sur https://www.deutschlandfunkkultur.de/die-grosse-toilettenpapierkrise-hamsterkaeufe-und-100.html, dernière vérification le 16.12.2021.

Wincentsen, D. L. (2013) : Encyclopedia of Global Warming and Climate Change. Édité par Reference Reviews.

Zampori L., Pant R. (2019) : Suggestions pour la mise à jour de la méthode de l'empreinte environnementale des produits (PEF). EUR 29682 EN. Edité par l'Office des publications de l'Union européenne. Disponible en ligne sur https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/PEF_method.pdf .