

Analyse de cycle de vie Gobelets jetables, réutilisables, recyclables

Guillaume Grandchamp (guillaume.grandchamp@epfl.ch)
Luc Giger (luc.giger@epfl.ch)

Projet SIE
Master III

Sous la direction de Prof. Jérôme Payet

En collaboration avec Simon Schneebeli

usine21

1. Introduction	3
2. Base de l'étude	3
2.1. Problématique	3
2.2. Objectifs du projet	4
3. Cadre d'analyse	4
3.1. Méthodologie	4
3.2. Logiciel SimaPro	5
3.3. Champ d'étude	6
3.3.1. Unité fonctionnelle	6
3.3.2. Scénarios	6
3.3.3. Limites du système	7
4. Scénario de référence « gobelet jetable »	8
4.1. Inventaire des matériaux et processus	8
4.1.1. Matériau	8
4.1.2. Transports	8
4.1.3. Consommation d'énergie et ressources	9
4.2. Flux de référence	10
5. Scénario « gobelet réutilisable »	11
5.1. Inventaire des matériaux et processus	11
5.1.1. Matériau	11
5.1.2. Transports	11
5.1.3. Consommation d'énergie et ressources	12
5.2. Flux de référence	14
6. Scénario « gobelet recyclable »	15
6.1. Inventaire des matériaux et processus	15
6.1.1. Matériau	15
6.1.2. Transports	16
6.1.3. Consommation d'énergie et ressources	17
6.1.4. Gain en ressources	17
6.2. Flux de référence	19
7. Résultats et interprétation de l'ACV	20
7.1. Comparaison des scénarios	20
7.2. Etude de variantes	23
7.3. Synthèse des résultats	25
8. Discussion des résultats	26
9. Perspectives	27
10. Conclusions	28
11. Références	29

1. Introduction

Au cours de ces dernières années, les questions environnementales sont de plus en plus présentes au sein des manifestations sportives ou culturelles, devenant parfois même un outil marketing.

Afin de réduire leurs impacts environnementaux, différentes mesures ont été appliquées par les organisateurs de ces manifestations. Ces derniers temps, l'innovation la plus marquante et la plus médiatisée a été l'utilisation de gobelets plastiques réutilisables en lieu et place des gobelets jetables. En Suisse, des événements de grande envergure ont déjà adopté ce principe, notamment le Gurten Festival (40'000 spectateurs), le festival Balélec (plus de 12'000 spectateurs), le Caribana Festival (plus de 20'000 spectateurs) et les manifestations organisées dans la ville de Bâle dans le cadre de l'Eurofoot 2008.

Après avoir été lavé, ce nouveau type de gobelet peut être réutilisé plusieurs fois, évitant ainsi la consommation excessive de matière première. A première vue et comme de nombreuses études le confirment, le gobelet réutilisable paraît donc être, du point de vue écologique, préférable aux gobelets à utilisation unique. Toutefois, en creusant un peu plus la question, on remarque que les résultats obtenus lors de ces études sont fortement corrélés avec le nombre de réutilisation réelle, le système de collecte des gobelets ainsi qu'avec le comportement des consommateurs. Il convient donc de se demander si, avec les contraintes des manifestations temporaires, le gobelet réutilisable est le plus favorable à l'environnement ou si d'autres solutions peuvent être envisagées.

Dans cette étude, nous allons essayer d'apporter une nouvelle variante en proposant un gobelet plastique qui n'est ni jetable, ni lavable mais recyclable et fabriqué à partir de matière recyclée.

2. Base de l'étude

2.1. Problématique

Au niveau environnemental, l'amélioration obtenue par l'utilisation de gobelets réutilisables ne dépend pas entièrement de facteurs qui sont propres au gobelet, mais plutôt d'éléments qui l'entourent (la distance entre la manifestation et le centre de lavage, le taux de perte, ...). Comme la logistique à mettre en place est assez importante (collecter les gobelets, ajouter un dépôt sur le prix des gobelets, ...), cela décourage beaucoup d'organisateur, surtout pour des manifestations de plus petite envergure.

Une alternative utilisant des infrastructures déjà existantes pourrait donc faciliter l'application de celle-ci tout en limitant ses impacts sur l'environnement. L'utilisation de gobelets contenant de la matière recyclée et qui est recyclable via la voie de recyclage traditionnelle des bouteilles PET va donc être au centre de notre étude. Nous allons déterminer dans quelle mesure les gobelets recyclables peuvent concurrencer les autres types de gobelets du point de vue de leur impact environnemental.

2.2. Objectifs du projet

Ce projet va consister à réaliser une analyse de cycle de vie¹ (ACV) d'un gobelet fabriqué en matière PET de suffisamment bonne qualité pour être recyclé.

Actuellement, le PET utilisé pour la fabrication de gobelets ne peut pas être introduit dans la filière de récupération des bouteilles PET. Pour qu'il devienne intéressant au niveau environnemental, il doit présenter une qualité égale à celle des bouteilles et pouvoir ainsi être collecté et recyclé avec elles.

Nous allons donc considérer un gobelet à utilisation unique, collecté dans des containers pour bouteilles PET du même type que ceux utilisés par *PET-Recycling* en Suisse. Il sera ensuite recyclé via la filière déjà en place pour les bouteilles PET.

Comme l'analyse de cycle de vie nécessite une comparaison entre divers scénarios, nous allons confronter notre variante à plusieurs possibilités. Différentes matières polymères peuvent être utilisées pour la production de gobelets. Sur le marché, on retrouve, entre autres, le polystyrène (PS), le polypropylène (PP) ou le polyéthylène téréphtalate (PET). Dans cette étude, nous allons considérer des gobelets jetables en PET, car c'est la matière qui présente le plus faible impact sur l'environnement pour un gobelet jetable en plastique, et des gobelets réutilisables en PP, principalement en raison du fait que ce polymère est répandu dans la fabrication de ce type de gobelet.

3. Cadre d'analyse

3.1. Méthodologie

Comme le sujet a déjà passablement été étudié pour les gobelets jetables et réutilisables, nous avons tout d'abord cherché à nous baser sur des études officielles et pouvoir donner ainsi une plus grande crédibilité à notre travail. Il s'est vite avéré que cette démarche était difficile à réaliser, car l'accès aux données nous était régulièrement refusé pour des règles de confidentialité.

Cette impasse nous a donc poussés à récolter les informations directement auprès des acteurs impliqués autour du commerce des gobelets. Chaque étape des différents scénarios étudiés (fabrication, transport, utilisation, fin de vie) a donc généralement été décrite ou approximée par un spécialiste ou une personne connaissant très bien le domaine en question.

Toutefois, toutes les données n'ont pas pu être déterminées. Nous avons donc effectués certaines hypothèses pour atteindre une évaluation environnementale aussi complète qu'il nous ait été possible de faire.

Pour réaliser cette analyse de cycle de vie, nous avons utilisé le logiciel *SimaPro* qui permet de pouvoir comparer plusieurs scénarios au niveau de leur impact. La base de données choisie est *Ecoinvent*. Elle contient plus de 2500 inventaires environnementaux dans toutes sortes de domaines (énergie, transports, élimination des déchets, construction, produits chimiques, ...).

¹ « L'analyse du cycle de vie (ACV) - ou écobilan - évalue l'impact environnemental d'un produit, d'un service ou d'un système en considérant toutes les étapes de son cycle de vie. Elle permet d'identifier les points sur lesquels un produit peut être amélioré et vise à prévenir les impacts liés aux activités humaines. » tiré du livre *Analyse de cycle de vie, comprendre et réaliser un écobilan* de O. Jolliet, M. Saadé et P. Crettaz.

3.2. Logiciel *SimaPro*

Pour le calcul des impacts dans *SimaPro*, la méthode *Impact 2002+* a été adoptée. Cette méthode groupe, dans un premier temps, les résultats d'inventaire des substances en 14 catégories d'impacts dites « intermédiaires ». Elle permet dans un deuxième temps de résumer ces 14 catégories en 4 catégories dites « de dommages » représentant les changements de qualité de l'environnement (au sens large du terme).

Par scénario, les résultats sont présentés selon trois niveaux. Le premier est par catégorie de dommages (*endpoint*), ce qui permet d'avoir une vision globale et concise des impacts considérés. Puis vient le niveau intermédiaire (*midpoints*) afin d'éventuellement préciser les impacts de manière plus détaillée. Enfin, les résultats de l'inventaire des substances sont analysés en détail de manière à cibler les substances clés, c'est-à-dire les substances dont la contribution est dominante pour la catégorie de dommages.

Endpoints

Voici les quatre catégories de dommages (ou *endpoints*) pris en compte dans une ACV:

- Ressources :

Cette catégorie quantifie l'impact sur les ressources primaires non renouvelable (minerais et énergies). Les ressources énergétiques sont exprimées en énergie primaire n'étant plus disponibles à long terme. Pour les minerais, la situation est différente puisqu'ils ne disparaissent pas, mais sont dissipés dans le circuit économique et dans l'environnement. Leur agrégation avec les ressources énergétiques se base sur l'énergie supplémentaire qui devrait être consommée dans le futur en raison de la baisse des teneurs en minerai dans les mines.

Unité : [MJ] ou [GJ]

- Changements climatiques :

Cette catégorie quantifie l'impact sur le changement climatique, en particulier l'augmentation de l'effet de serre (gaz à effet de serre).

Unité : [kg de CO₂ équivalent] ou [tonnes de CO₂ équivalent].

- Santé humaine :

Cette catégorie quantifie l'impact sur « l'environnement humain » ou santé humaine exprimé en années de vie perdues.

Unité : [DALY] ≡ années équivalentes de vie perdues (Disability Adjusted Life Years).

- Qualité des écosystèmes :

Cette catégorie quantifie l'impact sur l'environnement naturel terrestre et aquatique exprimé en perte relative d'espèces par unité de surface par unité de temps.

Unité : [PDF*m²*an] ≡ fraction d'espèce disparue sur un mètre carré pour une année.

Midpoints

Un certain nombre de catégories intermédiaires (*midpoints*) contribuent plus ou moins aux impacts des *endpoints*. Afin d'affiner l'analyse des impacts, il faut d'examiner les différents impacts au niveau des catégories intermédiaires. Voici comment elles sont réparties :

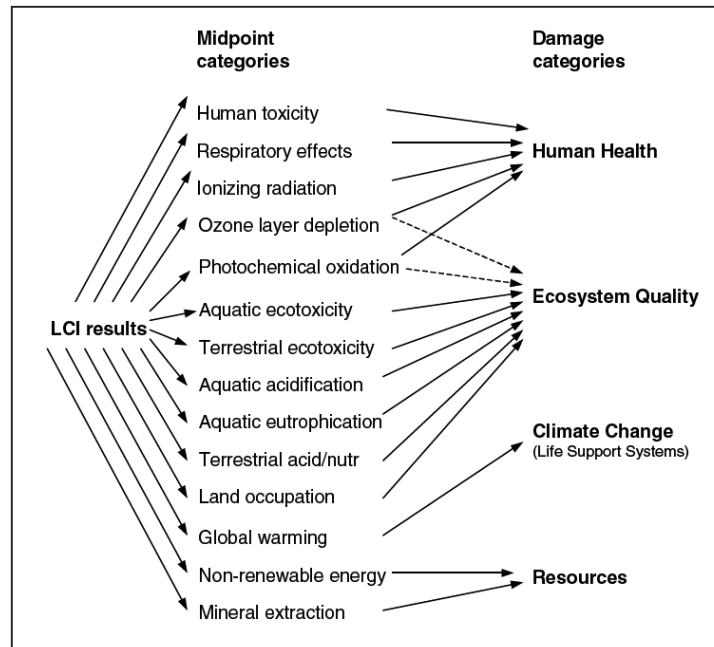


Figure 1 : Midpoints -endpoints²

Inventaire des substances

Pour chaque *endpoint*, les substances mises en jeu par la base de données sont exprimées par rapport à leur proportion sur le total des impacts. Cela permet de détecter celles qui participent le plus à l'impact environnemental du scénario proposé.

3.3. Champ d'étude

3.3.1. Unité fonctionnelle

L'unité fonctionnelle (base de comparaison) pour ce projet est :

« L'utilisation d'un gobelet pouvant contenir 3 dl de boisson (froide) ».

3.3.2. Scénarios

Trois scénarios ont été comparés. Le premier étant le plus courant actuellement, il a été désigné « scénario de référence ». La deuxième variante est un scénario qui a déjà démontré des possibilités d'amélioration au niveau des impacts sur l'environnement. Enfin le dernier concerne la nouvelle alternative que nous avons étudiée.

² Jolliet, O. et al. (2003). *IMPACT 2002+ : A New Life Cycle Impact Assessment Methodology*. GECOS, Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL), ecomed publishers, Germany.

- **Scénario de référence « gobelet jetable »** : un gobelet de 3dl standard, en polyéthylène téréphtalate (PET), à usage unique, et éliminé avec les déchets ménagers par incinération. Ce scénario est considéré comme le scénario de référence
- **Scénario « gobelet réutilisable »** : un gobelet de 3dl en PP à usage multiple. Après utilisation, le gobelet est récupéré, lavé avec un procédé spécifique, puis réutilisé. Suivant le taux de collecte des gobelets après utilisation, nous considérons qu'une partie est éliminée par incinération.
- **Scénario « gobelet recyclable »** : un gobelet de 3dl en PET (haute qualité) fabriqué en partie avec du PET recyclé et recyclable via la filière de *PET-Recycling* en Suisse. Après utilisation, le gobelet est récupéré directement dans le container pour bouteilles PET, et suit le processus de recyclage déjà en place. Suivant le taux de collecte des gobelets après utilisation, nous considérons qu'une partie est éliminée par incinération.

3.3.3. Limites du système

Le tableau suivant présente les étapes des trois scénarios prises en compte et analysées dans cette étude :

Scénario 1 - jetable	Scénario 2 - réutilisable		Scénario 3 - recyclable	
Gobelets standards utilisation unique (jetable)	Gobelets standards multi-utilisation (lavage)		Gobelets PET recyclé (filière recyclage PET)	
Fabrication du gobelet	Fabrication du gobelet		Fabrication du gobelet	
Transport depuis le fabricant jusqu'au fournisseur	Transport depuis le fabricant jusqu'au fournisseur (= centre de lavage)		Transport depuis le fabricant jusqu'au fournisseur	
Transport depuis le fournisseur jusqu'à la manifestation	Transport depuis le fournisseur jusqu'à la manifestation		Transport depuis le fournisseur jusqu'à la manifestation	
Transport de la manifestation jusqu'à l'usine d'incinération	Transport depuis la manifestation jusqu'au centre de lavage (=fournisseur)	Transport de la manifestation jusqu'à l'usine d'incinération	Transport de la manifestation jusqu'à l'usine de recyclage	Transport de la manifestation jusqu'à l'usine d'incinération
Elimination (incinération)	Lavage	Elimination (incinération)	Recyclage	Elimination (incinération)
			Transport depuis l'usine de recyclage jusqu'au fabricant	

Figure 2 : Limites du système

4. Scénario de référence « gobelet jetable »

Il s'agit d'un gobelet de 3dl en PET qui est utilisé une seule fois, puis collecté avec les autres déchets de la manifestation et incinéré dans une usine d'incinération des ordures ménagères (UIOM) en fin de vie.

4.1. Inventaire des matériaux et processus

4.1.1. Matériau

Matériau de fabrication	PET
Base de données Ecoinvent	polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant/kg/RER
Quantité [kg]	0.008

Hypothèse :

- Le gobelet en PET pèse 8g, ce qui est le poids habituel pour ce type de gobelet jetable.³

4.1.2. Transports

Transport	Fabricant - fournisseur	Fournisseur - manifestation	Manifestation - centre de transfert	Centre de transfert - UIOM
Base de données Ecoinvent	Transport, freight, rail/CH U	Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	Transport, municipal waste collection, lorry 21t/CH U	Transport, freight, rail/CH U
Charge [t]	0.000008	0.000008	0.000008	0.000008
Distance [km]	450	30	20	30
Transport [tkm]	0.0036	0.00024	0.00016	0.00024

Hypothèses :

- La charge reste constante pour les transports sur tout le cycle de vie. Elle vaut le poids total du gobelet, soit 8 grammes ou 0.000008 tonnes.
- La distance entre le fabricant et le fournisseur équivaut à 450 km, qui est la distance entre l'usine de fabrication *Huhtamaki* basée en Allemagne à Ronsberg et un fournisseur en Suisse Romande. Elle s'effectue en train, puis le dernier kilomètre en poids lourd. Ce dernier kilomètre en camion a été omis dans l'ACV.⁴

³ Dinkel, F. (2005). *Ökologisch Vergleich : Einweg – Mehrwegbecher*. Erstellt im Auftrag des Amtes für Umwelt und Energie Basel-Stadt, Basel, CARBOTECH AG.

⁴ Selon Thermoflex SA.

- Le rayon d'action du fournisseur a été choisi comme étant 30 km (fournisseur → manifestation, en camion).
- Le transport entre la manifestation et l'UIOM passe par un centre de transfert. Dans notre exemple, le fonctionnement du centre de traitement des déchets *TRIDEL* à Lausanne a été choisi comme modèle. Les déchets sont d'abord collectés dans un camion-poubelle et amenés jusqu'au centre de transfert, ce qui fait environ 20km. Le trajet entre le transfert et l'UIOM (ici *TRIDEL*) est effectué en train (30km).⁵

4.1.3. Consommation d'énergie et ressources

Energie / ressources	Energie pour la fabrication [MJ]	Elimination UIOM [Kg]
Base de données Ecoinvent	Electricity, medium voltage, at grid/CH U	disposal, polyethylene terephthalate, 0.2% water, to municipal incineration/kg/CH
Quantité	0.0288	0.008

Hypothèses :

- L'énergie nécessaire pour la fabrication est de 3.6 MJ / kg. Donc pour 8g, on a besoin de 0.0288 MJ.⁶
- Pour l'incinération du gobelet en PET, l'entier du gobelet est pris en compte. Nous avons ajouté à cela le gain en énergie que l'incinération du PET produit, soit une production d'électricité de 2.97 kWh / kg et une production de chaleur équivalent à 11.88 MJ / kg.⁷

⁵ www.tridel.ch.

⁶ Dinkel, F. (2005). *Ökologisch Vergleich : Einweg – Mehrwegbecher*. Erstellt im Auftrag des Amtes für Umwelt und Energie Basel-Stadt, Basel, CARBOTECH AG.

⁷ *Les emballages plastiques : de la fabrication à la valorisation*. (1999). Cercle National du Recyclage.

4.2. Flux de référence

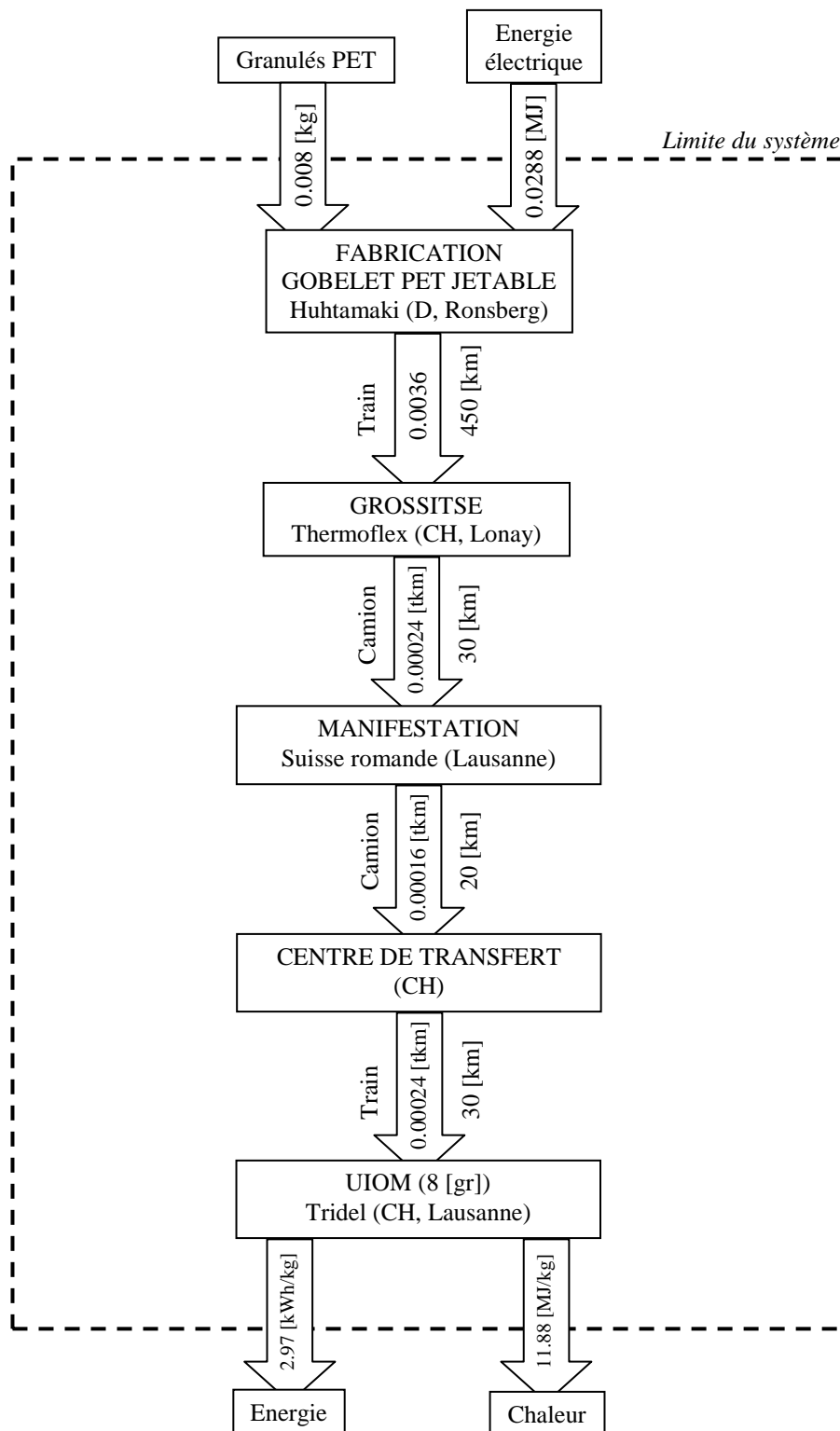


Figure 3 : Gobelet jetable - flux de référence

5. Scénario « gobelet réutilisable »

Dans ce scénario, nous considérons un gobelet de 3dl en polypropylène (PP) qui va être lavé et réutilisé plusieurs avant d’être collecté avec les autres déchets de la manifestation et amené dans une UIOM. Pour être réutilisé, il doit être plus résistant que le gobelet jetable. Ce gobelet est donc plus épais et plus lourd que le scénario précédent.

5.1. Inventaire des matériaux et processus

5.1.1. Matériau

Matériau de fabrication	PP
Base de données Ecoinvent	polypropylene, granulate, at plant/kg/RER
Quantité [kg]	0.00023

Hypothèse :

- Le poids d’un gobelet réutilisable en PP est de 35g. On suppose une moyenne de 150 réutilisations avant que celui-ci ne soit incinéré. On a donc $0.035 \text{ kg} / 150 = 0.00023 \text{ kg}$ de PP par utilisation.⁸

5.1.2. Transports

Transport	Fabricant - fournisseur	Fournisseur/lavage - manifestation (aller-retour)	Manifestation - centre de transfert	Centre de transfert - UIOM
Base de données Ecoinvent	Transport, freight, rail/CH U	Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	Transport, municipal waste collection, lorry 21t/CH U	Transport, freight, rail/CH U
Charge [t]	0.00000023	0.00007	0.00000023	0.00000023
Distance [km]	320	200	20	30
Transport [tkm]	0.0000736	0.014	0.0000047	0.000007

Hypothèses :

- Le fournisseur de gobelets récupère également les gobelets et les lave. Il n’y a donc qu’un seul lieu pour le fournisseur et le centre de lavage. Le fournisseur est situé à Bâle, il n’y a pour l’instant pas de fournisseur en Suisse Romande.⁹

⁸ Dinkel, F. (2005). *Ökologisch Vergleich : Einweg – Mehrwegbecher*. Erstellt im Auftrag des Amtes für Umwelt und Energie Basel-Stadt, Basel, CARBOTECH AG.

⁹ www.cupsys.ch

- La charge n'est pas la même pour toutes les étapes de transport. Elle vaut la totalité du poids du gobelet pour le transport entre le fabricant de gobelet et le fournisseur, soit 0.23g (35g / 150 utilisations). Ensuite, comme le nombre de réutilisation est de 150, le gobelet ira 149 fois au centre de lavage et 1 fois à l'UIOM. Pour le trajet entre le fournisseur et la manifestation, on a donc environ 70g (0.23g * 150 fois pour l'aller et 0.23g * 149 fois pour le retour). Et pour le transport à l'UIOM via le centre de transfert, on obtient 0.23g (0.23g * 1 fois).
- Le lieu de fabrication est le même que pour le gobelet jetable. La distance entre le fabricant et le fournisseur équivaut à 320 km, qui est la distance entre l'usine de fabrication *Huhtamaki* basée en Allemagne à Ronsberg et un fournisseur à Bâle. Elle s'effectue en train.¹⁰
- Il y a 200 km entre le fournisseur et la manifestation (Bâle → Suisse Romande). Ce trajet est effectué 2 fois en camion.
- Le transport entre la manifestation et l'UIOM passe par un centre de transfert. Dans notre exemple, le fonctionnement du centre de traitement des déchets *TRIDEL* à Lausanne a été choisi comme modèle. Les déchets sont d'abord collectés dans un camion-poubelle et amenés jusqu'au centre de transfert, ce qui fait environ 20km. Le trajet entre le transfert et l'UIOM (ici *TRIDEL*) est effectué en train (30km).¹¹

5.1.3. Consommation d'énergie et ressources

Energie / ressources	Energie pour la fabrication [MJ]	Energie pour le lavage [kWh]	Eau pour le lavage [kg]	Elimination UIOM [kg]
Base de données Ecoinvent	Electricity, medium voltage, at grid/CH U	Electricity, medium voltage, at grid/CH U	tap water, at user/kg/CH	disposal, polypropylene, 15.9% water, to municipal incineration/kg/CH
Quantité	0.00084	0.0153	0.0181	0.00023

Hypothèses :

- L'énergie nécessaire pour la fabrication est de 3.65 MJ / kg. Donc pour 0.23g, on a besoin de 0.00084 MJ.¹²
- En règle générale, le lavage de 1000 gobelets a besoin de 15.3 kWh. Il faut donc 0.0153 kWh pour laver 1 gobelet.¹³
- Pour laver 3000 gobelets, 55 litres d'eau sont consommés. Cela fait 0.0181 litres par gobelet, soit 0.0181 kg d'eau.¹⁴

¹⁰ Selon Thermoflex SA.

¹¹ www.tridel.ch

¹² Dinkel, F. (2005). *Ökologisch Vergleich : Einweg – Mehrwegbecher*. Erstellt im Auftrag des Amtes für Umwelt und Energie Basel-Stadt, Basel, CARBOTECH AG.

¹³ Dinkel, F. (2005). *Ökologisch Vergleich : Einweg – Mehrwegbecher*. Erstellt im Auftrag des Amtes für Umwelt und Energie Basel-Stadt, Basel, CARBOTECH AG.

¹⁴ Selon CUP Systems AG.

- L'incinération du gobelet en PP se produira seulement 1 fois sur 150. Il y a donc 0.00023 kg par unité fonctionnelle qui sera incinéré ($0.035 \text{ kg} * 1 \text{ fois} / 150 = 0.00023 \text{ kg}$). Nous avons ajouté à cela le gain en énergie que l'incinération du PP produit, soit une production d'électricité de 2.904 kWh / kg et une production de chaleur équivalent à 11.616 MJ / kg.¹⁵

¹⁵ *Les emballages plastiques : de la fabrication à la valorisation.* (1999). Cercle National du Recyclage.

5.2. Flux de référence

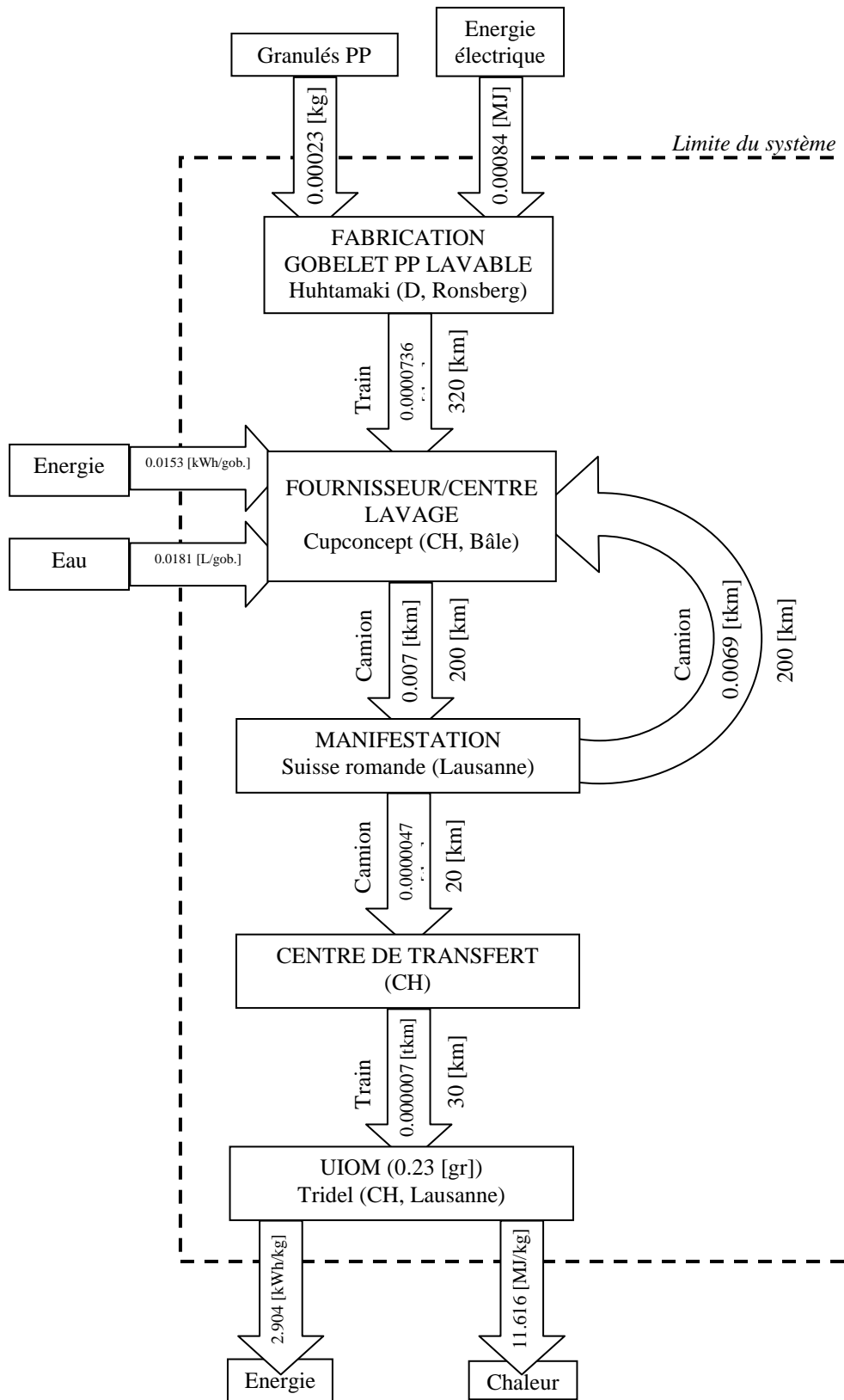


Figure 4 : Gobelet réutilisable - flux de référence

6. Scénario « gobelet recyclable »

Pour ce scénario, le gobelet de 3dl étudié est fabriqué partiellement à partir de PET recyclé et également recyclé en fin de vie. Ce type de gobelet ne se trouvant pas sur le marché économique, la filière pour les bouteilles en PET de *PET-Recycling* en Suisse a été prise comme modèle. Avec une qualité de PET suffisante, les gobelets pourraient alors être intégrés à cette filière. Ainsi, cela permettrait d'éviter la mise en place de nouvelles infrastructures et de limiter les impacts sur l'environnement.

6.1. Inventaire des matériaux et processus

6.1.1. Matériau

Matériau de fabrication	PET
Base de données Ecoinvent	Polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade, at plant/RER S
Quantité [kg]	0.004

Hypothèses :

- Avec les technologies actuelles, les bouteilles PET pourraient être entièrement constituées de PET recyclée. Mais actuellement, de manière plus réaliste, on peut estimer à 50% la proportion de PET recyclé. Si l'on se base sur le scénario du gobelet jetable, les 50% de 8g du gobelet jetable en PET donnent 4g, soit 0.004 kg. Les autres 50% ne sont pas pris en compte comme matériau de fabrication, car aucune matière première supplémentaire n'est nécessaire.¹⁶
- Lorsqu'une matière est recyclée, elle perd un peu de sa qualité. Elle ne retrouve donc pas la qualité du matériau brut (phénomène appelé « downcycling »). Pour les bouteilles PET, on peut estimer que 1.3 kg de PET recyclé équivaut à 1 kg de PET brut. En conservant ce rapport pour un gobelet, la masse des 50 % de PET recyclé qui sont inclus dans sa composition n'est pas 4g mais 5.2 g afin d'assurer une qualité structurelle suffisante ($4g \cdot 1.3 = 5.2g$). Le gobelet de ce scénario pèse donc en tout 9.2 g.¹⁷

¹⁶ Selon ITW Poly Recycling GmbH.

¹⁷ Selon ITW Poly Recycling GmbH.

6.1.2. Transports

Transport	Fabricant - fournisseur	Fournisseur - manifestation	Manifestation - usine recyclage	Usine recyclage - fabricant	Manifestation - centre de transfert	Centre de transfert - UIOM
Base de données Ecoinvent	Transport, freight, rail/CH U	Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	Transport, municipal waste collection, lorry 21t/CH U	Transport, freight, rail/CH U
Charge [t]	0.0000092	0.0000092	0.0000072	0.0000052	0.000002	0.000002
Distance [km]	450	30	250	200	20	30
Transport [tkm]	0.00414	0.000276	0.0018	0.00104	0.00004	0.000061

Hypothèses :

- La charge à transporter depuis le fabricant jusqu'à la manifestation vaut 9.2 g, le poids du gobelet.
- Le taux de collecte est estimé à 78% (taux semblable aux bouteilles PET en Suisse), le reste allant à l'UIOM. De la manifestation à l'usine de recyclage, $0.78 * 9.2g = \sim 7,2 g$ est transporté. Et de la manifestation à l'UIOM via le centre de transfert, les 22 % restant sont transportés, soit $\sim 2 g$.¹⁸
- Concernant la charge de transport entre l'usine de recyclage et le fabricant, elle vaut 5.2 g afin de correspondre à la quantité de PET recyclé nécessaire à la production d'un gobelet (voir les hypothèses pour le matériau ci-dessus). Le recyclage permet donc de récupérer 72.5 % de la matière collectée ($0.725 * (0.78 * 9.2g) = 5.2 g$).
- Le lieu de production est semblable que celui du gobelet jetable. La distance entre le fabricant et le fournisseur équivaut à 450 km, qui est la distance entre l'usine de fabrication *Huhtamaki* basée en Allemagne à Ronsberg et un fournisseur en Suisse Romande. Elle s'effectue en train.¹⁹
- Le rayon d'action du fournisseur a été choisi comme étant 30 km (fournisseur → manifestation, en camion).
- L'usine de recyclage est à 250 km de la manifestation à Frauenfeld, comme le sont les usines de recyclage pour les bouteilles PET *RecyPET AG* et *ITW Poly Recycling GmbH*.²⁰
- La distance entre l'usine de recyclage et l'usine de fabrication est de 200 km, ce qui est égal au transport entre *RecyPET AG* à Frauenfeld et *Huhtamaki* à Ronsberg.

¹⁸ www.petrecycling.ch

¹⁹ Selon Thermoflex SA.

²⁰ Selon ITW Poly Recycling GmbH.

- Le transport entre la manifestation et l'UIOM passe par un centre de transfert. Dans notre exemple, le fonctionnement du centre de traitement des déchets *TRIDEL* à Lausanne a été choisi comme modèle. Les déchets sont d'abord collectés dans un camion-poubelle et amenés jusqu'au centre de transfert, ce qui fait environ 20km. Le trajet entre le transfert et l'UIOM (ici *TRIDEL*) est effectué en train (30km).²¹

6.1.3. Consommation d'énergie et ressources

Energie / ressources	Energie pour la fabrication [MJ]	Energie pour le recyclage [kWh]	Processus recyclage - Eau [m3]	Elimination UIOM [Kg]
Base de données Ecoinvent	Electricity, medium voltage, at grid/CH U	Electricity, medium voltage, at grid/CH U	tap water, at user/kg/CH	disposal, polyethylene terephthalate, 0.2% water, to municipal incineration/kg/CH)
Quantité	0.033	0.0022	0.029	0.002

Hypothèses :

- L'énergie consommée pour la production conserve le même ordre de grandeur que celle calculée pour le gobelet jetable (0.0288 MJ pour 8g). Pour les 9.2g du gobelet recyclable, on obtient donc 0.033 MJ.
- L'énergie pour le recyclage est de 0.3 kWh / kg de PET recyclé. Comme on a collecté ~7.2 g (0.78 (taux de collecte) * 9.2 g), il faut 0.0022 kWh.²²
- 1 à 4 m³ sont nécessaires au recyclage de 1 kg de PET. En prenant la plus forte consommation, 4 m³, 0.029 m³ d'eau sont consommés (0.78 * 9.2 g * 4 m³ = 0.029 m³).²³
- Avec un taux de collecte de 78 %, 22 % du gobelet est incinéré dans une UIOM, soit 2g (= 0.22 * 9.2 g). Nous avons ajouté à cela le gain en énergie que l'incinération du PET produit, soit une production d'électricité de 2.97 kWh / kg et une production de chaleur équivalent à 11.88 MJ / kg.²⁴

6.1.4. Gain en ressources

Hormis la diminution de matière première nécessaire à la fabrication, une partie du PET recyclé est réutilisé pour fabriquer des produits qui n'ont pas besoin de PET de haute qualité (par exemple, des pulls polaires). Il y a donc un gain de matière, car cela évite une nouvelle consommation de ressources.

Ressources	PET [kg]
Base de données Ecoinvent	Polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade, at plant/RER S
Quantité	0.0015

²¹ www.tridel.ch

²² Selon ITW Poly Recycling GmbH.

²³ Selon ITW Poly Recycling GmbH.

²⁴ *Les emballages plastiques : de la fabrication à la valorisation.* (1999). Cercle National du Recyclage.

Hypothèses :

- Après avoir pris 72.5 % de la matière recyclée pour fabriquer un nouveau gobelet, il reste 27.5 % pouvant être utilisé pour la fabrication d'autres produits. Donc, en tenant compte du taux de collecte, il reste 1.97 g de PET recyclé ($0.275 * (0.78 * 9.2 \text{ g}) = 1.97 \text{ g}$).
- La perte de qualité de la matière est de 77 %, car 1.3 kg de PET recyclé équivaut à 1 kg de PET brut. Le gain de matière réel vaut donc $1.97 \text{ g} * 0.77$, soit $\sim 1.5 \text{ g}$.²⁵

²⁵ Selon ITW Poly Recycling GmbH.

6.2. Flux de référence

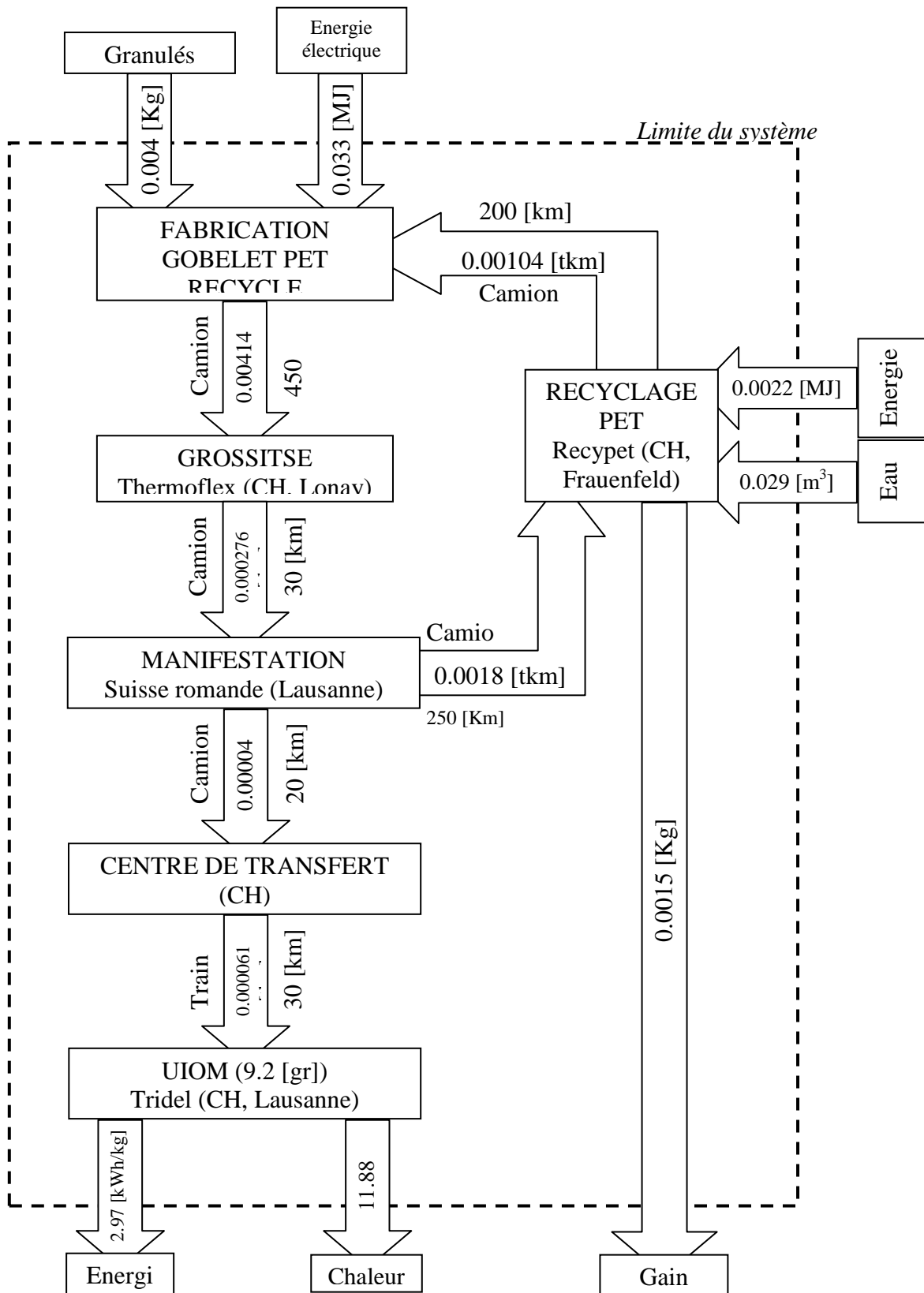


Figure 5 : Gobelet recyclable - flux de référence

7. Résultats et interprétation de l'ACV

Tout d'abord, les scénarios « gobelet jetable », « gobelet réutilisable » et « gobelet recyclable » sont comparés pour chaque catégorie de dommages (ou *endpoints*), afin d'avoir une vision globale des résultats obtenu avec SimaPro.

Ensuite, différentes variantes des scénarios sont confrontées pour constater dans quelle mesure le nombre de réutilisations du scénario « gobelet réutilisable » et le pourcentage de matière recyclée du « gobelet recyclable » peuvent influencer les résultats. En effet, ces deux variables sont critiques et leur modification peut changer les conclusions tirées de cette étude.

Les *midpoints* et l'inventaire des substances, donnés également par SimaPro, ne sont pas présentés mais ils ont servis à interpréter et analyser les résultats.

Pour présenter les résultats, les processus et transports ont été groupés en trois étapes principales du cycle de vie : fabrication, utilisation et fin de vie.

- « **Fabrication** » = matériau + énergie pour la fabrication.
- « **Utilisation** » = transport fabricant au fournisseur + transport fournisseur à manifestation (si existant, + eau et énergie pour le lavage). La sous-catégorie « Lavage » regroupe : transport fournisseur à manifestation aller-retour, eau et énergie pour le lavage.
- « **Fin de vie** » = transport manifestation à UIOM + incinération UIOM (si existant, + transport manifestation à usine de recyclage + processus recyclage + transport usine de recyclage au fabricant). La sous-catégorie « Recyclage » regroupe : transport manifestation à usine de recyclage, processus recyclage et transport usine de recyclage au fabricant.

7.1. Comparaison des scénarios

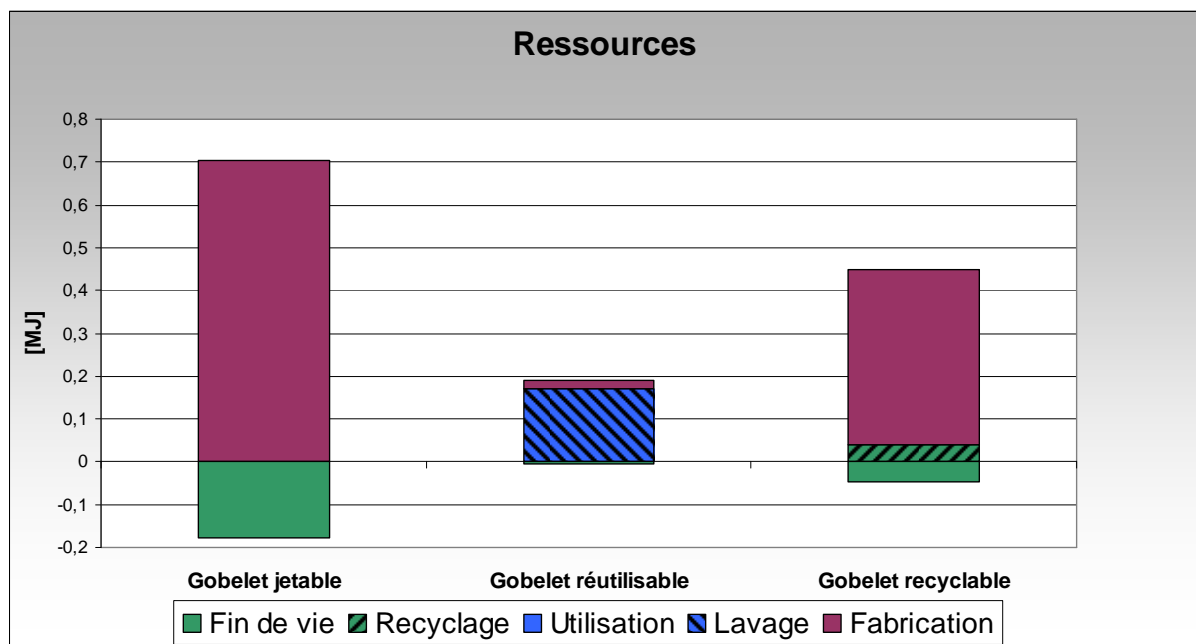


Figure 6 : Comparaison - ressources

Pour les impacts sur les ressources, le meilleur scénario est celui du gobelet réutilisable. Il est plus favorable d'un point de vue environnemental d'un facteur 2 à 3 par rapport aux autres. Pour les scénarios du gobelet jetable et du gobelet recyclable, leurs plus gros impacts sont dus à l'étape « fabrication ». En effet, Le PET est fabriqué avec du pétrole, qui est une ressource non-renouvelable et qui a donc un fort impact. Le recyclage du gobelet limite la consommation de matière première et est donc bénéfique sur les ressources par rapport à la solution totalement incinérée. Le gain en énergie lors de l'incinération pour le gobelet jetable permet d'éviter la consommation supplémentaire de ressource, ce qui est positif. Mais cela ne comble pas totalement son retard et il reste le plus mauvais scénario.

Par utilisation, le gobelet réutilisable ne nécessite que très peu de matière (PP) pour sa fabrication comparé aux autres gobelets. La majeure partie de ses impacts sur les ressources est due à la phase de lavage, notamment par la consommation d'électricité pour faire fonctionner la machine à laver. C'est l'uranium et le pétrole utilisés pour produire l'électricité qui provoque une diminution des ressources et donc un impact.

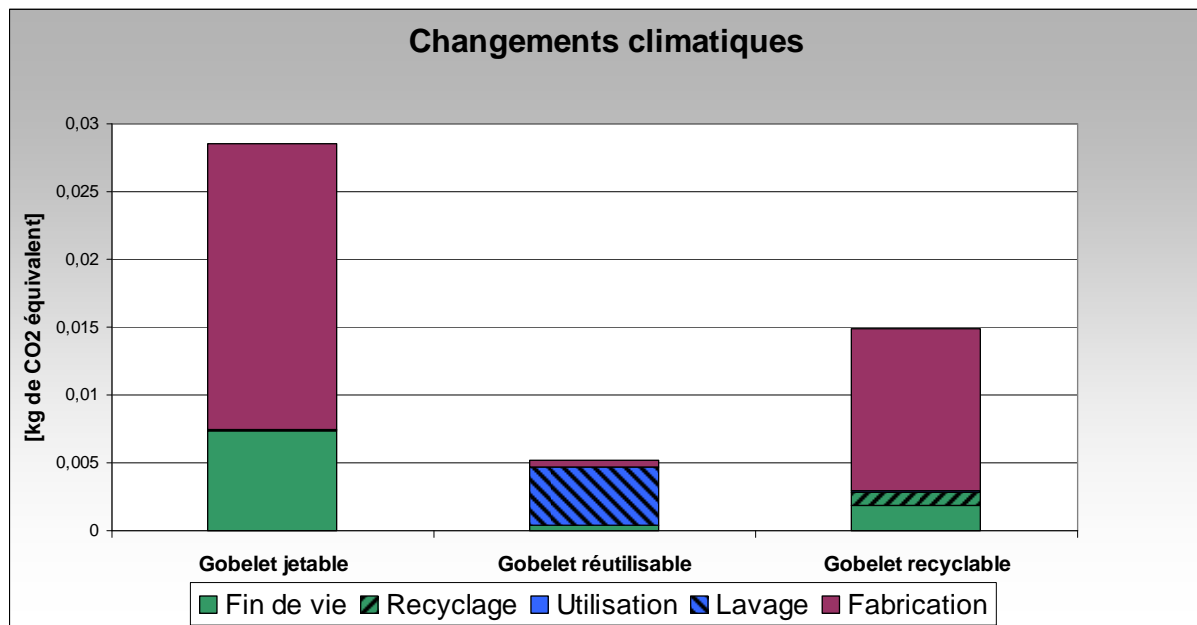


Figure 7 : Comparaison - changements climatiques

Le gobelet jetable possède l'impact sur les changements climatiques le plus important. C'est surtout sa phase de fabrication qui est la plus influente (~74%). En effet, contrairement aux deux autres types de gobelets, une unité fonctionnelle a besoin de la totalité du poids du gobelet, soit 8 [gr] de PET. Sa fin de vie engendre également un impact important (~25%) puisqu'on a considéré que le 100% du gobelet terminait sa vie incinéré.

Le 90% de l'impact du gobelet réutilisable est causé par le processus de lavage. Effectivement, cette étape nécessite beaucoup de transport (400km aller-retour). Néanmoins, le gobelet réutilisable est la solution engendrant le moins d'impact sur les changements climatiques. Son impact total ne représente que le 18% de l'impact du gobelet jetable et le 34% du gobelet recyclable.

Le processus de recyclage du gobelet recyclable ne représente qu'une petite partie de son impact total sur les changements climatiques. La majeure partie est due à la quantité de matière consommée pour la fabrication et aux émissions de CO₂ qui en résultent. En tout, l'impact global du gobelet est presque 3 fois supérieur à celui du gobelet réutilisable.

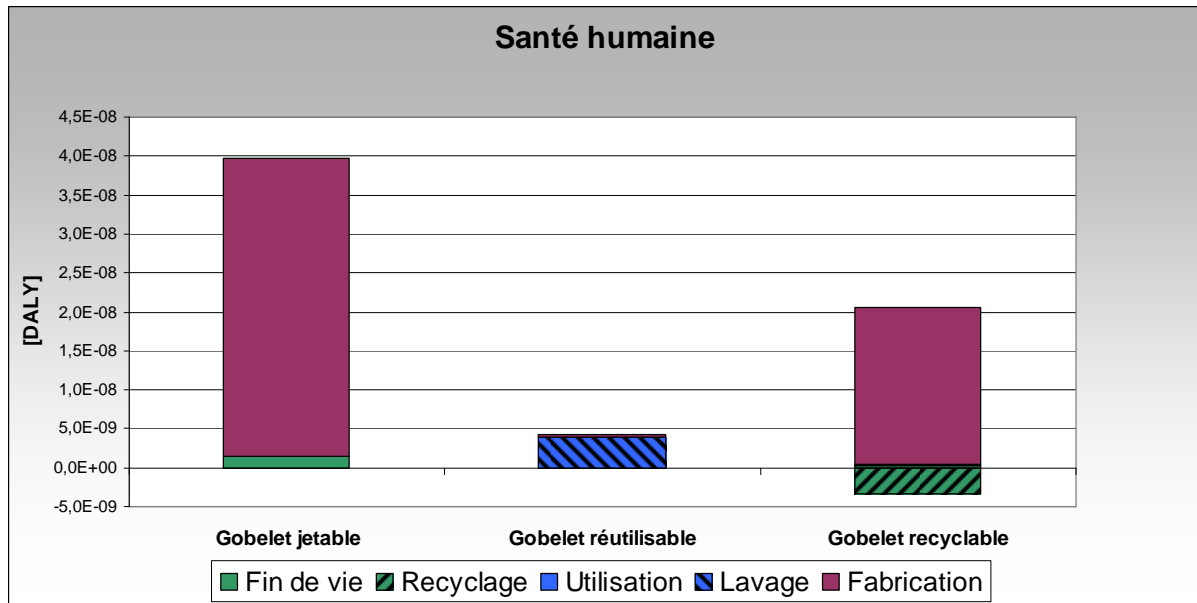


Figure 8 : Comparaison - santé humaine

Le gobelet réutilisable est le meilleur au niveau de la santé humaine. La phase de lavage est le principal élément qui participe aux impacts de ce *endpoint*, surtout à cause des NOx libérés par les transports entre le fournisseur/centre de lavage et la manifestation. Les NOx sont des éléments précurseurs du cycle de production de l’ozone troposphérique, qui est très nocif pour la santé humaine (trouble respiratoire, toux, ...). Mais son impact reste faible par rapport aux autres scénarios.

Pour les deux autres scénarios, la quantité de matière importante nécessaire à leur fabrication est la cause de leur fort impact sur la santé humaine. Une grande partie des substances émises dans l’air lors de la production du PET est très cancérigènes pour l’Homme. Grâce à l’utilisation de matière recyclée et au recyclage du gobelet, le gobelet recyclable consomme moins de ressources et est donc au final meilleur que le gobelet jetable.

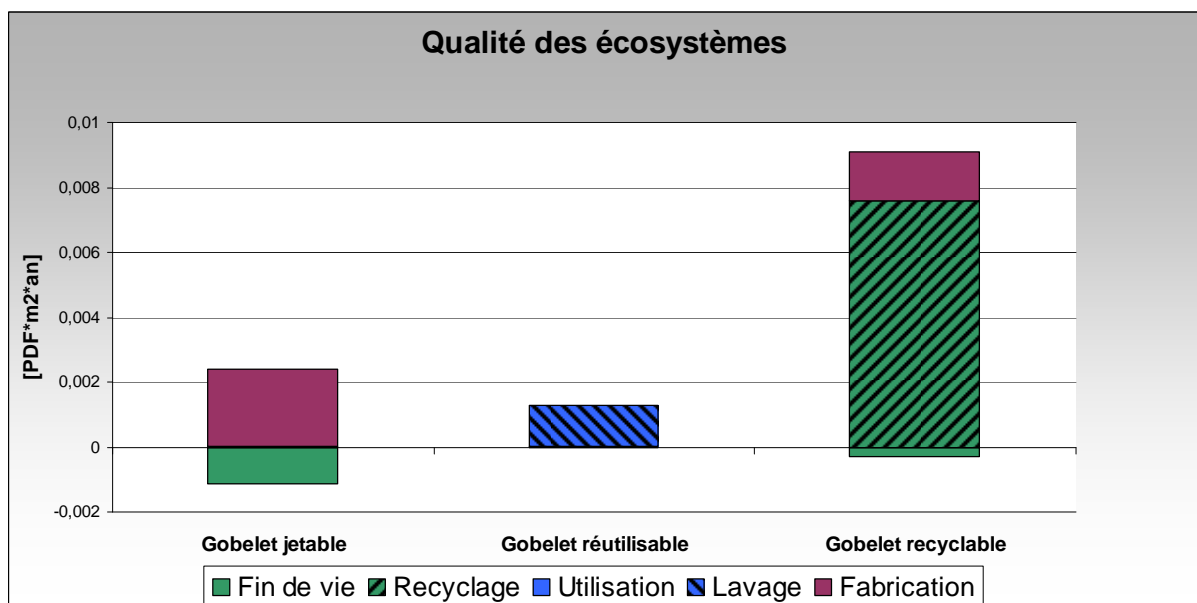


Figure 9 : Comparaison - qualité des écosystèmes

L'impact du gobelet jetable sur la qualité des écosystèmes est relativement faible en comparaison de l'impact du gobelet recyclable. La quasi-totalité de l'impact est causé par la consommation d'électricité et de granulés de PET dans la phase de fabrication. Mais il est en partie compensé par l'impact négatif dû à la récupération d'énergie électrique et thermique à l'usine d'incinération.

Le gobelet réutilisable a l'impact le plus faible sur la qualité des écosystèmes. Seuls les transports pour le processus lavage et l'électricité nécessaire au lavage sont significatifs dans l'impact total.

L'impact important du gobelet recyclable est caractérisé par la phase de recyclage qui est très gourmande en eau. Ce scénario a un impact sur la qualité des écosystèmes environ 7 fois supérieur aux autres scénarios.

7.2. Etude de variantes

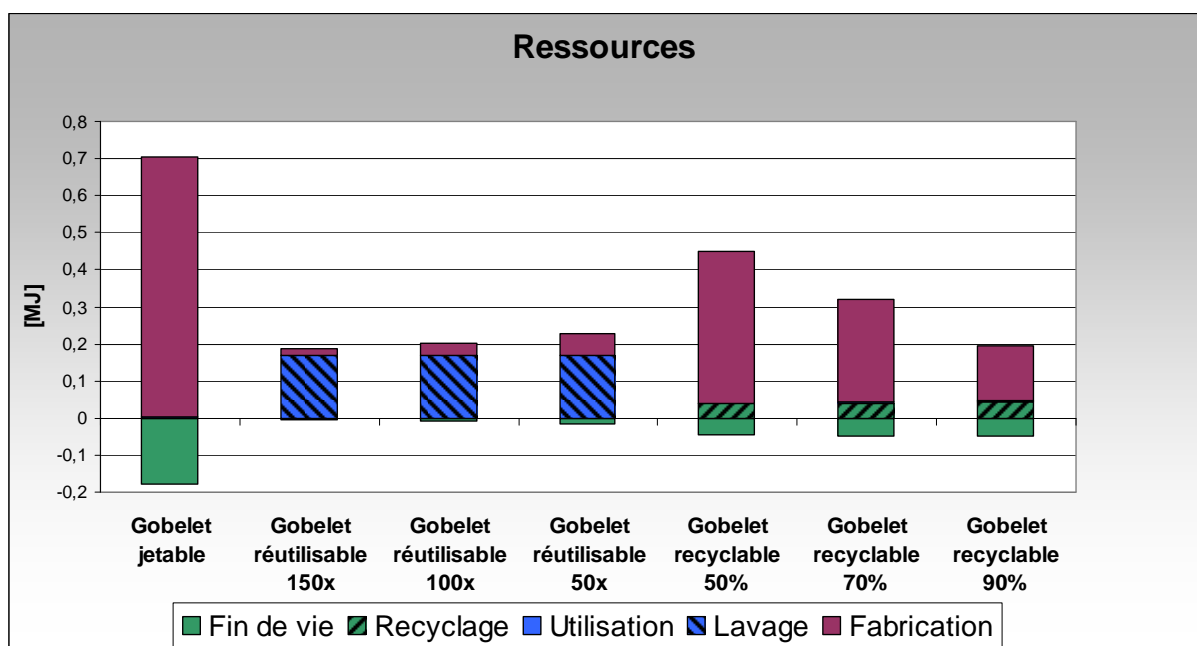


Figure 10 : Variantes - ressources

On remarque qu'il faut que le gobelet recyclable contienne 90% de matière recyclée pour qu'il devienne concurrentiel au gobelet réutilisable. En effet, il faut que le gobelet n'ait plus que 10 % de matière non-recyclée pour que l'impact sur les ressources non-renouvelable diminue suffisamment. Avec le gain en ressources dû à l'incinération, le gobelet avec 90% de matière recyclée est même meilleur que le gobelet réutilisable quel que soit le nombre d'utilisations. On peut donc estimer que l'équivalence avec le gobelet lavable est atteinte lorsque le gobelet contient 80% de matière issu du recyclage.

Pour le gobelet réutilisable, l'impact augmente un peu avec la baisse du nombre d'utilisations. Ce n'est pas l'énergie consommée par la machine à laver qui accroît l'impact, car elle reste constante pour laver un gobelet, mais l'augmentation de la quantité de matière nécessaire (PP) par unité fonctionnelle.

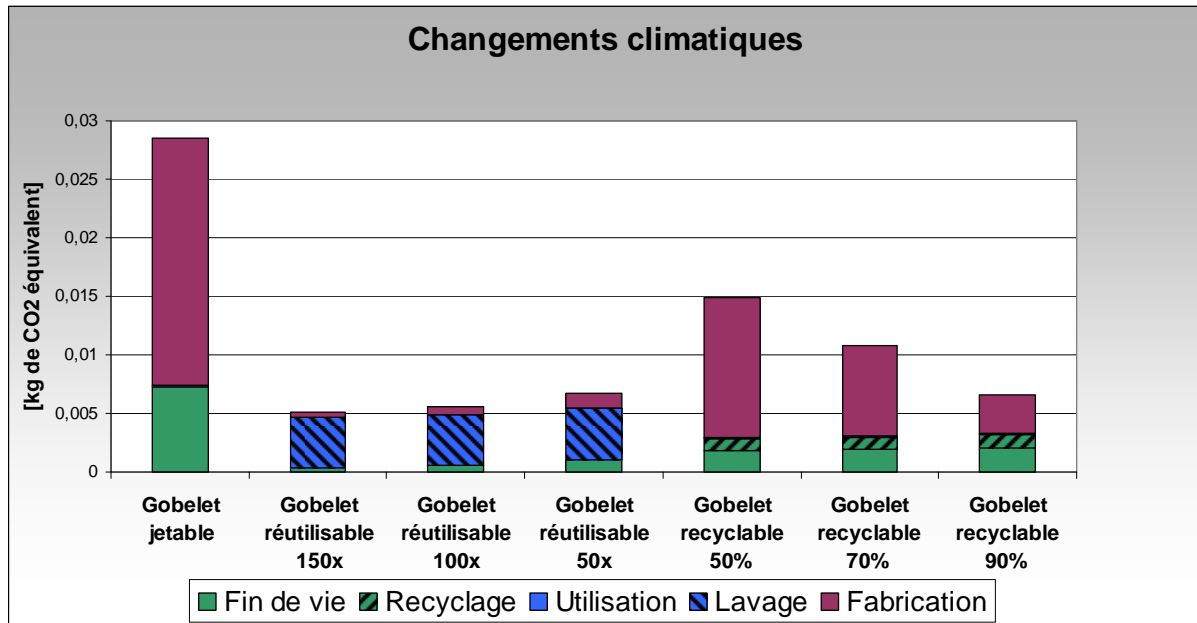


Figure 11: Variantes - changements climatiques

Pour les gobelets réutilisables, plus le nombre de réutilisation est faible, plus la quantité de gobelets à produire et éliminer est importante. Pour les gobelets recyclables, plus le taux de matière recyclée utilisée est important, plus la quantité de matière vierge nécessaire pour la fabrication est faible.

Les différentes variantes font apparaître des changements intéressants. On peut remarquer qu'à partir d'un nombre de réutilisations des gobelets réutilisables inférieur à 50 et un taux de matière recyclée dans les gobelets recyclés supérieur à 90%, la tendance s'inverse. En effet, l'impact des gobelets recyclables devient inférieur à l'impact des gobelets réutilisables. Néanmoins, il faut signaler qu'un taux de matière recyclée utilisée de 90% dans le gobelet recyclé est quasi impossible à atteindre, étant donné la qualité inférieure du PET recyclé.

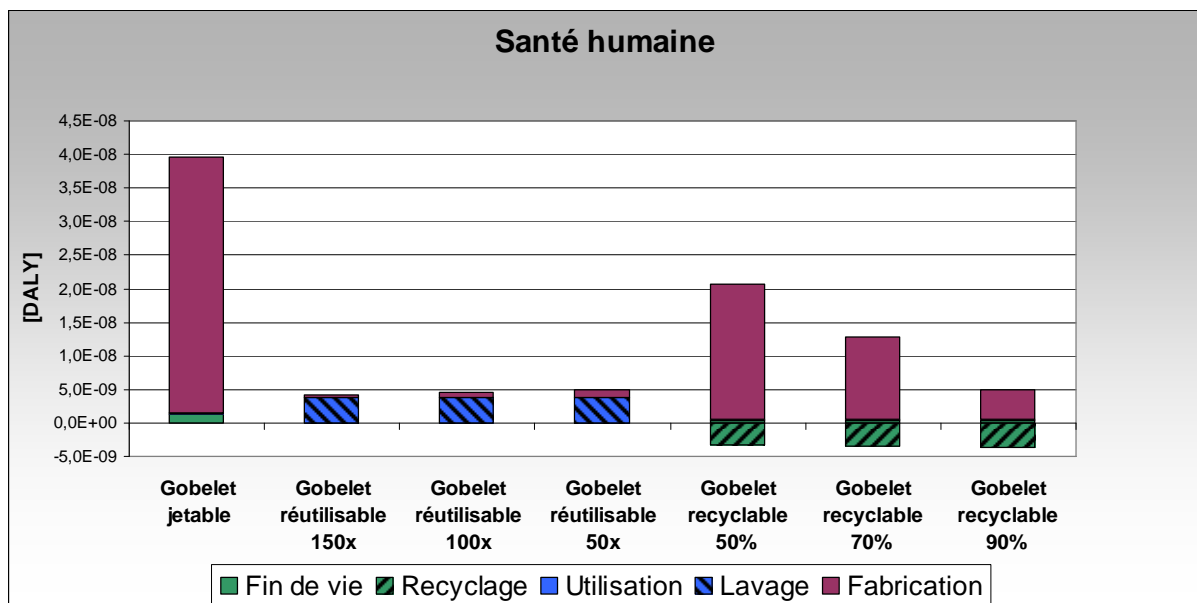


Figure 12 : Variantes - santé humaine

Le meilleur scénario est celui du gobelet recyclable avec 90% de matière recyclée pour sa fabrication.

Comme les transports entre le fournisseur/centre de lavage et la manifestation causent les principaux impacts et qu'ils restent quasiment constants pour les scénarios des gobelets réutilisables, l'impact total sur la santé humaine varie très peu selon le nombre d'utilisations. Par contre, le gobelet recyclable réduit sa consommation de matière pour la fabrication (PET) et diminue donc les substances cancérigènes émises dans l'air. Avec un taux de 90% voire de 80% de matière recyclée, le gobelet recyclable arrive donc à être moins défavorable à la santé humaine que le gobelet réutilisable.

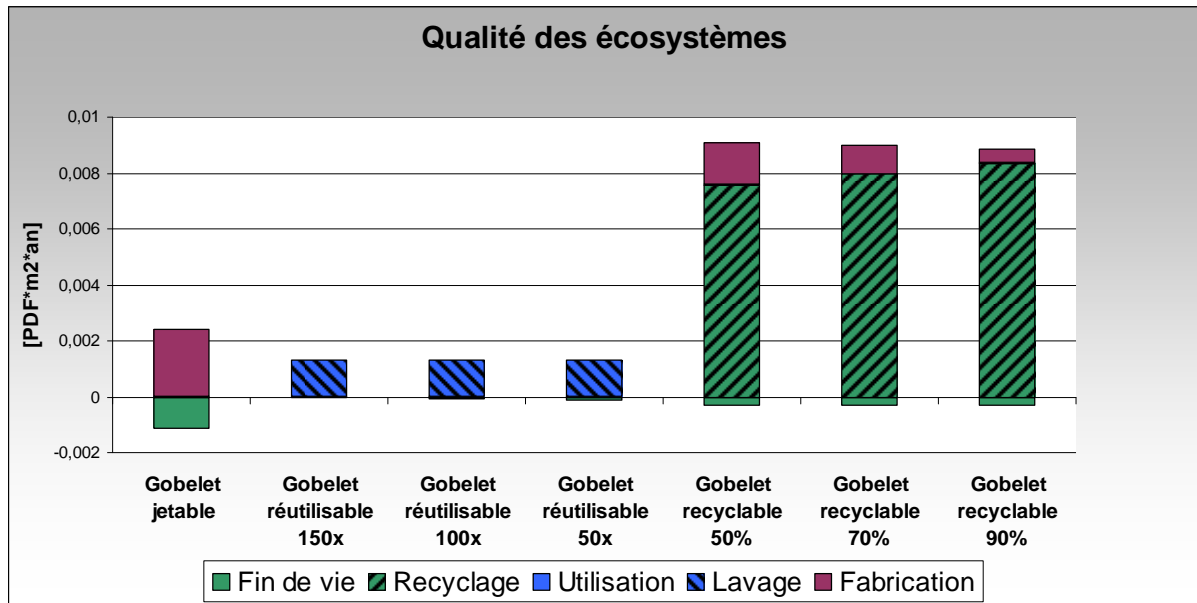


Figure 13 : Variantes - qualité des écosystèmes

Le changement dans les différentes variantes des gobelets réutilisables n'est pas très significatif. En effet, peu importe le nombre de réutilisations, un seul processus de lavage est comptabilisé par unité fonctionnelle. Pour les gobelets recyclables, plus le taux de matière recyclée utilisée est important, plus la quantité de matière vierge nécessaire au processus de fabrication diminue. De manière symétrique, l'impact du recyclage augmente car plus le pourcentage de matière recyclée est important, plus le poids du gobelet augmente.

Ces variantes ne modifient pas fondamentalement le résultat de base. On retrouve par ordre croissant d'impact sur la qualité des écosystèmes : le gobelet réutilisable, le gobelet jetable et le gobelet recyclable.

7.3. Synthèse des résultats

Dans le cadre de nos scénarios de base, les résultats du gobelet recyclable présentent des impacts environnementaux inférieurs au gobelet jetable pour les *endpoints* ressources, changements climatiques et santé humaine, mais pas pour les ressources. En revanche, il est au minimum deux fois moins bon que le gobelet réutilisable pour toute catégorie de dommages considérée. Par conséquent, dans le cas des scénarios de base le gobelet réutilisable possède, de loin, le meilleur bilan environnemental. Le gobelet recyclable ne présente donc pas a priori un intérêt environnemental particulier.

Dans le cadre des variantes, en reconsidérant le taux de réutilisation du gobelet réutilisable et le taux de matière recyclée dans le gobelet recyclable, les conclusions varient :

Pour l'impact sur les ressources, à partir de 90% (voire 80%) de matière recyclé le gobelet recyclable est meilleur que le gobelet réutilisable avec un nombre de réutilisation égale à 50. Pour l'impact sur les changements climatiques, à partir de 90% (voire 80%) de matière recyclé le gobelet recyclable équivaut le gobelet réutilisable avec un nombre de réutilisation égale à 50.

Pour l'impact sur la santé humaine, à partir de 90% (voire 80%) de matière recyclé le gobelet recyclable est meilleur que le gobelet réutilisable avec un nombre de réutilisation égale à 50. Pour la qualité des écosystèmes, l'impact de base du gobelet recyclable est tellement important que les variantes ne modifient rien. Il conserve un impact largement supérieur aux deux autres gobelets pour toutes les variantes.

En conclusion, le gobelet recyclable est compétitif au gobelet réutilisable uniquement dans le cas où le nombre de réutilisation du gobelet réutilisable est inférieur à 50 et le taux de matière recyclée dans le gobelet recyclable dépasse les 90% (voire 80%).

8. Discussion des résultats

Les résultats obtenus lors de ce projet ne sont pas incontestables, plusieurs facteurs ayant été approximés. Il convient donc de discuter de la validité des résultats et de déterminer dans quelle mesure ils pourraient être améliorés.

Tout d'abord, certains éléments au niveau des scénarios :

- Pour la fin de vie du gobelet, mis à part le recyclage, l'incinération a été considérée comme unique possibilité. Bien qu'elles n'entrent pas dans les objectifs du projet, d'autres alternatives auraient pu être considérées. Par exemple, les gobelets jetables pourraient être revalorisés, les gobelets réutilisables peuvent être conservés par les utilisateurs comme objet souvenir s'il y a le logo de la manifestation sur le gobelet, ...
- Pour le gobelet réutilisable, un scénario avec une plus grande proximité entre la station de lavage des gobelets et la manifestation aurait pu montrer le fort potentiel d'amélioration existant. Le lavage pourrait, par exemple, être effectué sur le site de la manifestation. Cupsystems AG propose effectivement une station de lavage mobile pour les manifestations de grande ampleur.
- Pour les gobelets réutilisables, les produits de nettoyage utilisés lors le lavage devraient être pris en compte. L'impact environnemental de ce scénario pourrait donc être beaucoup plus important.

Au niveau des hypothèses :

- La plupart des hypothèses ne sont fondées que sur une seule source d'information. Un plus grand nombre d'interlocuteurs et donc de données permettraient d'améliorer la fiabilité de cette étude.
- Les phases de fabrication et de recyclage ont été approximés en regardant principalement la consommation d'énergie, alors qu'il y a bien plus de procédés à considérer.

- La qualité du PET nécessaire à la fabrication des gobelets recyclables est basée sur celui utilisé pour les bouteilles PET. Il faudrait pouvoir se baser sur un prototype ou un gobelet existant pour estimer au mieux la quantité de PET, car c'est l'élément qui a le plus grand impact pour ce scénario.
- Le gain en ressources après le recyclage (ou consommations de ressources évitées) devrait être affiné car sa valeur est très approximative et son influence sur l'ACV n'est pas négligeable. Il faudrait connaître exactement la finalité du PET qui n'est pas utilisé pour fabriquer de nouveau gobelet et la qualité exacte de sa matière.

Malgré ses nombreuses approximations, cette étude n'est pas dépourvue de sens. Elle permet de comparer les scénarios selon des hypothèses basées sur la connaissance de nombreux spécialistes. Comme ces spécialistes ont été contactés directement, les données obtenues sont fiables, ce qui est un atout non-négligeable pour cette ACV.

9. Perspectives

Actuellement, le choix du gobelet réutilisable est considéré comme le plus écologique :

« Même dans les hypothèses les plus défavorables, les gobelets réutilisables sont nettement plus écologiques que tous les jetables. Dans le meilleur des scénarios, les modèles à usage unique ont une charge environnementale deux fois plus élevée que le moins bon des réutilisables. Opter pour ce type de récipients est donc incontestablement la solution la plus écologique. Cela permet en outre de réduire considérablement le problème du littering, au même titre que la perception d'une consigne incitant à rapporter les verres après consommation. »²⁶

Le système de récupération de ces gobelets est bien accepté par les consommateurs. Plusieurs expériences prouvent que les personnes collaborent bien en rapportant les gobelets au débit de boisson au lieu de le jeter :

« Les sondages indiquent clairement que les visiteurs apprécient les gobelets et les assiettes réutilisables. Plus de 80 pour cent d'entre eux les préfèrent nettement à la vaisselle jetable, y percevant un gain la qualité. Ces résultats sont confirmés par plusieurs enquêtes indépendantes faites à Bâle, Berne, Zurich, Lausanne, Sursee et Illnau-Effretikon. La propreté du terrain où se déroule la fête est également considérée comme un élément positif, pour lequel les visiteurs sont disposés à déboursier une modeste contribution. »²⁷

D'un autre côté, la filière de récupération du PET implantée en Suisse est efficace et écologiquement très intéressante. L'étude de Carbotech AG²⁸, réalisée à la demande de PET-Recycling Suisse, démontre que collecter le PET réduit la production de CO₂ et ménage les

²⁶ *Les gobelets réutilisables champions de l'écobilan.* (2007). Communiqué de presse, Office fédéral de l'environnement (OFEV),BAFU.

²⁷ *Informations et expériences en matière de gestion des déchets, Regard dur les déchets.* (2002). Office de la protection des eaux et de la gestion des déchets, AEBI, SCHLUP & PARTENER AG.

²⁸ Dinkel, F. (2008). *Récapitulatif de l'étude : Utilité écologique de recyclage du PET en Suisse.* Par ordre de PRS-PET-Recycling Schweiz, CARBOTECH AG.

ressources non-renouvelables. Le recyclage du PET réduit de moitié l'ensemble des effets environnementaux par rapport à l'incinération du PET avec les ordures et à la nouvelle production que cela implique. La récupération des bouteilles PET est également excellente, puisqu'elle atteint presque 80% en 2007. Les consommateurs sont donc sensibles et vigilants au tri des bouteilles PET.

Suite aux résultats de cette étude, on peut supposer un intérêt, sous certaines conditions, à la production de gobelets recyclables et fabriqué à partir de PET recyclé. Mais il est nécessaire de se demander si la filière de PET-Recycling est techniquement réellement capable d'accueillir ces nouveaux gobelets dans leur filière de recyclage.

D'autre part, dans cette étude, nous n'avons pas considéré et comparé les prix de production et de recyclage des gobelets. Pourtant, il serait pertinent de comparer les coûts des différentes étapes de vie des gobelets.

Finalement, le problème principal est de connaître le comportement du consommateur en ce qui concerne le respect du tri. En effet, recyclable ne signifie pas forcément recyclé. On peut se demander comment le consommateur, habitué à trier séparément les gobelets des bouteilles PET, réagira à ce nouveau système de tri. De plus, à moins d'une uniformisation de la production de gobelets en Suisse, le consommateur devra, en fonction de l'endroit, rapporter son gobelet après utilisation, le jeter dans une poubelle standard ou le jeter avec les bouteilles PET.

Le défi majeur, est donc de choisir un gobelet avec un impact minimum sur l'environnement et de généraliser sa distribution au dépend des autres types de gobelets pour que le taux de récupération soit maximal.

10. Conclusions

Lors de ce projet, plusieurs types de gobelets ont été étudiés selon une analyse de cycle de vie. Les objectifs étaient d'estimer la pertinence de l'utilisation d'un gobelet recyclable et fabriqué à partir de matière recyclée pour des manifestations, notamment en le comparant à un gobelet jetable et à un gobelet réutilisable.

Comme les résultats le montrent, le gobelet recyclable est globalement plus favorable à l'environnement que le gobelet jetable standard. Par contre, il a généralement de plus gros impacts que le gobelet réutilisable. Pour qu'il devienne préférable au gobelet réutilisable, il faudrait atteindre 80 à 90% de matière recyclée dans sa fabrication et que le nombre de réutilisations des gobelets réutilisables baisse à 50. Le taux de matière recyclée et le nombre de réutilisations (ou taux de perte) ressortent donc comme étant des éléments clés de l'étude. Une grande précision des données est donc nécessaire sur ces deux points pour arriver à une comparaison réaliste des scénarios étudiés.

Un autre facteur important qu'il faudrait intégrer à cette étude est la variation de la distance entre la manifestation et le centre de lavage des gobelets. En effet, il semblerait qu'une plus grande proximité entre eux rendrait le gobelet réutilisable incontestablement le gobelet le plus durable à utiliser pour une manifestation.

11. Références

Documents

Aide à la décision à l'intention des organisateurs de fêtes sportives et de manifestations publiques : comment choisir la vaisselle la plus écologique. (2006). Swiss Olympic Association et OFEV, Bern.

Bättig, M. (2002). *Ökobilanz einwegbecher – mehrwegbecher.* Erstellt im Auftrag des Amtes für Umwelt und Energie Basel-Stadt, Zürich, INFRAS.

Bauer, K. (2006). *Umlaufzyklen von Mehrwegbechern, Eine Umfrage im Zoologischen Garten Basel zum privaten Gebrauch der Zolli-Mehrwegbecher.* Amtes für Umwelt und Energie Basel-Stadt, Basel-Stadt, Baudepartement des Kantons Basel-Stadt.

Dinkel, F. (2005). *Ökologisch orientierte Geschirrwahl.* Erstellt im Auftrag von swiss olympic, Basel, CARBOTECH AG.

Dinkel, F. (2005). *Ökologisch Vergleich : Einweg – Mehrwegbecher.* Erstellt im Auftrag des Amtes für Umwelt und Energie Basel-Stadt, Basel, CARBOTECH AG.

Dinkel, F. et al. (2007). *Vergleichende Ökobilanz verschiedener Bechersysteme beim Getränkeausschank.* Erstellt im Auftrag von Bundesamt für Umwelt BAFU (Schweiz), Basel, CARBOTECH AG.

Dinkel, F. (2008). *Ökologischer Nutzen des PET-Recycling Schweiz.* Erstellt im Auftrag von PET Recycling Schweiz, Basel, CARBOTECH AG.

Dinkel, F. (2008). *Récapitulatif de l'étude : Utilité écologique de recyclage du PET en Suisse.* Par ordre de PRS-PET-Recycling Schweiz, CARBOTECH AG.

Gilgen, P. W. (2008). *L'étude Carbotech sur le bilan écologique des bouteilles en PET du point de vue de l'expert.* EMPA, Dübendorf.

Gobelets réutilisables / Verre jetables ~éléments de comparaison sur le plan écologique~. (2007). Association « Mais qu'est-ce que tu fabriques ? », Landerneau.

Informations et expériences en matière de gestion des déchets, Regard dur les déchets. (2002). Office de la protection des eaux et de la gestion des déchets, AEBI, SCHLUP & PARTENER AG.

Jolliet, O. et al. (2003). *IMPACT 2002+ : A New Life Cycle Impact Assessment Methodology.* GECOS, Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL), ecomed publishers, Germany.

Jolliet, O. et al. (2005). *Analyse de cycle de vie, Comprendre et réaliser un écobilan.* Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.

Kittle Paul A., PhD, Rusmar Incorporated West Chester, PA. Données JOBIN

Le recyclage du PET en Suisse. (2008). Association PRS – PET-Recycling Schweiz, Zurich.

Les emballages plastiques : de la fabrication à la valorisation. (1999). Cercle National du Recyclage. Disponible sur : www.cercle-recyclage.asso.fr.

Les gobelets réutilisables champions de l'écobilan. (2007). Communiqué de presse, Office fédéral de l'environnement (OFEV), BAFU.

Martin, V. et al. (2006-07). *Comparaison entre gobelets standards et gobelets réutilisables.* Projet de semestre, Lausanne, EPFL.

Marty, J.-F. (2008). *Une étude le démontre : recycler le PET, c'est protéger l'environnement.* PET-Recycling Suisse, Zurich.

PET FLASH, N°28 (août 2003). *Bulletin d'information de PET-Recycling Suisse.* Association PRS PET-Recycling Suisse, Buchs.

Recyclage des matières plastiques en Suisse. (2001). Exposé de la position de L'OFEFP, Bern.

Vercalsteren, A. et al. (2006). *Comparative LCA of 4 types of drinking cups used at events.* OVAM, VITO, Mol, Belgique.
<http://www.ovam.be>

Vercalsteren, A. et al. (2006). *Eco-Efficiency analysis of 4 types of drinking cups used at events.* OVAM, VITO, Mol, Belgique.
<http://www.ovam.be/jahia/do/pid/1435>

Villard, C. (2007). *Evaluation de la gestion des déchets dans les Girons.* Projet SIE, EPFL, Usine 21.

Sites Web

- www.balelec.ch
- www.cupconcept.ch
- www.cupsys.ch
- www.ofev.ch
- www.petrecycling.ch
- www.tridel.ch

Personnes contactées

- Bättig Michèle Econcept AG, Zürich
- Besson Philippe Thermoflex SA, Lonay
- Dinkel Fredy Carbotech AG, Bâle
- Marty Jean-François PET- Recycling Suisse, Le Mont sur Lausanne
- Roussel Bernard BRP Bernard Roussel Plastiques, Corminboeuf
- Scolari Olivia CUP Systems AG, Münchenstein
- Van den Dungen Casper ITW Poly Recycling GmbH, Weinfelden