

---

## ADDENDUM

---

# SOLUTION DES EXERCICES

---

### EXERCICES CHAPITRE 2

#### Exercice 2.5.1 Choix de la méthode d'évaluation environnementale

*Parmi les méthodes énumérées dans le tableau 2.3, quelle est la plus appropriée pour les situations suivantes? Lister les raisons pour utiliser cette méthode et discuter quelle est la base appropriée pour la comparaison.*

*a. Une entreprise d'électricité investit 50 million de \$ pour intégrer l'énergie photovoltaïque dans la conception de bâtiments commerciaux et résidentiels. Elle veut estimer les bénéfices environnementaux de cette conception, en faisant l'hypothèse que 1000 bâtiments seront construits.*

Réponse : l'ACV est appropriée parce qu'elle permet d'estimer les impacts environnemental d'un système à une large échelle sans en connaître sa localisation exacte.

Base de comparaison : impact par bâtiment ou par m<sup>2</sup> de panneau installé ou par kWh photovoltaïque produit. On compare les impacts de scénarios de bâtiments commerciaux et résidentiels, avec et sans panneaux photovoltaïques.

*b. Air France souhaite réduire les émissions de gaz à effet de serre qu'elle émet.*

Réponse : le bilan carbone est adéquat, puisque l'on s'intéresse uniquement aux émissions de gaz à effets de serre.

Base de comparaison : émissions de CO<sub>2</sub> équivalent sur l'ensemble des activités d'Air France.

*c. Entre la nourriture pour chat Kilcat et MBC (Mon Beau Chat) vous voulez choisir celle qui a l'impact environnemental le plus faible*

Réponse : l'ACV s'applique bien à la comparaison des impacts environnementaux d'un produit.

Base de comparaison : impact par repas pour chat de teneur nutritive équivalente

*d. Maintenant vous choisissez le mode d'emballage de votre nourriture pour chat du magasin jusqu'à votre domicile: en utilisant un sac en papier ou un sac en plastique.*

Réponse : l'ACV est adaptée parce qu'elle permet de comparer l'impact environnemental de la fonction de transport des sacs.

Base de comparaison : impact par quantité portée dans un sac, en tenant compte du nombre de réutilisation moyen de chaque type de sac.

*e. Airbus veut décider s'il doit construire sa nouvelle usine aéronautique à Toulouse ou à Hambourg.*

Réponse : l'étude d'impact environnemental est la plus appropriée parce qu'elle permet d'estimer les impacts localisés d'une activité et de contrôler qu'ils ne dépassent pas un niveau limite.

Base de comparaison : concentration et impacts de polluants prédits aux alentours de l'usine.

*f. Vous souhaitez choisir entre prendre la voiture, le bus, le train ou l'avion pour votre trajet entre Montréal et Toronto, en vous basant sur les impacts environnementaux de ces différents moyens de transport.*

Réponse : l'ACV permet de comparer les impacts de différents modes de transport sur tout leur cycle de vie.

Base de comparaison : impact par personne-km (1 personne transportée sur 1 km).

*g. Une fuite de produits chimiques a lieu dans une usine de production de No-voartiste et il faut décider si la population habitant cette région doit être évacuée.*

Réponse : l'analyse de risque permet d'estimer l'augmentation des risques de toxicité humaine causés par l'émission d'une substance toxique.

Base de comparaison : niveau de risque de cancer, dépassement de valeurs seuils pour les substances non-cancérigènes.

*h. Ensuite, il faut déterminer la meilleure méthode de décontamination pour le site sur lequel la fuite vient d'avoir lieu.*

Réponse : l'analyse de risque permet de considérer les risques de toxicité humaine avant, pendant et après la décontamination. L'ACV permet de comparer les performances de divers scénarios de décontamination, en tenant compte des impacts indirects sur tout le cycle de vie (par exemple l'approvisionnement en énergie ou le transport).

Base de comparaison : impacts causés par et après les efforts de décontamination, rapportés au m<sup>2</sup> décontaminé.

*i. Les autorités régionales réfléchissent à la création d'une bourse de recyclage pour les matériaux usagers et veulent décider quels matériaux inclure.*

Réponse : l'analyse des flux de matière s'applique à ce cas et permet de suivre les matériaux réutilisés, recyclés ou éliminés.

Base de comparaison : kg de matériaux disponibles et échangés dans la région considérée.

*j. Le gouvernement Suisse souhaite examiner les impacts de l'utilisation des biocarburants par la flotte de véhicules de la confédération helvétique.*

Réponse : l'ACV permet d'estimer et de comparer les impacts des carburants à une échelle nationale ou pour une flotte de véhicule donnée.

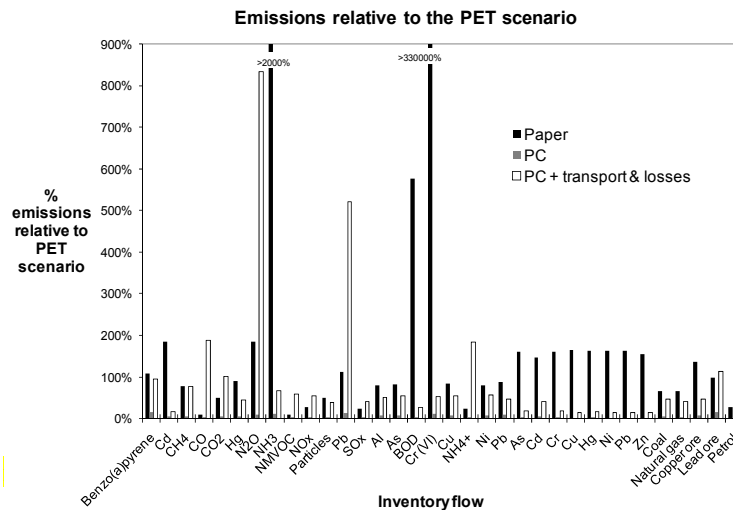
Base de comparaison : impact par véhicule-km (1 véhicule transporté sur 1 km).

### Exercice 2.5.2 Gobelets pour manifestation sportive

Basé sur la section 2.4 et l'exercice comparant l'utilisation de différents types de gobelets pour une manifestation sportive, répondez aux questions suivantes:

*a. Enumérer deux conclusions préliminaires que vous pouvez faire, en vous basant uniquement sur les données d'inventaire du tableau 2.6. Enumérez deux raisons pour effectuer, par la suite, l'étape d'analyse de l'impact sur la base des résultats de l'inventaire.*

Réponse : la comparaison de différents types de gobelets sur la base de l'inventaire montre que le gobelet en plastique a les plus hautes émissions pour la plupart des substances, le gobelet de polycarbonate (PC) a les émissions les plus basses pour la plupart des substances. Ajouter le transport et les pertes augmente les émissions associées avec le gobelet PC de manière significative.



L'étape d'analyse de l'impact est avantageuse pour plusieurs raisons : aucun scénario n'a toutes les émissions de substance systématiquement les plus élevées. Etant donné que les substances peuvent avoir des impacts qui varient de

plusieurs ordres de grandeurs, il n'est pas possible de classer les scénarios sur la seule base de l'inventaire. La phase d'analyse de l'impact résout ce problème puisqu'elle exprime les impacts en unités qui peuvent être comparées entre substances.

*b. Pourquoi le processus de fabrication est-il inclus dans l'analyse des gobelets à usage unique, mais considéré comme négligeable pour le gobelet multi-usage en polycarbonate (PC) ? Quel est le facteur clé affectant l'impact environnemental du gobelet multi-usage en PC ?*

La contribution du processus de fabrication à chaque unité fonctionnelle est égale à l'impact total de la fabrication divisé par le nombre d'utilisation, donc il devient faible pour le gobelet multi-usage. Le facteur clé est le nombre de réutilisations.

*c. Quel est, approximativement, le score d'impact total agrégé (en point) d'un gobelet multi-usage en PC, en faisant l'hypothèse d'une perte de 5%, mais en faisant également l'hypothèse que l'installation de lavage est proche du stade (utilisez la figure 2.8 pour vous aider) ?*

Le score d'impact total agrégé est de  $2.3 \times 10^{-3}$  moins  $1.1 \times 10^{-3}$  pour le transport et le nettoyage, ce qui donne  $1.2 \times 10^{-3}$ .

*d. Quel résultat vous surprend le plus dans cette étude de cas et pourquoi ?*

On peut être surpris par la forte influence du taux relativement bas (5%) de pertes sur les impacts totaux, et par la similarité des impacts totaux d'un gobelet multi-usage PC et d'un gobelet papier à usage unique.

*e. Pour effectuer une analyse environnementale d'une manifestation sportive, énumérez d'autres facteurs à considérer (en les expliquant) en plus de l'utilisation des gobelets et du transport des spectateurs.*

Plusieurs facteurs peuvent être mentionnés : l'énergie et les ressources utilisées pendant une manifestation pour l'éclairage, le chauffage ou l'air conditionné, les impacts associés à la nourriture et aux boissons vendues pendant la manifestation, la construction et l'entretien du stade. Plus indirect est l'impact de la publicité faite lors des manifestations télévisées... et les impacts chez le téléspectateur.

*f. Fournir une unité fonctionnelle qui vous permettrait de comparer les impacts relatifs d'un spectateur buvant dans un gobelet lors de la manifestation et le transport de ce spectateur pour cette même manifestation*

Une unité fonctionnelle pertinente est le « spectateur-manifestation », qui engloberait tous les services et biens nécessaires pour qu'un spectateur puisse voir une manifestation sportive. Ceci inclut le transport du spectateur au lieu de manifestation ainsi que les boissons consommées par le spectateur pendant la manifestation.

## EXERCICES CHAPITRE 3

**Exercice 3.6.1 Sac plastique ou sac en papier?**

Au supermarché, vous hésitez entre utiliser un sac en plastique ou utiliser un sac en papier. Le sac en plastique pèse 40 g et a une capacité de 20 l. Il est utilisé en moyenne deux fois (une réutilisation après la première utilisation). Les caractéristiques du sac en papier sont à mesurer par vos soins. En vous aidant du tableau 3.20 :

- Déterminez une unité fonctionnelle, en faisant l'hypothèse que les sacs portent leur charge maximale.
- Déterminer les flux de référence pour les deux scénarios, en faisant l'hypothèse que les étapes de fabrication et la fin de vie sont négligeables.

Réponse : en supposant que le sac en papier est fabriqué à partir de 30 g de papier, a une capacité de 10 litres, et n'est utilisé qu'une seule fois, il est possible de comparer les scénarios (voir tableau ci-dessous).

Produit	Unité fonctionnelle (service offert)	Flux de référence (ce qui est acheté)	Paramètres environnementaux clés
Sac en plastique	40 litres de marchandise portée	$(40 \text{ l}) \times (1 \text{ utilisation}/20 \text{ l}) \times (1 \text{ sac}/2 \text{ utilisations}) \times (40 \text{ g de plastique}/1 \text{ sac}) =$ <b>40 g de plastique par UF</b>	* capacité * nombres d'utilisations * g de plastique par sac
Sac en papier		$(40 \text{ l}) \times (1 \text{ utilisation}/10 \text{ l}) \times (1 \text{ sac}/1 \text{ utilisation}) \times (30 \text{ g de papier}/1 \text{ sac}) =$ <b>120 g de papier par UF</b>	* capacité * nombres d'utilisations * g de papier par sac

**Exercice 3.6.2 Comparaison serviettes en papier versus sèche-main électrique**

Dans des toilettes publiques, différents types de sèche-main existent. Utiliser l'ACV pour comparer les deux méthodes suivantes de séchage de mains : les serviettes en papier et le séchoir à air chaud

- Décrire la fonction et la fonction secondaire du système.
- Choisir l'unité fonctionnelle qui représente la fonction du système.
- Pour chaque cas, énumérer les flux de référence correspondant à l'unité fonctionnelle sélectionnée.

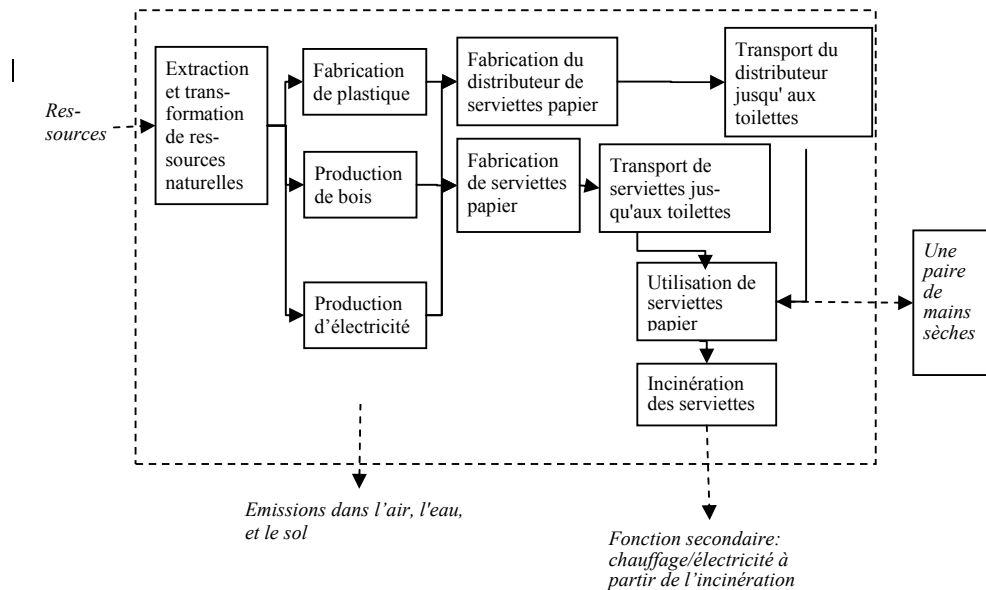
Produits	Fonction principale	Fonctions secondaires
Serviette papier	Se sécher les mains	Ouvrir la porte, se moucher
Sèche main	Se sécher les mains	Chauffage du bâtiment, se chauffer les mains

Produit ou système	Unité fonctionnelle (service offert)	Flux de référence (ce qui est acheté)	Paramètres environnementaux clés
Serviette papier	1 paire de mains sèches	(1.5 serviettes papier/1 utilisation) x (3.5 g de papier/ 1 serviette) = <b>5.25 g papier par FU</b> (1 distributeur/10 ans) x (1 année/365 jours) x (1 jour/50 usages) = <b>1/182'500ème de distributeur</b>	* nombres de serviettes par usage * poids d'une serviette * type de papier
Sèche main électrique		1.8 kW x (30 s/1 utilisation) x (1 heure/3600 s) = <b>0.015 kWh/FU</b> (1 sèche-mains/20 ans) x (1 année/365 jours) x (1 jour/50 utilisations) = <b>1/365'000ème de distributeur</b>	* temps de séchage * source d'électricité

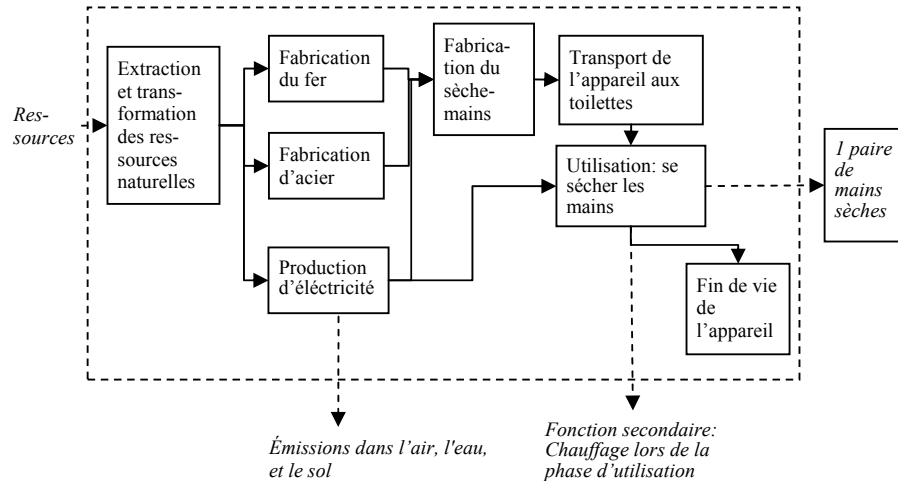
d. Limites du système :

i. Dessiner les limites du système pour les deux scénarios

Réponse : Serviettes en papier (noter qu'il y a du transport entre chaque processus)



## Sèche main électrique



ii. Pour chaque scénario, identifier une fonction secondaire liée à une économie d'énergie et la représenter sur le diagramme des limites du système.

Réponse : dans le scénario Serviettes papier, les déchets papiers peuvent être incinérés pour produire de l'électricité ou de la chaleur. Dans le scénario Sèche-mains, l'air chaud contribue à réduire la consommation de chauffage du bâtiment.

iii. En vous basant sur les masses des différents flux de référence, décidez si le transport d'un distributeur de papier ménage doit-être inclus dans les limites du système; expliquez brièvement votre raisonnement.

Réponse : le scénario des serviettes papier inclut le transport de 3.6 kg de plastique, une seule fois tous les 10 ans (durée de vie d'un distributeur). En comparaison, la quantité de serviettes papier transportée pendant ce temps est de  $3.58 \text{ g/serviette} \times 1.5 \text{ serviettes/utilisation} \times 50 \text{ utilisation/jour} \times 365 \text{ jours/année} \times 10 \text{ ans} = 980 \text{ kg}$ . Le poids du distributeur représente donc approximativement 0.5% du poids des serviettes papier. Il est très vraisemblable que le transport du distributeur représente moins de 1% du total de l'énergie consommée. Donc, le transport du distributeur peut être considéré comme négligeable pour un seuil d'exclusion des limites du système de 1%.

## EXERCICES CHAPITRE 4

**Exercice 4.6.1 Bilan d'énergie et de CO<sub>2</sub> d'une alliance en or**

Supposons qu'une personne vivant en Californie ait commandé une alliance en or pesant 6 grammes. Comme c'est la semaine avant son mariage, il doit la faire venir de Hollande (où elle a été fabriquée), soit un transport de 10 000 km par avion. La fabrication de l'alliance nécessite une consommation d'électricité de 20 kWh par kg d'or et elle est enterrée à la fin du mariage. Supposant une unité fonctionnelle d'une alliance sur la durée d'un mariage, calculez en remplissant le tableau 4.35 les flux de référence (préciser les unités), l'énergie primaire non renouvelable ainsi que les émissions de CO<sub>2</sub> sur tout le cycle de vie.

Réponse : tant la consommation énergétique primaire que les émissions de CO<sub>2</sub> sont entièrement dominées par l'extraction de l'or.

**Tableau 4.35** Flux de référence pour l'exercice de l'alliance en or

Étape du cycle de vie	Processus	Unité	Flux de référence	Energie	CO <sub>2</sub>	Energie par UF	Emissions par UF	Check*
			Unité/UF	(MJ/unité)	(kg/unité)	(MJ/UF)	(kg CO <sub>2</sub> /UF)	(gCO <sub>2</sub> /MJ)
Extraction des matières premières	Or	kg	0.006	269 000	16 500	1614	99	61
Fabrication	Électricité	kWh	0.12	10.71	0.66	1.29	0.079	62
Transport	Par avion	t·km	0.06	16.23	1.06	0.97	0.064	65
Élimination	Décharge	kg	0.006	0.20	0.01	0.0012	6.0E-05	50
<b>Total</b>						<b>1616</b>	<b>99</b>	<b>61</b>

**Exercice 4.6.2 sèche-main: bilan d'énergie et de CO<sub>2</sub>**

Considérez les deux scénarios du sèche-mains du chapitre précédent (question 3.6.2). Utilisez les flux de référence et les limites du système de l'exercice précédent et supposez que l'énergie de fabrication des deux sèche-mains est de moins d'1% de l'énergie consommée et des émissions sur tout le cycle de vie.

**Tableau 4.36** Facteurs d'émission à utiliser pour l'exercice du sèche-main

Processus de la base de données	Unité	Energie (MJ/unité)	CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /unité)
Mix d'électricité	kWh	12.4	0.703
PP (plastique)	kg	97.5	3.11
Fonte	kg	64.3	3.9
Acier	kg	24.6	1.51
Papier	kg	17.2	0.86
Transport par camion	t-km	3.7	0.215
PP en décharge	kg	0.33	0.03
Acier en décharge	kg	0.204	0.007
Papier en décharge	kg	0.447	0.015
Papier incinéré	kg	0.292	0.018

a) En utilisant les informations du tableau 4.36, estimez l'énergie primaire non renouvelable utilisée et les émissions de CO<sub>2</sub> causées par chacun des deux scénarios de séchage des mains (remplir le tableau 4.37).

Calcul de l'énergie primaire non renouvelable et des émissions de CO<sub>2</sub> selon l'approche processus : Serviettes en papier

Phase	Processus (unité)	Quantité par UF (unité par UF)	Energie par unité (MJ/unité)	Emissions par unité (kgCO <sub>2</sub> /unité)	Energie par UF (MJUF)	Emissions par UF (kgCO <sub>2</sub> /UF)	Contrôle (gCO <sub>2</sub> /MJ)
Matériaux	Papier (kg)	5.4e-3	17.2	0.86	9.2e-2	4.6e-3	50
Matériaux	Plastique (kg)	1.6e-5	97.5	3.11	1.6e-3	5.1e-5	32
Transport	Par Camion (t-km)	5.4e-4	5.04	0.311	2.7e-3	1.7e-4	62
Elimination	Papier en décharge (kg)	5.4e-3	0.447	0.015	2.4e-3	8.1e-5	34
Elimination	Plastique en décharge (kg)	1.6e-5	0.33	0.03	5.4e-6	4.9e-7	91
<b>Total</b>					<b>0.099</b>	<b>0.005</b>	<b>50</b>
Incinération	Substitution production électricité (kWh)	5.4e-3	-12.4	-0.703	-6.7e-2	-3.8e-3	57
<b>TOTAL (avec incinération.)</b>					<b>0.032</b>	<b>0.001</b>	<b>35</b>

Calcul de l'énergie primaire non renouvelable et des émissions de CO<sub>2</sub> selon l'approche processus : Sèche-main électrique

Phase	Processus (unité)	Quantité par UF (unité par UF)	Energie par unité (MJ/unité)	Emissions par unité (kgCO <sub>2</sub> / unité)	Energie par UF (MJUF)	Emissions par UF (kgCO <sub>2</sub> /UF)	Contrôle (gCO <sub>2</sub> /MJ)
Matériaux	Fonte (kg)	2.2e-5	64.3	3.9	1.4e-3	8.5e-5	61
Matériaux	Acier (kg)	1.1e-5	24.6	1.51	2.7e-4	1.7e-5	61
Transport	Par camion (t-km)	3.3e-6	3.7	0.215	1.2e-5	7.1e-7	58
Utilisation	Electricité (MJ)	1.5e-2	12.4	0.703	1.9e-1	1.1e-2	57
Elimination	Décharge (kg)	3.3e-5	0.204	0.007	6.7e-6	2.3e-7	34
<b>Total</b>					<b>0.19</b>	<b>0.01</b>	<b>57</b>

b) Pour chaque processus et pour la somme de tous les processus, calculez le rapport entre les émissions de CO<sub>2</sub> et l'énergie primaire non renouvelable. Contrôlez que les valeurs obtenues pour ce rapport soient bien dans les fourchettes attendues (fig. 4.4).

Réponse : le processus ayant l'impact dominant dans le scénario des serviettes papier est le papier de la phase Matériaux, et donc le rapport émission de CO<sub>2</sub> sur utilisation d'énergie est très proche de celui du papier. Le processus dominant dans le scénario du sèche-main électrique est l'utilisation d'électricité. Le ratio émission de CO<sub>2</sub> / utilisation d'énergie est très proche de celui de l'électricité.

En supposant que le papier produise 18 MJ/kg d'énergie lors de son incinération, dont 20% sont récupérées sous forme d'électricité:

c) Calculez combien d'énergie primaire non renouvelable vous évitez par kg de papier brûlé, et utilisez le résultat pour calculer l'énergie évitée par unité fonctionnelle en dernière ligne du tableau.

Réponse : l'énergie récupérée et les émissions de CO<sub>2</sub> évitées lors de l'incinération des serviettes en papier sont égales à l'énergie utilisée et aux émissions de CO<sub>2</sub> qui seraient associées avec l'électricité de production équivalente. Nous devons, en premier, calculer la quantité d'électricité venant de l'incinération d'un kg de papier, la convertir en kWh, et ensuite calculer la consommation d'énergie et les émissions de CO<sub>2</sub> qui seraient associée avec cette production d'électricité..

- $-18 \text{ MJ}_{\text{produit}} \text{ à partir de l'incinération} / \text{kg}_{\text{papier}} \times 0.2 \text{ MJ}_{\text{électrique final}} / \text{MJ}_{\text{produit}} / 3.6 \text{ MJ}_{\text{électrique final}} / \text{kWh}_{\text{électrique final}} \times 12.4 \text{ MJ}_{\text{électrique primaire}} / \text{kWh}_{\text{électrique final}} = -12.4 \text{ MJ}_{\text{primaire}} / \text{kg}_{\text{papier}}$ . L'énergie conservée par unité fonctionnelle est donc  $12.4 \text{ MJ}_{\text{utilisé}} / \text{kg}_{\text{papier}} \times 0.005 \text{ kg}_{\text{papier}} / \text{U.F.} = \mathbf{0.067 \text{ MJ}_{\text{utilisé}} / \text{U.F.}}$

- $-18 \text{ MJ}_{\text{produit}} \text{ à partir de l'incinération} / \text{kg}_{\text{papier}} \times 0.2 \text{ MJ}_{\text{électrique final}} / \text{MJ}_{\text{produit}} / 3.6 \text{ MJ}_{\text{électrique final}} / \text{kWh}_{\text{électrique final}} \times 0.703 \text{ kgCO}_2 / \text{kWh}_{\text{final}} = -0.703 \text{ kgCO}_2 / \text{kg}_{\text{papier}}$ . Les émissions de  $\text{CO}_2$  évitées par unité fonctionnelle est donc  $0.703 \text{ kgCO}_2 / \text{kg}_{\text{papier}} \times 0.005 \text{ kg}_{\text{papier}} / \text{U.F.} = \mathbf{0.0038 \text{ kgCO}_2 / \text{U.F.}}$ .

d) *Quel scénario et le meilleur ? Quel sont les phases du cycle de vie et les composants les plus importants ? Quelle est l'importance du distributeur de serviettes ou de l'appareil sèche-mains électrique par rapport aux autres étapes du cycle de vie ?*

Réponse : même sans l'incinération, le scénario des serviettes papier utilise moins d'énergie que le scénario du sèche-mains. Pour le scénario des serviettes papier, le processus du papier est dominant, et pour le scénario du sèche-mains, l'électricité de la phase d'utilisation est le plus important. Quelque soit le scénario, l'impact de l'appareil n'est pas significatif.

### Exercice 4.6.3

*Considérez à nouveau les scénarios de séchage de mains, mais en utilisant cette fois l'approche ACV « input-output » en lieu et place de l'approche ACV processus.*

- *Serviettes en papier : 0.01 US\$/serviette ; 25 US\$/distributeur plastique*
- *Sèche-mains électrique : 0.1 US\$/kWh ; 350 US\$/sèche-mains*

*Aidez vous également des tableaux 4.38 et 4.39.*

**Tableau 4.38** Facteurs d'émission pour le calcul selon l'approche I/O

Processus de la base de données	Unité	Energie (MJ/unité)	CO <sub>2</sub> (kg <sub>CO2</sub> /unité)
Mix d'électricité	USD	92.6	9.86
PP (plastique)	USD	23.2	1
Fonte ou acier	USD	44.1	3.04
Papier	USD	14.7	0.949

Réponse : l'énergie totale utilisée et les émissions de  $\text{CO}_2$  sont un produit de l'argent dépensé pour chaque processus, la quantité de processus par UF, et les émissions par dollar dépensé.

Calcul de l'énergie primaire non renouvelable et des émissions de CO<sub>2</sub> selon l'approche I/O – scénario Serviettes en papier

Phase	Processus (unité)	Quantité par UF (unité par UF)	Energie par unité (MJ/unité)	Energie par UF (MJ/UF)	Emissions par unité (kgCO <sub>2</sub> / unité)	Emissions par UF (kgCO <sub>2</sub> /UF)	Contrôle (gCO <sub>2</sub> /MJ)
Matériaux	Papier (USD)	0.00096	44.1	3.04	0.042	0.003	69
Matériaux	Plastique (USD)	0.00150	92.6	9.86	0.139	0.015	106
<b>Total</b>					<b>0.181</b>	<b>0.018</b>	<b>98</b>

Calcul de l'énergie primaire non renouvelable et des émissions de CO<sub>2</sub> selon l'approche I/O – scénario Sèche-main électrique

Phase	Processus (unité)	Quantité par UF (unité par UF)	Energie par unité (MJ/unité)	Energie par UF (MJ/UF)	Emissions par unité (kgCO <sub>2</sub> / unité)	Emissions par UF (kgCO <sub>2</sub> /UF)	Contrôle (gCO <sub>2</sub> /MJ)
Matériaux	Fonte ou acier (USD)	0.01500	14.7	0.949	0.221	0.014	65
Utilisation	Electricité (USD)	0.00014	23.2	1	0.003	0.00014	43
<b>Total</b>					<b>0.224</b>	<b>0.014</b>	<b>64</b>

## EXERCICES CHAPITRE 5

### Exercice 5.7.1 Calcul d'impact sur le changement climatique

En utilisant les potentiels d'effet de serre des principaux gaz à effet de serre (tab. 5.29), calculez l'impact total sur le changement climatique causé par les émissions suivantes

Réponse: l'impact total sur le changement climatique causé par les émissions est fourni dans le tableau suivant :

## Calcul de l'impact sur le changement climatique

Emissions	Unité	GWP	Unité	Equivalent	Unité
5	kgCO <sub>2</sub> / UF		1 kgCO <sub>2</sub> / kgCO <sub>2</sub>		5 kgCO <sub>2</sub> -eq/ UF
1	kgN <sub>2</sub> O/ UF		298 kgN <sub>2</sub> O/ kgCO <sub>2</sub>		298 kgCO <sub>2</sub> -eq/ UF
7	kgCH <sub>4</sub> / UF		25 kgCH <sub>4</sub> / kgCO <sub>2</sub>		175 kgCO <sub>2</sub> -eq/ UF
			<b>Total</b>		<b>478 kgCO<sub>2</sub>-eq/ UF</b>

**Exercice 5.7.2 Analyse de l'impact du séchage de mains**

Utilisez les données d'inventaire ci-dessous (tab. 5.30) comparant les deux sèche-mains (décrites dans les exercices 3.6.2 et 4.6.2) pour estimer les impacts des deux scénarios sur les effets respiratoires des polluants inorganique et sur les changements climatiques.

Réponse : l'impact par UF au niveau intermédiaire est le produit des émissions par UF et de l'impact intermédiaire par émission pour chaque substance. Les impacts intermédiaires de chaque émission peuvent être agrégés en un impact total au niveau intermédiaire, pouvant être converti à un dommage final, qui peut ensuite être normalisé.

Sèche-main électrique – effets respiratoires dus à des inorganiques				Serviettes en papier – effets respiratoires dus à des inorganiques			
	Emission par UF	Impact intermédiaire par unité	Impact intermédiaire par UF		Emission par UF	Impact intermédiaire par unité	Impact intermédiaire par UF
Effets respiratoires dus à des inorganiques	(kg/UF)	(kgeqPM2.5/ kg)	(kgeqPM2.5/UF)	Effets respiratoires dus à des inorganiques	(kg/UF)	[kgeqPM2.5/ kg]	[kgeqPM2.5/UF]
Substance #1: PM10	1.5e-6	0.5	7.5e-7	Substance #1: PM10	2.4e-8	0.5	1.2e-8
Substance #2: PM2.5	2.0e-8	1	2.0e-8	Substance #2: PM2.5	1.3e-7	1	1.3e-7
Substance #3: NOx	1.4e-5	0.13	1.8e-6	Substance #3: NOx	2.2e-5	0.13	2.9e-6
Substance #4: SOx	4.8e-5	0.07	3.4e-6	Substance #4: SOx	1.9e-5	0.07	1.3e-6
Impact intermédiaire total (kgeqPM2.5/UF):			<b>6.0e-6</b>	Impact intermédiaire total (kgeqPM2.5/UF):			<b>4.3e-6</b>
Dommage total (DALY/UF):			<b>4.2e-9</b>	Dommage total (DALY/UF):			<b>3.0e-9</b>
Dommage normalisé (pt/UF):			<b>5.9e-7</b>	Dommage normalisé (pt/UF):			<b>4.3e-7</b>
Sèche-main électrique – changement climatique				Serviettes en papier – changement climatique			
	Emission par UF	Impact intermédiaire par unité	Impact intermédiaire par UF		Emission par UF	Impact intermédiaire par unité	Impact intermédiaire par UF
Changement climatique	(kg/UF)	(kgeq-CO2/ kg)	(kgeq-CO2/UF)	Changement climatique	(kg/UF)	[kgeq-CO2/ kg]	[kgeq-CO2/UF]
Substance #1: CO2	1.1E-2	1	1.1E-2	Substance #1: CO2	4.9e-3	1	4.9e-3
Substance #2: CH4	2.3E-5	7	1.6E-4	Substance #2: CH4	1.2e-5	7	8.4e-5
Substance #3: N2O	7.2E-8	156	1.1E-5	Substance #3: N2O	1.5e-7	156	2.3e-5
Impact intermédiaire total (kgeqCO2/FU):			<b>1.1E-2</b>	Impact intermédiaire total (kgeqCO2/FU):			<b>5.0E-3</b>
Dommage total (DALY/UF):			<b>7.8E-6</b>	Dommage total (DALY/UF):			<b>3.5E-6</b>
Dommage normalisé (pt/UF):			<b>1.1E-3</b>	Dommage normalisé (pt/UF):			<b>4.9E-4</b>

## EXERCICES CHAPITRE 6

**Exercice 6.8.1 Comparaison des scénarios de séchage de main à l'aide d'un logiciel**

Vous allez maintenant utiliser un logiciel d'analyse du cycle de vie (ex. SimaPro®) pour calculez les résultats qui peuvent être comparés à vos calculs précédents des exercices 4.6.2 et 5.7.2.

- Entrez dans le software l'information des deux scénarios et calculez l'inventaire des émissions et des impacts.
- En utilisant une méthode d'analyse d'impact (par exemple Impact 2002+), comparez l'utilisation d'énergie, les émissions de CO<sub>2</sub> ainsi que les autres flux d'inventaires des deux scénarios.

Répondez aux questions suivantes :

- a. Comparez les résultats du logiciel à vos calculs de l'exercice 4.6.2 pour l'utilisation d'énergie et les émissions de CO<sub>2</sub>, et expliquez les différences.

Réponse : Il n'y a pas de différence dans ce cas, car les données de base du calcul à la main et du calcul avec SimaPro® sont les mêmes.

Sèche-main électrique

Phase	Calcul à la maison		Calcul avec le logiciel		Différences		
	Energie par UF	Emission par UF	Energie par UF	Emission par UF	Energie par UF	Emission par UF	Commentaire
	(MJ/UF)	(kgCO <sub>2</sub> /UF)	(MJ/UF)	(kgCO <sub>2</sub> /UF)	(MJ/UF)	(kgCO <sub>2</sub> /UF)	
<b>Matériaux</b>							
Fonte (kg)	1.4e-3	8.5e-5	1.4e-3	8.5e-5	0	0	
Acier (kg)	2.7e-4	1.7e-5	2.7e-4	1.7e-5	0	0	
<b>Transport</b>							
Transport (t-km)	1.2e-5	7.1e-7	1.2e-5	7.1e-7	0	0	
<b>Utilisation</b>							
Electricité (MJ)	1.9e-1	1.1e-2	1.9e-1	1.1e-2	0	0	
<b>Élimination</b>							
Décharge	6.7e-6	2.3e-7	6.7e-6	2.3e-7	0	0	
<b>Total</b>	<b>1.9e-1</b>	<b>1.1e-2</b>	1.9e-1	1.1e-2	<b>0</b>	<b>0</b>	

<u>Serviettes en papier</u>							
Phase	Calcul à la main		Calcul avec le logiciel		Différences		Commentaire
	Energie par UF	Emission par UF	Energie par UF	Emission par UF	Energie par UF	Emission par UF	
	(MJ/UF)	(kgCO <sub>2</sub> /UF)	(MJ/UF)	(kgCO <sub>2</sub> /UF)	(MJ/UF)	(kgCO <sub>2</sub> /UF)	
<b>Matériaux</b>							
Papier (kg)	9.2e-2	4.6e-3	9.2e-2	4.6e-3	0	0	
Plastique (kg)	1.6e-3	5.1e-5	1.6e-3	5.1e-5	0	0	
<b>Transport</b>							
Transport (t·km)	2.7e-3	1.7e-4	2.7e-3	1.7e-4	0	0	
<b>Elimination (kg)</b>							
Papier (kg)	2.4e-3	8.1e-5	2.4e-3	8.1e-5	0	0	
Plastique (kg)	5.4e-6	4.9e-7					
<b>Total</b>	<b>9.9e-2</b>	<b>4.9e-3</b>	<b>9.9e-2</b>	<b>4.9e-3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
<b>Incinération</b>							
Substitution Production Electricité (incinérat.)	-6.7e-2	-3.8e-3	-6.7e-2	-3.8e-3	0	0	
<b>Total (incinérat.)</b>	<b>3.2-02</b>	<b>1.1e-3</b>	<b>3.2e-2</b>	<b>1.1e-3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	

*b. En vous basant sur les résultats du logiciel, quel est le meilleur scénario d'un point de vue énergétique et du point de vue du réchauffement climatique.*

Réponse : même sans incinération, le scénario des serviettes en papier est meilleur que celui du sèche-mains électrique, du point de vue énergétique et du réchauffement climatique.

*c. Utilisez le logiciel pour identifier quel scénario engendre le plus d'émissions de plomb.*

Réponse : les résultats du scénario de serviettes papier produit les plus hautes émissions de plomb. L'utilisation du logiciel montre que ces émissions sont imputables au transport de serviettes papier

**Exercice 6.8.2 Vous avez été engagé par Renault...**

...pour travailler en collaboration avec le département matériaux de l'usine afin de développer de nouvelles pièces. Vous allez évaluer différents types de bloc avant automobile. Un bloc avant est la pièce qui porte les éléments comme les phares de signalisation ou la grille de radiateur. Utilisez les informations fournies sur les blocs avant d'automobile présenté dans le cadre du cours (chapitres 4 sur l'inventaire et chapitre 5 sur l'évaluation de l'impact) pour faire des recommandations pour de futures éco-conceptions.

En premier lieu, déterminez quelles substances contribuent le plus aux impacts sur la santé humaine dans le scénario de bloc avant en acier.

a) Utilisez Fig. 5.9 pour déterminez les deux catégories qui contribuent le plus aux dommages sur la santé humaine. Estimez la contribution de chacune de ces deux catégories à ces dommages.

Réponse : Des matériaux inorganiques respiratoires sont responsables d'environ 75% des dommages sur la santé humaine, les impacts cancérigènes environ 20%.

b) Utilisez le tableau 6.33 pour calculer les quantités suivantes.

- i. L'impact intermédiaire de chaque substance
- ii. L'impact intermédiaire total dans chaque catégorie d'impact
- iii. Le dommage total
- iv. Le dommage normalisé

Additionner les substances qui ont des impacts cancérigènes et presque pas d'impacts dans certaines catégories

**Tableau 6.33** Calcul d'impacts et de dommages pour différents matériaux

Polluant	Emission (kg)	Catégories d'impact intermédiaire	
		Cancérigène FI (kg <sub>eqC2H3Cl</sub> / kg)	Respiratoire inorganiques FI (kg <sub>eqPM2.5</sub> /kg)
NO <sub>x</sub>	0.22	0	0.127
PM <sub>2.5</sub>	0.038	0	1
SO <sub>2</sub>	0.44	0	0.078
Hydrocarbones aromatiques air	0.0041	3537	0
Dioxin – 2378 TCDD air	77.4E-12	1'720'000'000	0
	Facteur de normalisation (DALY/pt)	Facteur de dommage par catégorie d'impact intermédiaire (DALY/ kg <sub>eqC2H3Cl</sub> ) (DALY/ kg <sub>eqPM2.5</sub> )	
Santé humaine	0.0071	2.8E-06	7.0E-04

Réponse : les impacts intermédiaires, les dommages et les dommages normalisés sont calculés à partir du tableau ci-dessous.

Polluant	Catégories d'impact intermédiaire	
	Cancérogène FI (kg <sub>eq</sub> C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl/FU)	Respiratoire inorganiques FI (kg <sub>eq</sub> PM <sub>2.5</sub> /FU)
NO <sub>x</sub>	0	0.028
PM <sub>2.5</sub>	0	0.038
SO <sub>2</sub>	0	0.034
Hydrocarbures aromatiques air	14.5	0
Dioxine – 2378 TCDD air	0.13	0
<b>Impact intermédiaire total</b>	<b>14.6</b>	<b>0.100</b>
<b>Dommage (DALY/UF)</b>	<b>4.1E-05</b>	<b>7.0E-05</b>
<b>Dommage total (DALY/UF)</b>		<b>1.1E-04</b>
<b>Dommage normalisé (pt/UF)</b>		<b>0.016</b>

- i. Les impacts intermédiaires pour chaque substance sont répertoriés dans les premiers rangs.
- ii. Les impacts intermédiaires totaux pour chaque catégorie d'impact sont :
  - Impact cancérogène : 14.6 kg<sub>eq</sub>C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>Cl/UF ;
  - Impact respiratoire des substances inorganiques : 0.100 kg<sub>eq</sub>PM<sub>2.5</sub>/UF.
- iii. Les dommages totaux sont de 1.1E-4 DALY/UF.
- iv. Les dommages normalisés sont de 0.016 pt/UF.

c) Supposons que l'incertitude sur les impacts cancérogènes soit d'un facteur 100 (valeur 100 fois plus grande ou 100 fois plus petite) et que celle sur les impacts respiratoires inorganiques soit d'un facteur 10. Quelles substances devraient être traitées comme ayant un dommage significatif et approximativement équivalent (aux incertitudes près), et lesquelles peuvent-être considéré comme ayant une contribution négligeable.

Réponse : nous pouvons négliger n'importe quelle substance cancérogène qui contribue à moins de 1/1000<sup>ème</sup> des 7E-5 DALY/UF (correspondant aux dégâts dus aux inorganiques respiratoires). En réalité, toute substance qui contribue à moins de 1% n'a probablement pas d'impact significatif. La dioxine cause des dégâts qui contribuent pour 0.5% de l'impact des inorganiques respiratoires, signifiant qu'il n'est probablement pas un facteur dominant. Toutes les autres substances sont potentiellement importantes.

En considérant l'empreinte CO<sub>2</sub> du bloc avant en acier, déterminez les priorités d'écodesign.

d) Dans le chapitre 4, les émissions de CO<sub>2</sub> du scénario d'acier sont calculées comme suit : 1,28 kgCO<sub>2</sub>/kg acier · 10,0 kg acier/UF + 0,45 kgCO<sub>2</sub>/kWh électricité · 19,7 kWh électricité + 3,67 kgCO<sub>2</sub>/kg fioul · 2,3 kg fioul + 2,80 kgCO<sub>2</sub>/l essence · 80,0 l essence + 0,01 kgCO<sub>2</sub>/kg acier en décharge · 10,0 kg acier en décharge = 253,9 kg CO<sub>2</sub>/UF.

Utilisez les calculs ci-dessus pour définir parmi les actions d'écodesign suivantes, lesquelles sont à réaliser en priorité: recyclage, prolongement de la durée de vie, augmentation de l'efficacité du moteur, réduction du poids du composant.

Réponse : les émissions de CO<sub>2</sub> attribuées à chaque processus sont données ci-dessous:

- Acier : 12.8 kgCO<sub>2</sub>
- Electricité : 8.9 kgCO<sub>2</sub>
- Mazout : 8.4 kgCO<sub>2</sub>
- Gaz : 224 kgCO<sub>2</sub>
- Elimination de l'acier : 0.1 kgCO<sub>2</sub>

Le processus dominant est donc l'utilisation de gaz, suivi par l'acier, et l'électricité ainsi que le mazout. Ceci signifie que réduire le poids de chaque composant et augmenter l'efficacité du moteur est la priorité pour réduire la consommation d'essence. Deuxièmement, recycler l'acier et augmenter la durée de vie d'une voiture va minimiser l'utilisation d'acier.

e) En utilisant la fig. 4.9, discutez comment ces priorités peuvent changer en fonction du nombre de kilomètres qu'il parcourra sur toute sa durée de vie.

Réponse : A partir de la figure 4.9, nous pouvons voir que l'utilisation d'énergie sur le cycle de vie, en particulier pour l'acier, dépend de la distance effectuée. Pour une petite distance, la production d'acier joue un plus grand rôle dans l'utilisation d'énergie sur le cycle de vie, rendant le recyclage et l'augmentation de la durée de vie du bloc avant est la plus grande priorité. Pour une grande distance, réduire le poids des composants devient prioritaire.

### **Exercice 6.8.3 Vous comparez deux blocs avant d'automobile – l'un en aluminium, l'autre en acier.**

a. La figure 6.34 présente la distribution de probabilité pour la consommation d'énergie primaire totale du bloc en aluminium. La moyenne de consommation d'énergie primaire est de 2780 MJ/UF, et le carré de l'écart géométrique standard (GSD<sup>2</sup>) de cette distribution est de 1,6. Quelles sont les limites supérieures et inférieures de l'intervalle de confiance à 95%?

Réponse : l'intervalle de confiance à 95% se situe entre 1740 à 4450 MJ/UF.

b. La figure 6.35 présente la distribution de probabilité pour la consommation d'énergie primaire totale du bloc en acier. La moyenne de consommation d'énergie primaire est de 4400 MJ/UF, et les limites supérieures et inférieures de l'intervalle de confiance à 95% sont 5060 et 3830 MJ. Quel est le meilleur scénario? - l'acier ou l'aluminium (Remarquez la différence d'échelle de l'axe des abscisses) ?

Réponse : le bloc avant automobile en aluminium a une moyenne légèrement plus faible que la limite supérieure du bloc avant en aluminium. Il est donc très pro-

nable que le bloc avant automobile en aluminium soit meilleur que le bloc en acier (il nécessite moins d'énergie).

*c. La figure ci-dessous montre la distribution de probabilité sur la différence entre les consommations d'énergie primaire totale des deux scénarios (acier moins aluminium).*

*La différence moyenne d'énergie entre les deux scénarios est de 1 620 MJ: l'acier utilise 1 620 MJ de moins que l'aluminium. Etant donné l'importance de l'incertitude sur l'énergie consommée par chacun des deux blocs avant, on pourrait s'attendre à ce que la distribution sur la différence d'énergie consommée entre les deux blocs soit encore plus large. Pourquoi, la distribution sur la différence est-elle plus étroite que la distribution sur chaque scénario individuel ? En utilisant les informations données dans la figure 6.36, décrivez en deux phrases concises comment vous pouvez estimer la probabilité que le scénario acier soit meilleur que le scénario aluminium.*

Réponse: la distribution sur la différence de consommation d'énergie est plus étroite parce que les deux scénarios partagent beaucoup de paramètres similaires. Ainsi même si les paramètres varient, les différences restent relativement constantes.

En sommant le nombre de tirages au dessus de zéro et en divisant par le nombre total de tirages, vous trouverez la probabilité que le scénario d'acier demande plus d'énergie que le scénario d'aluminium.

#### **Exercice 6.8.4 Analyse Monte Carlo, extension des séries de Taylor**

*A la place d'utiliser l'analyse de Monte Carlo, vous pouvez utiliser l'approche analytique d'extension des séries de Taylor (équations 6.2) pour calculer la distribution d'incertitude à la main.*

*Le composant en acier requiert 15.4 kg d'acier/UF pour sa fabrication, avec une émission de 2.39 kg CO<sub>2</sub>/kg d'acier. Assumez un GSD<sup>2</sup> de 1.1 pour ces deux facteurs.*

*La consommation d'essence due au poids de la pièce est égale à 0.00004 l/kg-km sur 200000 km, ce résulte en une consommation d'essence de 80 litre/UF (GSD<sup>2</sup> de 1.1), avec un facteur d'émission de 2.8 kgCO<sub>2</sub>/l d'essence dont l'incertitude est supposée supérieure, avec un GSD<sup>2</sup> de 1.77.*

*a. En supposant que la fabrication d'acier et la consommation d'essence sont les seuls contributeurs aux émissions de CO<sub>2</sub> sur tout le cycle de vie du bloc avant, calculez les facteurs de sensibilités. A cet effet, calculez les contributions relatives de la fabrication et de consommation d'essence pour les émissions totales de CO<sub>2</sub> (égales à la variation relative de l'émission par variation d'un pourcent des intrants).*

Réponse: les GSD2 et leurs émissions sont données dans les tableaux suivants :

	Flux de référence	Unité	GSD2 de flux de réf	Facteur d'émission	Unité	GSD2 de facteur d'émission	Emission	Unité
Production d'acier	15.4	Kg <sub>acier</sub> /UF	1.1	2.39	kgCO <sub>2</sub> / kg <sub>acier</sub>	1.1	37	kgCO <sub>2</sub> eq /UF
Consommation d'essence	80	L/UF	1.77	2.8	kgCO <sub>2</sub> / L <sub>essence</sub>	1.1	224	kgCO <sub>2</sub> eq /UF
<b>Total</b>							<b>261</b>	<b>kgCO<sub>2</sub> eq /UF</b>

Les sensibilités sont simplement les rapports entre émissions pour chaque processus et le total d'émissions.

	Sensibilité au flux de réf	Sensibilité au facteur d'émission
Production d'acier	0.14	0.14
Consommation d'essence	0.86	0.86

b. Utilisez les sensibilités calculées en partie (a) et les GSD<sup>2</sup> donnés ci-dessus pour calculer le GSD<sup>2</sup> sur l'émission totale de CO<sub>2</sub>, et comparez ce résultat aux résultats de l'exercice 6.8.3(a).

Nous utilisons ensuite la formule d'expansion de la série Taylor pour calculer le GSD<sup>2</sup> de l'output.

	S <sup>2</sup> (lnGSD) <sup>2</sup> flux de réf	S <sup>2</sup> (lnGSD) <sup>2</sup> facteur d'émission	Total d'acier	Total GSD2 de l'acier	Contribution du flux de réf.	Contribution du facteur d'émission
Production d'acier	4.5e-5	4.5e-5	9.0e-5		0.00	0.00
Consommation d'essence	6.0e-2	1.7e-3	6.2e-2		0.97	0.03
Total			0.062	1.64		

Le GSD<sup>2</sup> total calculé est de 1.64, ce qui est équivalent à la valeur de 1.6 trouvée à partir de la méthode Monte Carlo dans l'exercice 6.8.3.

*Sélectionnez une étude de cas d'ACV dans la littérature et analysez là d'un point de vue critique, en utilisant la fig. 7.1 ainsi que les points clés mentionnés dans ce chapitre. Identifiez les qualités de l'étude (ce qui a été bien fait) ainsi que ses défauts (éléments manquant ou biaisés dans la définition des objectifs et du système, le calcul de l'inventaire, l'analyse d'impact et l'interprétation).*

*Faites une recherche par mot clé étude de cas ACV (ou LCA case study en anglais) ou utilisez l'article ci-dessous.*

- Humbert S, Rossi V, Margni M, Jolliet O and Loerincik Y, 2009. *Life cycle assessment of two baby food packaging alternatives: glass jars vs. plastic pots. Int J LCA, 14, 95–106 (<http://dx.doi.org/10.1007/s11367-008-0052-6>).*

- a) La fonction principale diffère-t-elle entre scénarios ? Le cas échéant, la comparaison entre les scénarios n'a pas de sens.

Réponse : non, la fonction principale ne diffère pas entre les scénarios : il s'agit de mettre à disposition un contenant spécifique pour de la nourriture pour bébé en France, Espagne, et Allemagne en 2007. La taille du paquet de 200 g est sélectionnée comme base pour cette étude.

- b) Les fonctions secondaires diffèrent-elles entre scénarios ?

Il n'y a pas de fonctions secondaires immédiates, mais elles sont discutées indirectement par l'extension du système pour tenir compte les différents scénarios de fin de vie.

L'emballage en plastique peut être incinéré pour produire de la chaleur et de l'électricité. Ceci peut être utilisé pour remplacer du mazout léger et peut être recyclé pour remplacer du plastique vierge.

L'emballage en verre peut être recyclé, ce qui réduit le besoin en verre primaire.

- c) L'unité fonctionnelle retenue représente-t-elle bien le service offert ? (Et non pas un impact ni une consommation).

Oui l'unité fonctionnelle est l'emballage et la livraison d'un repas pour bébé (200 g d'emballage pour donner un véhicule de nourriture pour bébé en France, Espagne, et Allemagne).

- d) Comment la quantité de matière, la densité ou la durée d'utilisation sont-elles prises en compte pour déterminer les flux de références ?

Le verre est clairement plus lourd que le plastique, et ceci est pris en compte dans les flux de référence des matériaux et du transport.

Dans chaque scénario, l'emballage est utilisé pour un repas uniquement, donc la durée de vie n'est pas importante, mais les alternatives de fin de vie diffèrent pour le verre et le plastique, et ces options sont prises en compte ici.

- e) Comment tenir compte des variations de la fonction secondaire entre scénarios? Sous forme d'autres performances que la performance environnementale ?

Les fonctions secondaires effectives dues au traitement de fin de vie sont prises en compte à travers l'extension du système.

Une autre fonction secondaire potentielle est de préserver la nourriture. Le type d'emballage qui fonctionne le mieux peut causer une réduction de la quantité de nourriture jetée. Ceci peut être prise en compte dans les limites de système. Alternativement, la performance dans cette fonction peut être mesurée par les propriétés protectrices de l'emballage.

Une autre fonction secondaire potentielle de l'emballage est de fournir une manière de labelliser et de faire de la publicité, ce qui peut être plus facile pour un certain type d'emballage.

f) Les limites du système recouvrent-elles la même réalité dans tous les scénarios ?

Réponse: oui, les limites de système couvrent la même réalité dans les deux scénarios, allant de l'extraction de matériaux à plusieurs options de fin de vie, incluant la production, l'utilisation, le transport, et les processus d'élimination.

Les deux incluent l'emballage des containers d'emballage (ex. le carton utilisé pour le transport).

Les deux scénarios négligent la nourriture à l'intérieur de l'emballage parce que elle est la même dans les deux scénarios.

g) Quel est le pourcentage seuil pour exclure des processus d'importance mineure ?

Réponse : le seuil pour inclure les processus est 1%.

h) Certaines étapes de production sont-elles communes à tous les scénarios ?

Réponse : les deux scénarios ont des étapes en commun, mais les processus les plus spécifiques (autres que la nourriture elle-même) diffèrent à cause de la présence du plastique dans un scénario et du verre dans l'autre.

Réponse : ils ont les deux les processus de collection et de transport.

i) Les quantités de produit fabriquées ou les flux de références des étapes communes varient-ils entre scénarios ? (Il n'est alors pas possible d'exclure les étapes communes).

Réponse : les processus de collecte/transport varient suivant les scénarios parce que les deux types d'emballage ont des masses par unité fonctionnelle différentes, et différentes distances sont parcourues d'une part depuis l'usine de verre, d'autre part depuis l'usine de plastique.

j) L'étape de production ou le composant étudié affecte-t-il indirectement la quantité de produit utilisée ou perdue ? (Par exemple, le type d'emballage peut affecter la perte d'un produit).

Réponse : les auteurs ne discutent pas les différences au niveau des pertes de nourriture causées par les différents types d'emballages. Puisque les deux types sont constitués de matériaux solides non-pliables, il ne devrait pas y avoir de grandes différences.

Basé sur la photo du pot en verre et du contenant en plastic, le contenant en plastic est plus large et plus petit avec une large ouverture, donc il est possible qu'il y ait moins de pertes de nourriture.

k) Quel produit est substitué de façon certaine ?

Aucune des substitutions n'est certaine, vu que les substitutions sont supposées sur la base des normes nationales pour le matériau considéré.

l) Quel produit de substitution est le plus défavorable pour l'environnement ?

Réponse : en général (avec pour exception le marché espagnol), le recyclage de verre cause moins d'émission de CO<sub>2</sub> (Tableau 4). Ceci s'explique par le fait que la plupart de l'énergie utilisée associée avec les produits en verre est due au façonnage du verre plutôt qu'à l'extraction des matériaux bruts. Ainsi le verre recyclé n'apporte pas un avantage important.

En principe, recycler le plastique et éviter une production de PP vierge devraient être plus favorables à l'environnement. Ceci s'explique parce que la moitié du contenu énergétique d'un produit en plastique est dans la production de granulés plastiques.

L'incinération du plastique ne couvre que 30% de l'énergie des matières premières dans le plastique, rendant probablement cette option de substitution la plus mauvaise.

La meilleure et la pire des options peuvent être déterminées quantitativement en calculant, par exemple, l'utilisation d'énergie primaire évitée par l'élimination d'un kilogramme de PP par chacune des trois meilleures manières.

m) Dans le cas d'une allocation physique, existe-t-il une relation de cause à effet directe entre le paramètre physique (masse, volume) et les émissions et les quantités de matières premières utilisées ?

Réponse : il n'y a pas d'allocation physique discutée dans cette étude, donc la question n'est pas forcément pertinente.

Vu que le transport est exprimé par tonne-km, une allocation par masse est effectuée implicitement, ce qui est légitime dans ce cas parce que le besoin en transport est basé sur le poids.

n) Quelle est la qualité des données utilisées dans l'inventaire? Dans quelle mesure les données sont-elles mesurées in situ? Les processus unitaires correspondent-ils à la technologie utilisée? Certaines données sont-elles anciennes ou proviennent d'autres régions géographiques? Comment cela affecte-t-il les résultats?

Réponse : les données et les informations primaires sont obtenues de Nestlé et de ses fournisseurs, mais les données secondaires sont toujours nécessaires et sont obtenues de la littérature et de la base de donnéesecoinvent.

Les données primaires incluent l'électricité, l'utilisation de vapeur et d'eau dans les usines Allemandes, Espagnoles, et Françaises, ainsi que les distances existantes et prévues.

Le transport des fournitures et la distribution, qui est une contribution importante dans l'évaluation finale de l'impact, est basée sur la donnée moyenne pour un camion de 40 tonnes de la base de donnéesecoinvent. Ceci peut avoir un impact sur les résultats finaux puisque le transport est un des contributeurs dominant.

La fin de vie matérielle est estimée à partir des pratiques nationales.

Le rapport complet de cette étude peut être téléchargé du site de Quantis (<http://www.quantis-intl.com/>), où une analyse approfondie de l'inventaire est répertoriée dans le Tableau 6.

- o) Les conclusions principales varient-elles entre méthodes d'analyse de l'impact ?

Réponse : les conclusions principales sont similaires dans CML 2001 et IMPACT 2002+, avec des différences principalement dans les catégories d'impact écotoxicité aquatique et eutrophication, qui ne sont pas considérées comme significatives.

- p) Certaines méthodes sont-elles mieux adaptées ? Pourquoi ?

Réponse : les auteurs utilisent principalement la méthode IMPACT 2002+. Ils ne donnent pas de justifications pour ce choix, mais ce choix est probablement dû au fait qu'il y a 15 catégories intermédiaires et que les auteurs sont familiers avec cette méthode.

- q) Chaque résultat a-t-il été interprété (inventaire brut, caractérisation, évaluation de l'impact) ?

Réponse : oui, l'interprétation a été réalisée à chaque étape, la majorité de l'interprétation survenant pour l'analyse de l'impact et pour l'analyse d'incertitude/sensitivité.

L'interprétation de l'inventaire discute seulement l'utilisation de l'eau. Ils auraient pu interpréter l'inventaire plus en détail, mais l'analyse de l'impact discute les flux de l'inventaire.

- r) Quelles étapes du cycle de vie et quels polluants contribuent de façon dominante à l'impact environnemental ?

Réponse : basé sur la figure 8, les phases du cycle de vie qui ont les scores de réchauffement climatiques les plus importants sont la production des matériaux nécessaires à l'emballage, la distribution de l'emballage et de la nourriture, et l'utilisation d'électricité et d'eau sur place.

Les polluants qui contribuent les plus ne sont pas abordés ici, et c'est quelque chose qui devrait être ajouté à l'étude.

- s) Les différences entre scénarios sont-elles significatives ? Les critères de significativité sont-elles explicites ? Quel est le niveau de certitude des conclusions majeures ?

Réponse : l'emballage de pots en plastique a entre 15% et 31% moins d'impacts que le système de pots en verre, variant selon la catégorie de dommages et selon les scénarios spécifiques.

Les auteurs considèrent que c'est une différence significative.

Cette affirmation est soutenue par une analyse d'incertitude de Monte Carlo de l'inventaire, selon laquelle il y a 80%-100% de certitude que l'emballage plastique est meilleur pour toutes les catégories, sauf le rayonnement ionisant.

Cette affirmation est confortée par des études de sensibilité sur plusieurs paramètres, montrant qu'aucun ne change les résultats.

Bien sûr, il reste quelques incertitudes associées aux flux de références et à la modélisation de l'analyse de l'impact, qui ne sont pas prises en compte ici, mais elles sont difficiles à prendre en compte dans n'importe quelle étude.

t) Quels sont les paramètres « clés » d'un point de vue environnemental ?  
(Etudes de sensibilité).

Réponse : basé sur leurs résultats et études de sensibilité, les paramètres clés sont la production et l'emballage de fin de vie, la masse de l'emballage, et le processus de conditionnement sur place.

Les auteurs observent également que la logistique est importante, en particulier la distribution d'emballages.