

Analyse du cycle de vie d'une bouteille PET

Etude pour Elipso, Valorplast et Eco-Emballages

Juin 2010

Table des matières

I.	GLOSSAIRE	12
II.	PRESENTATION DE L'ETUDE	13
II.1	Contexte et objectifs	13
II.2	Définition de l'unité fonctionnelle	14
II.3	Produits étudiés	14
II.3.1.	TYPES DE BOUTEILLES EN PET	14
II.3.2.	DÉBOUCHÉS DU PET RECYCLÉ	15
II.3.3.	CONSÉQUENCES DES BOUTEILLES ADDITIVÉES DANS LES FILIÈRES DE RECYCLAGE	16
II.4	Validité géographique et temporelle	17
II.5	Public cible	17
II.6	Revue critique	17
III.	FRONTIERE DU SYSTEME	18
III.1	Critères de coupure	18
III.2	Procédés inclus	18
III.3	Procédés exclus	19
IV.	METHODOLOGIE	20
IV.1	Méthodologie générale	20
IV.1.1.	ANALYSE DU CYCLE DE VIE	20
IV.1.2.	ARBRE DE PROCEDES	21
IV.1.3.	APPROCHE RANGE LCA	23
IV.1.3.1	Concept	23
IV.1.3.2	Recherche de données optimisées	23
IV.1.3.3	Fiabilité des résultats et finesse de l'analyse	23

IV.2	Approche « conséquentielle »	24
IV.2.1.	FONDEMENT DE L'APPROCHE CONSÉQUENTIELLE	24
IV.2.2.	APPLICATIONS DANS LE CADRE DE CETTE ÉTUDE	25
IV.2.2.1	Allocation des bénéfices du recyclage	25
IV.3	Modélisation de la production d'électricité	27
IV.3.1.	MIX ATTRIBUTIONNEL VERSUS MIX CONSÉQUENTIEL	27
IV.3.2.	MIX ÉLECTRIQUE RETENUS POUR CETTE ÉTUDE	27
IV.4	Modélisation du transport par camion	27
IV.5	Catégories d'impacts	29
IV.5.1.	CATÉGORIES D'IMPACTS RETENUES	29
IV.5.2.	CATÉGORIES D'IMPACTS EXCLUES	31
V.	DONNEES ET HYPOTHESES	33
V.1	Sources de données	33
V.2	Mix énergétiques pris en compte	37
V.2.1.	CAS DE BASE	37
V.2.2.	VARIANTES	37
V.3	Emballages primaires	39
V.3.1.	POIDS ET MATÉRIAUX	39
V.3.2.	RECYCLABILITÉ	41
V.3.2.1	Conséquences lors du recyclage suivant le type d'additif, de colorant ou d'opacifiant	41
V.3.2.2	Modélisation dans le cadre de cette étude	42
V.3.3.	COLLE DES ÉTIQUETTES	44
V.3.4.	TAUX DE PERTES (OU FREINTE)	44
V.3.5.	TAUX DE MATIÈRE RECYCLÉE	44
V.4	Emballages secondaires et tertiaires	45
V.5	Transport	46
V.5.1.	TRANSPORT DES MATIÈRES PREMIÈRES	46
V.5.2.	DISTRIBUTION	46

V.5.2.1	Distances.....	46
V.5.2.2	Palettisation	47
V.5.3.	COLLECTES.....	48
V.5.4.	TRANSPORT LIÉ A LA RÉGÉNÉRATION.....	48
V.6	Consommation des sites de production	48
V.6.1.	BOUTEILLES EN PET	48
V.7	Fin de vie.....	49
V.7.1.	EMBALLAGES PRIMAIRES	49
V.7.1.1	PET.....	49
V.7.1.2	Etiquettes et bouchons	50
V.7.2.	EMBALLAGES SECONDAIRES.....	50
V.7.3.	EMBALLAGES TERTIAIRES	50
V.8	Qualité des principales sources de données.....	51
VI.	RESULTATS ET ANALYSE.....	52
VI.1	Impacts globaux de la bouteille en PET de 1.5l.....	52
VI.1.1.	BUT DE L'ANALYSE	52
VI.1.2.	PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME ÉTUDIÉ.....	52
VI.1.3.	CONTRIBUTION À L'AUGMENTATION DE L'EFFET DE SERRE.....	54
VI.1.4.	CONTRIBUTION À L'ACIDIFICATION DE L'AIR.....	55
VI.1.5.	CONTRIBUTION À L'EUTROPHISATION	56
VI.1.6.	CONSOMMATION DE RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES	57
VI.1.7.	CONSOMMATION D'EAU.....	58
VI.1.8.	CONSOMMATION DE RESSOURCES MINÉRALES	59
VI.1.9.	PRODUCTION DE DÉCHETS FINAUX.....	60
VI.1.10.	CONCLUSIONS.....	61
VI.2	Application fibre versus application bouteille	63
VI.2.1.	BUT DE L'ANALYSE	63
VI.2.2.	RÉSULTATS	63
VI.3	Impacts des additifs, colorants, opacifiants sur la recyclabilité des bouteilles	65

VI.3.1. BUT DE L'ANALYSE	65
VI.3.2. OBJET DE L'ANALYSE.....	65
VI.3.3. PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME ÉTUDIÉ.	65
VI.3.4. RÉSULTATS	67
VI.3.4.1 Contribution à l'augmentation de l'effet de serre.....	67
VI.3.4.2 Contribution à l'acidification de l'air.....	68
VI.3.4.3 Consommation de ressources énergétiques non renouvelables	69
VI.3.4.4 Contribution à l'eutrophisation.....	70
VI.3.4.5 Consommation de ressources minérales	71
VI.3.4.6 Consommation d'eau.....	72
VI.3.5. CONCLUSIONS.....	73
VI.3.5.1 Recyclabilité.....	73
VI.3.5.2 Couches barrières.....	73
VI.4 Influence de la situation du marché pour le PET recyclé ...	74
VI.4.1. BUT DE L'ANALYSE	74
VI.4.2. PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME ÉTUDIÉ.	74
VI.4.3. NOTION IMPORTANTE	75
VI.4.3.1 Taux de recyclage équivalent, attribué à la bouteille	75
VI.4.4. RÉSULTATS	76
VI.4.4.1 Contribution à l'effet de serre.....	77
VI.4.4.2 Contribution à l'acidification de l'air et consommation de ressources énergétiques non renouvelables	83
VI.4.4.3 Contribution à l'eutrophisation.....	84
VI.4.4.4 Consommation d'eau.....	85
VI.4.4.5 Consommation de ressources minérales	86
VI.4.5. CONCLUSIONS.....	87
VI.5 Paramètres les plus influents sur le bilan environnemental	88
VI.5.1. BUT DE L'ANALYSE	88
VI.5.2. PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME ÉTUDIÉ.	88

VI.5.3. RÉSULTATS	89
VI.5.3.1 Poids des bouteilles.....	89
VI.5.3.2 Taux de recyclage équivalent	93
VI.5.4. CONCLUSIONS.....	97
 VII. CONCLUSIONS	 101
VII.1 Rappel des objectifs de l'étude.....	101
VII.2 Bilan global de la bouteille de 1.5l monocouche sans colorant ni opacifiant recyclée en application bouteille ..	101
VII.3 Contribution des différentes étapes du cycle de vie	102
VII.4 Paramètres les plus influents sur le bilan environnemental	104
VII.5 Influence des différentes couches barrières sur la recyclabilité	108
VII.6 Influence de la situation de marché pour le PET recyclé .	108
VII.7 Sources de données pour l'affichage environnemental ...	109
VII.7.1. DONNÉES PRIMAIRES À COLLECTER	109
VII.7.2. DONNÉES SECONDAIRES À AMÉLIORER	110
VII.7.3. CATÉGORIES D'IMPACTS	110
 VIII. ANNEXES	 111
VIII.1 Annexe 1 : Modélisation de la production d'électricité .	111
VIII.1.1. L'APPROCHE ATTRIBUTIONNELLE	111
VIII.1.2. L'APPROCHE CONSÉQUENTIELLE	112
VIII.2 Annexe 2 : Situations de marché.....	113
VIII.2.1. SITUATIONS DE MARCHÉ.....	113
VIII.2.2. TABLEAU RÉCAPITULATIF.....	116
VIII.3 Annexe 3 : Normalisation	117
VIII.4 Annexe 4 : Facteurs de caractérisation	118

VIII.4.1. CONTRIBUTION A L'EFFET DE SERRE	118
VIII.4.2. CONTRIBUTION À L'EUTROPHISATION	119
VIII.4.3. CONTRIBUTION A L'ACIDIFICATION.....	120
VIII.4.4. CONSOMMATION D'ÉNERGIE NON RENOUVELABLE.....	120
VIII.4.5. DOMMAGES LIÉS À L'EXTRACTION DE MINÉRAUX	121
VIII.4.6. CONSOMMATION D'EAU.....	121
VIII.4.7. PRODUCTION DE DÉCHETS FINAUX.....	121
VIII.5 Annexe 5 : Influence des choix méthodologiques - Mix électrique.....	123
VIII.6 Annexe 6 : Comment sont déterminés les mix électriques (en anglais)?	126
VIII.6.1. ATTRIBUTIONAL MODELLING	126
VIII.6.1.1Average mix	126
VIII.6.1.2Attributional mix taking into account the period of consumption	126
VIII.6.2. CONSEQUENTIAL MODELLING.....	131
VIII.6.2.1Short-term	131
VIII.6.2.2Mid or long-term.....	132

Liste des tableaux

Tableau IV-1 : Catégories d'impacts considérées et unités de référence	29
Tableau V-1 : Données d'inventaire utilisées lors de l'ACV	34
Tableau V-2 : Utilisation des mix d'électriques pour les principaux procédés consommateurs.....	37
Tableau V-3 : Caractéristiques et poids des emballages primaires (g/bouteille) – Bouteille monocouche non colorée – 1.5l	39
Tableau V-4 : Caractéristiques et poids des emballages primaires (g/bouteille) – Bouteille monocouche non colorée – 0.5l	40
Tableau V-5 : Taux d'incorporation moyen d'additifs, colorants et opacifiants – Bouteilles 0.5l	40
Tableau V-6: Modélisation de la recyclabilité des différents types de bouteilles 0.5l dans le cadre de cette étude.....	43
Tableau V-7 : Poids de colle par étiquette (g/étiquette).....	44
Tableau V-8 : Taux de pertes (en % de l'entrant en production).....	44
Tableau V-9 : Caractéristiques et poids des emballages secondaires et tertiaires pour les bouteilles de 1.5l	45
Tableau V-10 : Caractéristiques et poids des emballages secondaires et tertiaires pour les bouteilles de 0.5l	45
Tableau V-11 : Distance – Transport matières premières (km).....	46
Tableau V-12 : Distances de distribution (km).....	47
Tableau V-13 : Nombre de palettes par camion.....	47
Tableau V-14 : Données considérées pour les distances du centre de tri jusqu'au régénérateur.....	48
Tableau V-15 : Consommations d'électricité des usines pour l'étape d'injection et de soufflage (kWh / kg).....	48
Tableau V-16 : Taux d'incinération et d'enfouissement.....	49
Tableau V-17 : Taux de récupération net d'énergie par les incinérateurs	49
Tableau V-18: Taux d'incinération et d'enfouissement du papier pour les industriels	50
Tableau VI-1: Impacts des procédés de production et de recyclage pour les applications fibre et bouteille.....	64
Tableau VI-2: Modélisation de la recyclabilité des différents types de bouteilles 0.5l dans le cadre de cette étude.....	66
Tableau VIII-1 : Valeurs des émissions et consommations annuelles d'un habitant moyen en France et en Europe permettant la normalisation xx	117

Liste des figures

Figure 1 : Application en PET recyclé en 2009 (source : Valorplast)	15
Figure 2 : Arbre de procédé – Bouteille en PET	22
Figure 3 : Contribution à l'augmentation de l'effet de serre – bouteille 1.5l – Allocation 50/50 – R1 = 25% - R2 = 50%.....	54
Figure 4 : Contribution à l'acidification de l'air – bouteille PET 1.5l – Allocation 50/50 – R1 = 25% - R2 = 50%	55
Figure 5 : Contribution à l'eutrophisation– bouteille PET 1.5l – Allocation 50/50 – R1 = 25% - R2 = 50%.....	56
Figure 6 : Consommation de ressources énergétiques non renouvelables - bouteille PET 1.5l – Allocation 50/50 – R1 = 25% - R2 = 50%	57
Figure 7 : Contribution à la consommation d'eau - bouteille PET 1.5l – Allocation 50/50 – R1 = 25% - R2 = 50%	58
Figure 8 : Consommation de ressources minérales – bouteille PET 1.5l – Allocation 50/50 – R1 = 25% - R2 = 50%.....	59
Figure 9 : Production de déchets finaux – bouteille PET 1.5l – Allocation 50/50 – R1 = 25% - R2 = 50%	60
Figure 10 : Contribution en % des différentes phases aux diverses catégories d'impacts pour une bouteille en PET de 1.5l	62
Figure 11 : Contribution à l'augmentation de l'effet de serre des différents systèmes étudiés par phases – R1 = 25% et R2 = 50%	67
Figure 12 : Contribution à l'acidification de l'air des différents systèmes étudiés par phases – R1 = 25% et R2 = 50%	68
Figure 13 : Consommation de ressources énergétiques non renouvelables des différents systèmes étudiés par phases – R1 = 25% et R2 = 50%	69
Figure 14 : Contribution à l'eutrophisation des différents systèmes étudiés par phases – R1 = 25% et R2 = 50%.....	70
Figure 15 : Consommation de ressources minérales des différents systèmes étudiés par phases – R1 = 25% et R2 = 50%.....	71
Figure 16 : Consommation d'eau des différents systèmes étudiés par phases – R1 = 25% et R2 = 50%.....	72
Figure 17 : Allocation des bénéfices du recyclage – Taux de recyclage équivalent en fonction du taux de recyclage	75
Figure 18 : Sensibilité à la méthode d'allocation des bénéfices du recyclage – Contribution totale à l'effet de serre.....	77
Figure 19 : Sensibilité à la méthode d'allocation des bénéfices du recyclage – Contribution par phase à l'effet de serre.....	79
Figure 20 : Sensibilité à la méthode d'allocation des bénéfices du recyclage – Contribution par phase à l'effet de serre.....	81
Figure 21 : Sensibilité à la méthode d'allocation des bénéfices du recyclage – Détails de la contribution à l'effet de serre pour les phases fin de vie et production.....	82
Figure 22 : Sensibilité à la méthode d'allocation des bénéfices du recyclage – Contribution à l'acidification de l'air.....	83

Figure 23 : Sensibilité à la méthode d'allocation des bénéfices du recyclage – Consommation de ressources énergétiques non renouvelables	83
Figure 24 : Sensibilité à la méthode d'allocation des bénéfices du recyclage – Contribution à l'eutrophisation.....	84
Figure 25 : Sensibilité à la méthode d'allocation des bénéfices du recyclage – Consommation d'eau	85
Figure 26 : Sensibilité à la méthode d'allocation des bénéfices du recyclage – Consommation de ressources minérales	86
Figure 27 : Analyse de sensibilité – Poids des bouteilles	91
Figure 28 : Analyse de sensibilité – Taux de recyclage équivalent et type de fin de vie pour les bouteilles non recyclées.....	94
Figure 29 : Contribution à l'augmentation de l'effet de serre – Sensibilité aux mix électriques.....	124
Figure 30 : Consommation de ressources énergétiques non-renouvelables – Sensibilité aux mix électriques.....	124

I. Glossaire

CS	Collecte sélective
CNS	Collecte non sélective
CSDU	Centre de stockage de déchets ultimes
FdV	Fin de vie
B-t-B	Bottle-to-Bottle
R-PET	PET recyclé
R_1	Taux d'incorporation de PET recyclé
R_2	Taux de recyclage du PET
F	Allocation des bénéfices du recyclage au fournisseur
50/50	Allocation des bénéfices du recyclage pour moitié au fournisseur et pour moitié à l'incorporateur
I	Allocation des bénéfices du recyclage à l'incorporateur
$R_{\text{éq}}$	Taux de recyclage équivalent, attribué à la bouteille
DCO	Demande chimique en oxygène

II. Présentation de l'étude

II.1 Contexte et objectifs

La consommation de biens représente une certaine part de l'empreinte écologique des consommateurs. Cet impact est à la fois invisible pour le consommateur (agriculture, pesticides, engrais, pêche, transport, transformation, ...) et en partie visible (transport, conservation, déchets, ...).

Face à ce constat, les autorités publiques cherchent à sensibiliser le consommateur sur l'impact environnemental de ses choix. Cette sensibilisation passe par des campagnes d'information générale mais aussi par la volonté de développer un système d'affichage directement dans les magasins.

Des projets d'affichage carbone des produits sont actuellement en cours au niveau européen et international :

- Au Royaume-Uni, à l'initiative du DEFRA, la CarbonTrust, en collaboration avec le BSI a présenté en 2008 une norme (PAS 2050) pour le calcul du bilan carbone des produits en vue d'assurer un affichage environnemental directement sur les produits.
- En France, le gouvernement vise à imposer l'affichage environnemental des produits de grande consommation à l'horizon 2011. Une plate-forme pilotée par l'ADEME et animée par l'AFNOR a été mise en place pour définir les catégories de produits et la méthodologie de calcul.
- En Belgique, le Ministre fédéral de l'environnement a annoncé sa volonté de développer l'information environnementale à destination des consommateurs. Une étude de faisabilité sur l'affichage environnemental in-situ des produits de grande consommation a été réalisée par l'IBGE et une conférence a été organisée sur le sujet par le SPF Environnement en janvier 2009.
- En Allemagne, UBA vient de lancer des projets pilotes de calcul du bilan carbone des produits.
- Au niveau international, deux initiatives sont à noter :
 - les travaux du WRI sur le bilan carbone des produits. Ces travaux ont démarré en août 2008 et doivent se terminer en mai 2010.
 - la proposition d'une nouvelle norme ISO sur l'empreinte carbone des produits présentée par l'ISO/TC 207/SC7 qui doit aboutir pour mars 2011.

Dans ce contexte du développement de l'affichage environnemental et de la nécessité de disposer de données quantifiées, ELIPSO, Eco-Emballages et Valorplast souhaitent évaluer les impacts environnementaux d'une bouteille PET pour des boissons selon l'approche "Analyse du cycle de vie" sur l'ensemble du cycle de vie.

L'objectif est de disposer d'un référentiel qui permettra d'identifier, dans une démarche de progrès continu les leviers d'amélioration du bilan environnemental d'une bouteille PET, ainsi que les paramètres clés de calcul dans la perspective de l'affichage environnemental.

Les questions auxquelles cette ACV (réalisée selon la norme ISO 14040-14044) doit répondre sont :

- Quel est l'impact environnemental global de la bouteille PET et quelles sont les phases qui contribuent le plus à ce bilan ?
- Quel est le bilan environnemental de la bouteille PET en fonction de sa recyclabilité (recyclage en application bouteille, recyclage en application fibre...)?

- Quels sont les paramètres d'incertitude au niveau des données et des choix méthodologiques et comment influencent-ils le bilan ?
- Quelles sont les leviers d'amélioration du bilan environnementale de la bouteille PET dans une perspective d'éco-conception ?

II.2 Définition de l'unité fonctionnelle

La première étape d'une ACV consiste à définir "l'unité fonctionnelle", c'est-à-dire la fonction qui est remplie par les différents produits étudiés. Cette fonction est la même pour tous les produits afin de permettre une comparaison objective des performances. Cette unité est définie avec précision à partir de l'objectif de l'étude, de son utilisation et de l'usage des produits. Elle permet de prendre en compte à la fois une unité de produit et une unité de fonction.

Pour répondre à la question posée ci-dessus, nous définissons l'unité fonctionnelle suivante :

"Emballer¹ 1.5l de boissons dans une bouteille en PET (pour acheminer la boisson de son lieu de production à son lieu de consommation)".

Cette unité fonctionnelle prend en compte seulement la fonction de transport de la bouteille et pas celle de protection du produit et de sa conservation.

Note : Actuellement la majorité des bouteilles en PET sont vendues en grand conditionnement 1.5l. Toutefois, la proportion de petites bouteilles en PET est de plus en plus élevée.

II.3 Produits étudiés

II.3.1. TYPES DE BOUTEILLES EN PET

Il existe actuellement plusieurs types de bouteilles en PET sur le marché. Si une partie des bouteilles PET sont monocouches et non colorées, on constate dans la pratique que d'autres peuvent contenir des couches barrières et être additivées, colorées ou opacifiées, afin d'assurer des fonctions de protection du contenu ou des fonctions marketing.

- Additifs

Les technologies barrières sont utilisées dans le cas où un frein aux transferts de gaz (CO₂ et O₂), aux rayons UV, à l'humidité... est nécessaire. Ces technologies sont principalement utilisées dans le cas de boissons gazeuses (eaux gazeuses, bières) et dans le cas de jus de fruits et eaux aromatisées.

La nécessité pour un produit d'utiliser une solution barrière est aussi conditionnée par la taille et la forme de la bouteille, ainsi que la durée de vie visée.

Les principales technologies barrières aujourd'hui sur le marché sont :

- les multicouches : en trois ou cinq couches, avec du Nylon ou de l'EVOH
- les blends : mélange d'un matériau barrière (type Nylon ou autre) avec le PET
- les coatings : dépôt d'une couche (en Silice ou en Carbone), à l'extérieur ou à l'intérieur de la bouteille.

Dans le cadre de cette étude, les simplifications suivantes sont considérées :

- la qualité de barrière aux gaz de l'EVOH est similaire à celle du nylon. Dans la réalité, les barrières ne sont pas de qualité similaire et le temps de conservation de la boisson diffère; ce paramètre n'est pas inclus dans l'étude.

¹ Par l'utilisation d'emballages primaires, secondaires et tertiaires

- Les blends sont constitués à 50% de Nylon et 50% d'EVOH.

- Colorants

Les principaux colorants sont : bleu clair, bleu foncé, vert, rouge et autres couleurs associées (orange, rose...). Ils sont présents dans les bouteilles de PET pour des raisons marketing.

- Opacifiant

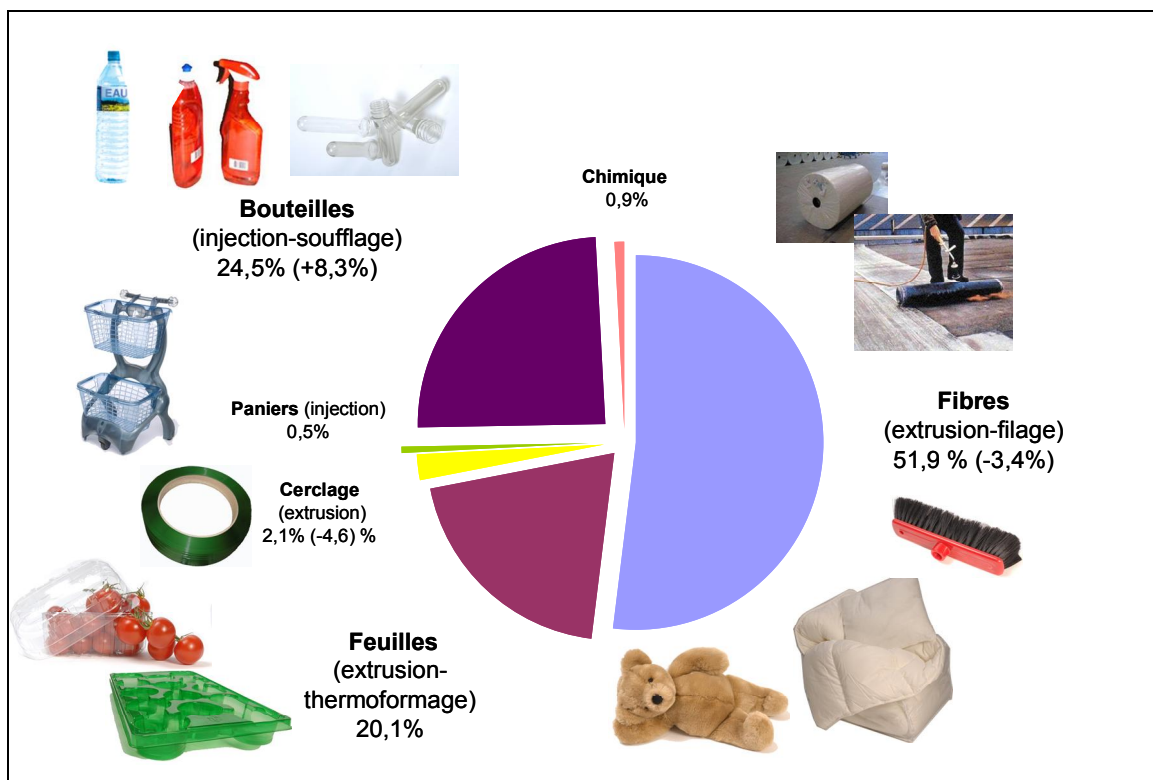
Le principal opacifiant pour les bouteilles en PET est l'oxyde de titane (TiO_2).

Outre la production de ces additifs ou colorants, la principale conséquence de leur présence dans les bouteilles PET est la modification du comportement de la bouteille en phase de recyclage. En France, les conséquences de ces bouteilles additivées dans les filières de recyclage sont étudiées par le CoTREP (Comité Technique pour le Recyclage des Emballages Plastiques).

II.3.2. DEBOUCHES DU PET RECYCLE

Actuellement, en France, les débouchés du PET recyclé sont divers tels que présentés dans la figure ci-dessous.

Figure 1 : Application en PET recyclé en 2009 (source : Valorphast)



L'utilisation de PET recyclé pour des applications bouteilles, feuilles (notamment barquettes et gobelets) et cerclage nécessite une étape supplémentaire lors de la régénération du PET à partir de bouteilles en PET collectées sélectivement.

Comme souligné dans le document « Evaluation sanitaire des matériaux en polyéthylène téréphtalate) recyclés utilisées en tant que matériaux au contact des denrées alimentaires et

de l'eau de boisson »² : « Pour la fabrication de bouteilles, il est indispensable de pallier l'altération des propriétés mécaniques et chimiques en ramenant, au préalable le PET à un grade équivalent à celui du PET vierge. Ceci s'effectue par une post condensation qui augmente la masse molaire en nombre et en poids par polymérisation. Elle permet notamment aussi la remontée de l'indice de viscosité. »

Cette étape n'est par contre pas nécessaire pour les applications fibres.

II.3.3. CONSEQUENCES DES BOUTEILLES ADDITIVÉES DANS LES FILIERES DE RECYCLAGE

Comme souligné au point II.3.1, les additifs ou colorants peuvent influencer le recyclage. Plusieurs cas sont étudiés dans le cadre de cette étude dans la partie VI.2 p 63.

Pour modéliser cette influence des additifs ou colorants à l'étape de recyclage, plusieurs cas sont étudiés :

- Utilisation du PET recyclé pour la production de nouvelles bouteilles

Ce cas illustre la situation d'un recycleur qui ne produirait du RPET que pour retour à l'emballage, grâce à la mise en œuvre d'un procédé de post-condensation (cf. explication ci-dessus). Il est illustré dans le cadre de cette étude par une bouteille :

- monocouche non colorée.

- Utilisation du PET recyclé pour la production de fibres

Ce cas illustre la situation d'un recycleur qui ne produirait du RPET que pour utilisation dans une application fibres (cf. explication ci-dessus). Il est illustré dans le cadre de cette étude par cinq types de bouteille :

- monocouche non colorée
- monocouche opaque
- multicouche nylon non colorée
- multicouche EVOH non colorée
- blend non colorée

- Absence de recyclage du PET

Ce cas illustre le cas d'une bouteille dont les caractéristiques techniques conduisent à son éjection dans certains centres de tri ou chez certains recycleurs. La bouteille n'est donc pas recyclée mais éliminée. Il est illustré dans cette étude par une bouteille :

- monocouche rouge, car ces bouteilles font partie des bouteilles actuellement éjectées par certains recycleurs.

² Afssa – Novembre 2006

II.4 Validité géographique et temporelle

Les données utilisées dans cette étude sont représentatives de :

- La France pour la mise en forme, la distribution et le recyclage.
- L'Europe pour la production des matières premières, ce qui correspond au contexte d'approvisionnement français

L'analyse conduite dans le cadre se veut donc représentative de la situation française.

La période temporelle concernée est 2007-2010. Ce choix temporel correspond à la période pour laquelle les données ont été acquises.

II.5 Public cible

Cette étude, commanditée par ELIPSO, Eco-Emballages et Valorplast, est destinée à usage externe sous réserve de l'organisation d'une revue critique. Les résultats ne sont valides que pour la situation définie par les hypothèses décrites dans le présent rapport et les conclusions sont susceptibles de changer si ces conditions diffèrent. La pertinence et la fiabilité d'une utilisation par des tiers ou à d'autres fins que celles mentionnées dans ce rapport ne peuvent donc pas être assurées par RDC-Environnement. Cette utilisation alternative relève donc de la seule responsabilité de ces personnes.

II.6 Revue critique

L'étude a fait l'objet d'une revue critique telle qu'imposée par la norme ISO 14044:2006 par quatre experts externes indépendants

- Philippe Osset, PWC
- Guy Castellan, Plastics Europe
- Catherine Moriot, EOP's
- Geert Huysmans, Coca-Cola

La revue critique a porté sur :

- La validation de la méthodologie de l'analyse de cycle de vie et la vérification de la conformité de l'étude avec les normes de la série ISO140 40,
- La vérification de la cohérence interne du rapport, notamment de la cohérence entre les résultats des calculs et les conclusions de l'étude, en regard des objectifs,
- La validité des données utilisées par rapport aux objectifs de l'étude.

Le rapport de revue critique est annexé au rapport.

III. Frontière du système

III.1 Critères de coupure

Pour délimiter précisément les systèmes, c'est-à-dire pour décider si la production ou le devenir d'un réactif ou d'un matériau doit être pris en compte, le critère d'inclusion retenu par rapport à ceux proposés dans la norme ISO 14044 est la contribution à l'indicateur d'impact considéré.

Certaines étapes du cycle de vie ont également été exclues sur base des objectifs de l'étude et de la définition de l'unité fonctionnelle (cf. chapitre III.3, p. 19).

III.2 Procédés inclus

Les étapes du cycle de vie prises en compte sont :

- Production et transport des matériaux constitutifs des emballages primaires³
 - bouteille : PET et couches barrières
 - étiquette et colle, bouchon
- Mise en forme (transformation) des emballages primaires (ex. injection, soufflage...)
- Production et transport des matériaux constitutifs des emballages secondaires⁴ et tertiaires⁵ et mise en forme des emballages.
- Distribution des bouteilles :
 - du producteur vers les entrepôts producteurs le cas échéant
 - des entrepôts producteurs vers les entrepôts clients (grande distribution, grossistes, etc.)
 - des entrepôts clients vers les points de vente finaux
- Fin de vie des emballages primaires
 - Collecte sélective – Centre de tri – Recyclage
 - Collecte non sélective – Incinération ou mise en décharge
- Fin de vie des emballages secondaires et tertiaires
 - Collecte sélective - Recyclage
 - Collecte non sélective – Incinération ou mise en décharge

³ L'emballage primaire est celui qui contient le produit, le contenant qui est en contact direct avec ce dernier. Il s'agit aussi de la plus petite unité de vente consommateur (UVC), plus connu par les professionnels sous la dénomination «conditionnement ».

⁴ L'emballage secondaire est celui avec lequel on rassemble plusieurs emballages primaires pour faciliter leur acheminement jusqu'aux rayons de vente ou alors constituer des unités de vente consommateur de taille plus grande. Les emballages secondaires les plus courants : Films plastiques étirables, films plastiques thermo rétractable.

⁵ L'emballage tertiaire est utilisé pour la protection et le transport du produit. Il remplit différentes autres fonctions auxiliaires.

III.3 Procédés exclus

Les étapes suivantes ont été exclues du champ de l'étude :

- La fabrication de la boisson, le remplissage et le conditionnement des bouteilles
- Le stockage et le refroidissement des bouteilles lors de la phase de distribution.
- La production des colorants
- Le trajet des clients entre leur domicile et le point de vente (et vice et versa)
- Les impacts liés au stockage et au refroidissement de la bouteille chez le consommateur
- Manchonnage des bouteilles
- Emballages des préformes produites par des fournisseurs extérieurs

IV. Méthodologie

IV.1 Méthodologie générale

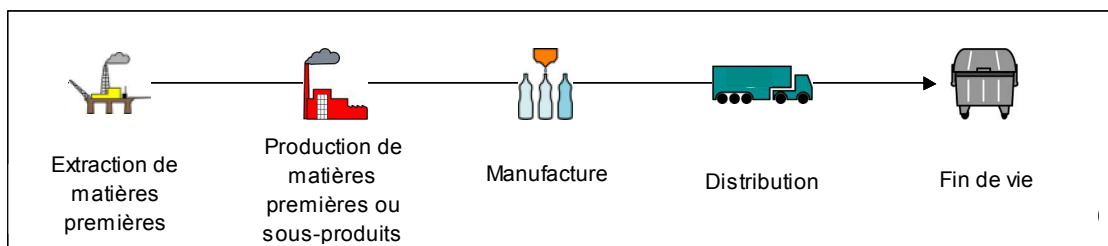
La méthodologie générale décrite dans les normes ISO14040:2006 et ISO14044:2006 pour la réalisation d'ACV est utilisée dans cette étude. Les calculs sont réalisés avec RangeLCA⁶, le logiciel de calcul propre à RDC-Environnement.

IV.1.1. ANALYSE DU CYCLE DE VIE

La méthodologie employée permet d'estimer les émissions sur tout le cycle de vie de la bouteille : de la production jusqu'à la fin de vie de la bouteille. Cette méthodologie est appelée "Analyse du Cycle de Vie" (ou ACV) et fait l'objet d'une norme internationale : la suite de normes ISO 14040 et 14044:2006 qui décrivent les différentes étapes de la réalisation d'une Analyse de Cycle de Vie :

1. Objectif et champ d'étude
2. Calcul et analyse de l'inventaire
3. Évaluation d'impacts
4. Interprétation des résultats

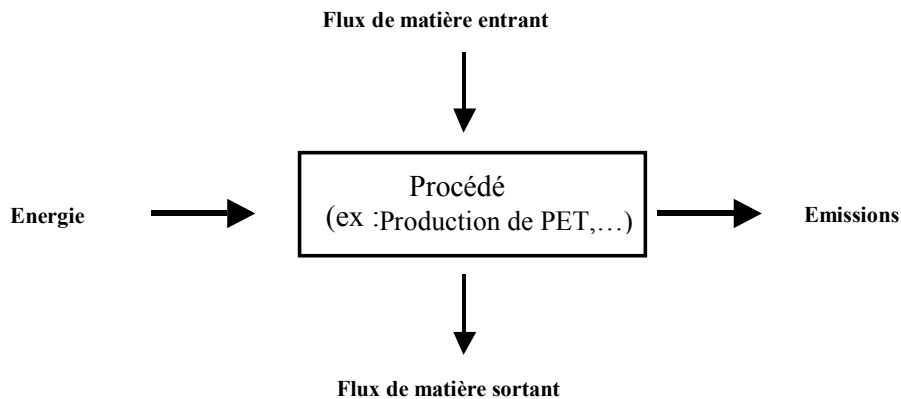
Dans la phase d'inventaire, chaque système est décomposé en plusieurs étapes pour aboutir à l'identification des procédés unitaires qui le constituent. Ces procédés correspondent chacun à une transformation précise dans la filière.



Chaque procédé est caractérisé par :

- des flux de matière entrant
- des ressources énergétiques utilisées au cours de l'étape
- un rendement de transformation ou des pertes
- des flux de matière sortant
- des émissions de polluants associées aux consommations énergétiques
- des émissions de polluants associées aux pertes éventuelles lors de la transformation.

⁶ <http://www.rdcenvironment.be/download/RangeLCA.pdf>



Les procédés sont reliés entre eux pour former l'arbre de procédés qui représente la chaîne d'effets nécessaires à la réalisation de la fonction étudiée. L'arbre de procédés détermine les quantités de flux de matière sortant de chaque procédé qui sont nécessaires à la réalisation de l'unité fonctionnelle. Sur base de ces quantités, le bilan cumulé des consommations et des émissions liées au système entier peut être calculé.

La phase d'inventaire de l'ACV comprend donc les étapes suivantes :

- élaboration de l'arbre de procédés pour le (ou les) système(s) étudié(s)
- description des entrées et sorties de chaque procédé
- recherche des données quantitatives correspondant aux entrées et sorties de chaque procédé.

Dans la phase d'évaluation des impacts, les flux répertoriés suite à l'inventaire de cycle de vie⁷ sont évalués en termes d'impacts. Les différentes émissions sont regroupées en catégories d'impacts selon leur contribution à un problème environnemental. Pour chaque catégorie d'impacts, des *facteurs de caractérisation* spécifiques sont associés à chaque valeur d'émission afin d'exprimer cet effet sur l'environnement dans une unité commune (par exemple le g équivalent CO₂ pour l'effet de serre).

Les impacts sur l'environnement peuvent ainsi être quantifiés et évalués et les phases qui y contribuent le plus, identifiées. Des actions peuvent être prises afin de prévenir ou limiter les impacts. L'approche ACV contribue en outre à éviter des prises de décision concernant certains stades du cycle de vie qui ne se contenteraient que de déplacer le dommage environnemental d'un stade à l'autre.

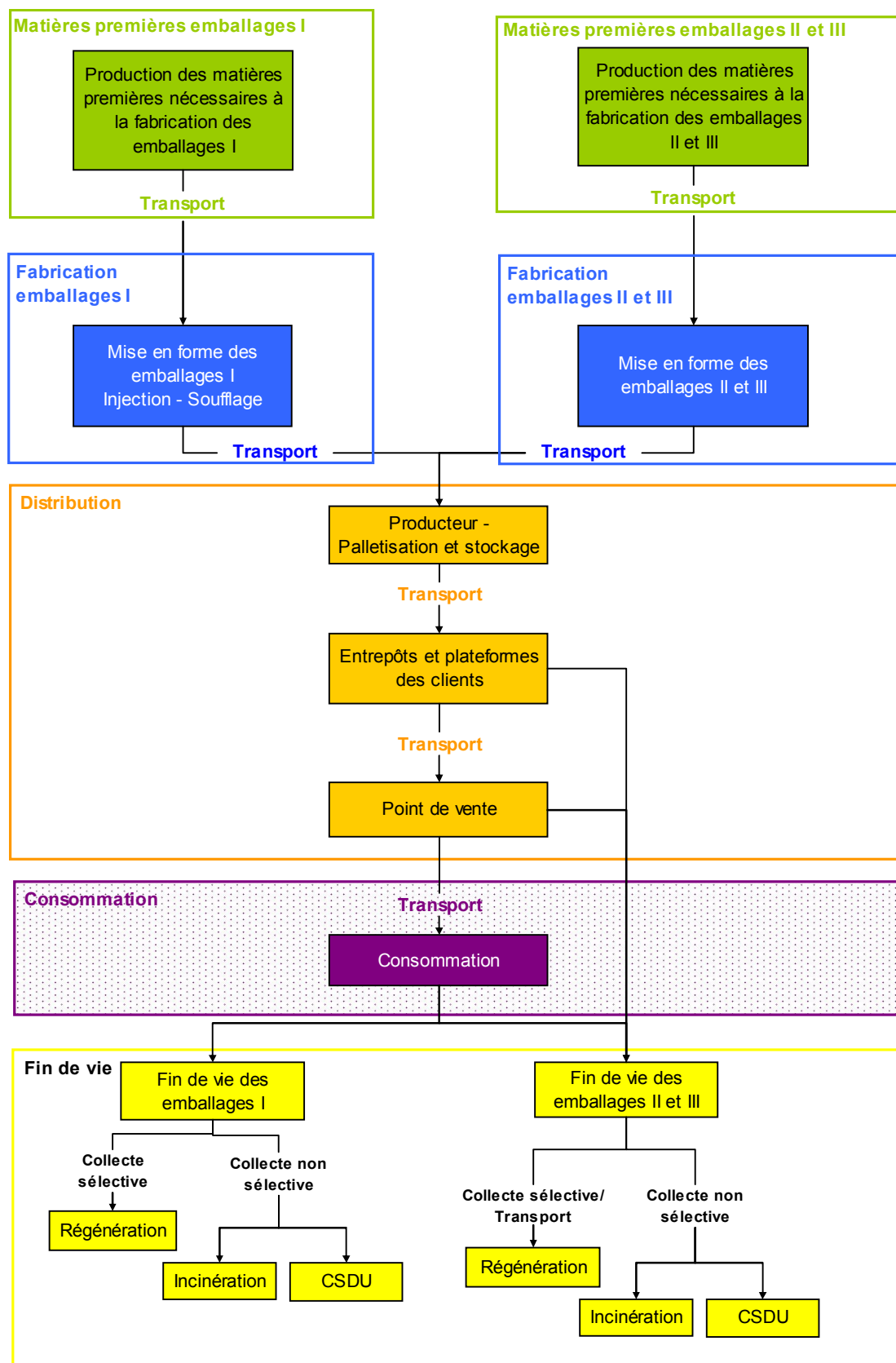
IV.1.2. ARBRE DE PROCÉDES

La figure ci-dessous schématise l'arbre de procédés correspondant à la fonction étudiée (production matières premières, mise en forme, utilisation et fin de vie d'une bouteille en PET d'1.5l).

Les phases de stockage et de refroidissement industriel ainsi que la phase de consommation ne sont pas prise en compte.

⁷ L'inventaire du cycle de vie (ICV) est défini dans la norme ISO 14044 :2006 comme : phase de l'analyse du cycle de vie impliquant la compilation et la quantification des intrants et des extrants, pour un système de produits donné au cours de son cycle de vie.

Figure 2 : Arbre de procédé – Bouteille en PET



IV.1.3. APPROCHE RANGE LCA

IV.1.3.1 Concept

Le logiciel *RangeLCA*, développé par RDC-Environnement possède des caractéristiques innovantes permettant d'améliorer la fiabilité (et, partant, la crédibilité) des résultats d'une ACV.

Le concept de base est que les résultats doivent rendre compte de la diversité des cas individuels (au lieu de se résumer à une moyenne de cas possibles et à quelques scénarios alternatifs) et ainsi **intégrer automatiquement l'analyse de sensibilité des paramètres**.

D'un point de vue mathématique, ce concept se traduit par l'utilisation de variables aléatoires au lieu de valeurs fixes (dites "typiques"). Dans un modèle, la variabilité d'un paramètre peut être de deux types :

- Variation des situations; celles-ci traduisent des situations alternatives non cumulables (par exemple : collecte sélective ou non des plastiques).
- Incertitude sur les données; celles-ci se traduisent par des distributions de probabilité autour de la valeur moyenne des paramètres (par exemple, la multiplication d'une distance de transport par une distribution normale) ; les distributions de probabilité peuvent avoir la forme d'une distribution, uniforme, normale, log-normale, etc.

Pour la partie inventaire des données, ce logiciel permet également de calculer automatiquement la **contribution de chaque flux élémentaire** (émissions dans l'air, l'eau, le sol,...) **et/ou de chaque procédé** aux impacts totaux. Ceci permet de se focaliser sur la recherche des données clés.

IV.1.3.2 Recherche de données optimisées

Les spécificités de l'outil nous permettent de travailler en 3 étapes successives :

- Remplissage complet des inventaires à partir de notre base de données et d'hypothèses conservatrices (pour tous les paramètres pour lesquels nous ne possédons pas d'informations fiables, nous faisons varier la valeur du paramètre d'au moins ± 50 % autour d'une valeur typique trouvée dans la littérature). De cette façon, nous déterminons les données et les procédés ayant l'impact le plus important sur les résultats c'est-à-dire ceux pour lesquels nous devons concentrer notre recherche de données.
- Recherche de données pour les flux élémentaires principaux (des procédés clés).
- Recherche complémentaire de données

Ce système permet de ne pas perdre de temps dans la recherche de données sans influence sur le bilan, et donc de mettre l'accent sur la recherche de données sensibles. Ainsi, un plus haut degré de fiabilité peut être atteint pour ces données sensibles.

IV.1.3.3 Fiabilité des résultats et finesse de l'analyse

Le logiciel calcule automatiquement :

- les résultats moyens d'impact correspondant à la moyenne des résultats obtenus pour l'ensemble des combinaisons aléatoires de paramètres;
- les résultats obtenus pour chacune des combinaisons de paramètres (par exemple, 1000 combinaisons) : ces résultats peuvent être portés en graphe en fonction de la valeur d'un des paramètres variables du modèle ; ces graphes dits « Range » permettent d'évaluer la sensibilité des résultats par rapport au paramètre mis en abscisse;

- le classement de l'ensemble des paramètres par ordre décroissant de sensibilité du modèle : le logiciel permet ainsi de déterminer la sensibilité des différents résultats à chaque paramètre variable du modèle, **tous les autres paramètres restant variables** (et non pas, classiquement, tous les autres paramètres étant fixes).

Ce type de résultat permet une analyse fine et complète des systèmes étudiés. En effet, le logiciel nous permet d'étudier un grand nombre de cas de figure possibles (chaque combinaison de paramètres correspond à un cas particulier). Dans la pratique, ceci permet sur les graphes « Range » :

- d'identifier l'étendue des résultats possible (valeurs minimum et maximum) ;
- d'évaluer la probabilité d'occurrence de chacune des typologies de cas (densité des nuages de points) ;
- de rendre compte de façon très graphique de la sensibilité des résultats à un paramètre donné (pente de la droite de régression) ;
- de prendre en compte tous les liens de cause à effet entre les paramètres variables,
- d'identifier le point (ou plus souvent, la zone) de seuil, c'est-à-dire la valeur (ou gamme de valeurs) du paramètre pour laquelle les conclusions s'inversent (par exemple, un système devient plus favorable qu'un autre).

IV.2 Approche « conséquentielle »

IV.2.1. FONDEMENT DE L'APPROCHE CONSEQUENTIELLE

La règle générale suivie en matière de modélisation est que les données utilisées doivent réfléter fidèlement la réalité. Elles doivent donc correspondre aux technologies effectivement affectées (qui ne sont pas nécessairement représentatives de l'ensemble des technologies du secteur concerné). Il s'agit d'identifier les changements réellement attendus en réponse à la modification imposée par la décision prise.

En effet, dans toute étude, il existe **un volet dynamique qui vise par la suite à prendre des décisions (on n'est jamais dans une photographie totalement instantanée d'une production)**. Ainsi notre étude peut permettre d'identifier des pistes d'améliorations des produits qui permettront par la suite, par exemple, d'être moins énergivores.

De cette façon seulement, les résultats reflètent les conséquences effectives de la décision prise.

La détermination des technologies (procédés) qui sont réellement affectées par la décision nécessite de tenir compte :

- du contexte géographique,
- de l'ampleur de la décision,
- de l'échelle de temps considérée,
- de la tendance générale (au sein des marchés affectés).

L'approche de modélisation "conséquentielle" ou "basée sur le marché" donne une idée précise des réactions du marché contrairement à une approche moyenne qui décrit une situation figée⁸. L'approche moyenne est une approximation acceptable uniquement pour les procédés dont le marché est très stable et très homogène du point de vue technologique (ex : production d'eau) ou dont le marché est affecté de manière uniforme.

⁸ La situation de départ ou la situation à laquelle conduit, à terme, la décision.

Le choix d'une approche " conséquentielle " au lieu d'une approche moyenne est susceptible d'avoir une influence forte sur les résultats⁹.

IV.2.2. APPLICATIONS DANS LE CADRE DE CETTE ETUDE

IV.2.2.1 Allocation des bénéfices du recyclage

A. Introduction

Le bénéfice du recyclage équivaut à la différence entre d'une part les impacts liés à la collecte sélective et au procédé de recyclage et d'autre part les impacts évités grâce à la non-production de matière première vierge et la non-élimination de matières premières.

Le "choix" de la règle d'allocation n'est pas un choix arbitraire mais le reflet des conséquences en réponse à la collecte sélective et/ou à l'incorporation de matière recyclée dans le produit. Il s'agit donc d'identifier les changements réellement attendus

B. Cas du PET

Le recyclage du PET nécessite à la fois :

- Une **fourniture de PET à recycler** : via la collecte sélective et le recyclage, caractérisé par le taux de recyclage
- Une **utilisation du PET recyclé** : via son incorporation dans une nouvelle bouteille ou dans la fibre, en substitution de PET vierge.

Grâce au recyclage, on ne produit et on n'élimine qu'une fois le PET pour deux (ou plus) utilisations consécutives. Lors de l'évaluation environnementale d'une bouteille à recycler ou d'une bouteille qui incorpore du PET recyclé, il faut donc tenir compte du fait que ces deux systèmes appartiennent à une chaîne commune et déterminer dans quelles proportions chacun est responsable de ces impacts.

Il s'agit d'identifier les changements réellement attendus en réponse à la collecte sélective et/ou à l'incorporation d'un % de RPET dans la bouteille.

C. Illustration des différentes situations de marché type

Les questions posées au moment d'évaluer les impacts du recyclage sont : Quelle quantité supplémentaire de matières recyclées serait échangée sur le marché

- si l'offre augmentait suite à l'apparition d'un nouveau gisement de matières recyclées ?
- si la demande augmentait suite à l'apparition d'un nouveau producteur de biens à partir de matières recyclées ?

La réponse aux questions, c'est-à-dire la variation de quantité échangée suite à une variation d'offre ou de demande, dépend des courbes d'offres et de demande. Plus particulièrement, la réponse du marché est modélisée par et dépend de l'élasticité-prix de l'offre et de la demande.

Les différents situations de marché type sont présentées en Annexe 2 : Situations de marché.

D. Application dans le cadre de cette étude - Recyclage du PET

Conformément aux recommandations du document BP X 30-323, la position de départ adoptée concernant le recyclage des plastiques consiste en une allocation dite « 50-50 », répartissant également le bénéfice entre le fournisseur et l'incorporateur de matière recyclée. Le bénéfice du recyclage de la bouteille en plastique est donc réparti pour moitié entre la filière amont de création du matériau recyclé (première vie de l'emballage) et la filière aval d'utilisation de ce

⁹ Pour en savoir plus : MEDD – RDC (2007) Monétarisation des impacts environnementaux liés au recyclage – Guide méthodologique et applications, 134p.

matériau (seconde vie du matériau d'emballage). Cette position de départ résulte de la position du secteur des plastiques en France.

Sur base de l'analyse du marché du PET recyclé en Europe réalisée dans le cadre de l'étude pour le MEEDDAT¹⁰ en France : « Monétarisation du bénéfice du recyclage des plastiques et des papiers/cartons », RDC a clairement établi que **l'élasticité de l'offre en R-PET est infinie** et le restera assurément lors des prochaines années et que la demande est infinie.

Ceci s'explique essentiellement :

- par le fait que, la seule source de R PET provient des bouteilles et flacons collectés et recyclés, alors que les domaines d'application concernent non seulement les bouteilles, mais également les fibres et les feuilles¹¹.
- et que, même si à terme on cherchait également à recycler les fibres, comme le PET recyclé a des caractéristiques très proches du PET vierge, son marché de substitution est donc à peu près celui de la matière vierge; il ne peut donc y avoir d'excédent.

C'est pourquoi **RDC recommande l'application d'une allocation des bénéfices du recyclage à la bouteille qui fournit la matière recyclée**. Ceci implique également qu'aucun bénéfice n'est alloué à l'action d'incorporation de PET recyclé dans la bouteille ou dans les fibres.

Précisions techniques :

- La situation du marché est évaluée sur le long terme, de façon structurelle. Il se peut que la situation passe par de courtes périodes où la situation s'inverse (fermeture des frontières chinoises...). S'il y a une baisse brusque et durable de la demande extra-européenne dans la fibre, il faudrait de l'ordre de 6 mois au marché pour rétablir un excès de demande (investissements des recycleurs et des incorporateurs). **La localisation en Europe des activités de recyclage et l'incorporation de PET recyclé dans les bouteilles sont des facteurs stabilisateurs du marché.**

Dans le cadre de cette étude, il s'agit d'un aspect méthodologique d'une importance majeure, compte tenu de l'influence de ce choix sur les résultats. Nous présenterons donc les situations suivantes :

- la méthode d'allocation qui considère que 50 % des bénéfices vont au système qui incorpore la matière recyclée et 50 % des bénéfices vont au système qui fournit la matière recyclée (allocation **50 :50**)
- la méthode d'allocation des bénéfices du recyclage au système qui fournit la matière recyclée (allocation au **fournisseur** de matière recyclée) ;
- la méthode d'allocation des bénéfices du recyclage au système qui incorpore la matière recyclée (allocation à **l'incorporateur** de matière recyclée).

Cet aspect méthodologique est le premier point abordé dans les résultats (cf. point VI.4 p 74) **étant donné son importance.**

¹⁰ Aujourd'hui MEEDDeM

¹¹ A titre illustratif, le marché de collecte (en Europe) concerne 4 Mt (bouteilles) et le marché d'incorporation 17 Mt (4 Mt bouteilles + 13 Mt fibres) alors que les domaines d'application concernent non seulement les bouteilles, mais également les fibres et les feuilles.

IV.3 Modélisation de la production d'électricité

IV.3.1. MIX ATTRIBUTIONNEL VERSUS MIX CONSEQUENTIEL

Le mix électrique représente l'ensemble des moyens qui sont utilisés pour produire un kWh d'énergie électrique. Il est défini par la part occupée par chaque type de centrales : nucléaires, au charbon, au fuel, au gaz naturel, hydroélectriques et autres renouvelables.

Plusieurs approches peuvent permettre de définir un mix électrique :

- **L'approche attributionnelle** décrit la situation actuelle. Elle considère l'ensemble des moyens de production d'électricité comme figé et donc la production d'électricité à l'échelle d'un pays est fixe (c'est une donnée). Il faut donc définir la part de cette production nationale qui est attribuable au consommateur que l'on étudie.
- Au contraire, **l'approche conséquentielle** cherche à modéliser les effets (les conséquences) de la décision d'un acteur de consommer davantage, ou moins, d'électricité. A ce titre, elle est prospective et modélise la différence entre une situation future projetée suite à la décision prise en faveur ou en défaveur du système étudié et la situation actuelle. En ce sens, elle modélise les effets spécifiques de la décision envisagée (achat d'un produit qui consomme plus ou moins d'électricité).

C'est notamment selon l'ampleur que peut avoir la décision que le choix entre une approche attributionnelle et une approche conséquentielle s'effectue.

Les différents mix électriques possibles sont présentés en Annexe 1 : Modélisation de la production d'électricité.

IV.3.2. MIX ELECTRIQUE RETENUS POUR CETTE ETUDE

En cas de base, nous utiliserons dans cette étude les **mix attributionnels en moyenne annuelle** publiés officiellement par chaque pays ou zone géographique. Ces mix sont les plus souvent utilisés dans les études ACV.

En analyse de sensibilité, nous modélisons également les **mix électriques conséquentiels** des pays ou zone géographiques adaptés au profil de consommation des différents acteurs, à savoir :

- soit un mix adapté à une consommation continue (cas des usines de productions des matières premières et de recyclage)
- soit un mix adapté à une consommation 5 jours sur 7 de jour (cas des usines de production des bouteilles).

Le tableau de synthèse reprenant les mix électriques utilisés en cas de base est repris au chapitre V.2 p. 37.

IV.4 Modélisation du transport par camion

La première étape de la modélisation consiste à déterminer la consommation de carburants des camions. La méthodologie employée pour ce faire est Copert 4¹², un outil de calcul des émissions polluantes imputables au transport routier. Elle prend en compte plusieurs paramètres qui influencent la consommation donc les émissions :

¹² Destinée à être utilisée à l'échelle européenne et financée par l'European Environment Agency (EEA), cette méthodologie a été mise au point par Leonidas Ntziachristos et Zissis Samaras (*Laboratory of Applied Thermodynamics, Aristotle University of Thessaloniki*, Grèce). Copert 4 fait partie du projet ARTEMIS qui a fédéré 36 organisations (entreprises, instituts de recherches, universités) de 15 pays européens dans le but d'harmoniser les facteurs d'émissions utilisés dans les différents pays d'Europe.

- Le type de camion utilisé (type de carrosserie, tonnage et norme européenne)
- Vitesse moyenne du parcours
- Pente moyenne du parcours
- Taux de chargement (nous considérons toujours un taux de chargement de 100 % car la prise en compte de ce taux s'effectue via notre modélisation, voir ci-dessous)

A partir de ces émissions, Copert 4 permet de calculer la consommation du camion plein à 100%. Le taux de chargement et le taux de retour à vide sont pris en compte de la manière suivante :

$$\text{Consommation (en litres)} = \frac{x}{100} * \left(\frac{2}{3} + \frac{1}{3} * \frac{\text{charge réelle}}{\text{charge utile}} + \text{taux de retour à vide} * \frac{2}{3} \right) * \text{distance}$$

Avec x la consommation du camion plein exprimée en L/100 km.

Deux tiers de la consommation d'un camion sont liés à son poids et un tiers à son chargement.

Les émissions du camion doivent être attribuées à l'unité fonctionnelle. Cela se fait sur la base du :

- **Poids** si la marchandise est dense (matières premières, liquides, céréales...)
- **Volume** si la marchandise est peu dense (produits finis...). Cette approche est retenue lorsque la densité est suffisamment faible pour que le camion soit physiquement plein avant que le poids maximal autorisé soit atteint.
- **Nombre de palettes** si la marchandise est chargée en palettes.

Dans cette étude, c'est le poids qui est le facteur limitant. C'est pourquoi les impacts du transport par camion lors de la distribution peuvent être alloués à l'emballage suivant un critère massique. A contrario, dans le cas d'une limitation au volume, une telle allocation massique ne peut être appliquée car elle ne permettrait pas de refléter les impacts potentiels d'un changement de poids/forme de l'emballage sur le transport.

Dans la cadre de l'affichage environnemental, il est prévu que le transport de l'emballage et le transport du produit ne soient pas dissociés.

IV.5 Catégories d'impacts

Les catégories d'impacts recommandées dans la norme ISO 14044 sont :

- Consommation de ressources
 - Consommation de ressources naturelles non renouvelables – énergie
 - Consommation de ressources naturelles non renouvelables – minéraux
- Pollutions
 - Effet de serre
 - Destruction de la couche d'ozone
 - Toxicité humaine
 - Ecotoxicité aquatique eaux douces
 - Ecotoxicité terrestre
 - Acidification de l'atmosphère
 - Eutrophisation
 - Déchets ultimes

IV.5.1. CATEGORIES D'IMPACTS RETENUES

Au regard des émissions de polluants dans l'air, l'eau et le sol générés tout au long des différentes filières, les catégories d'impacts pertinentes pour cette étude sont :

Tableau IV-1 : Catégories d'impacts considérées et unités de référence

CATEGORIE D'IMPACT	UNITE	SOURCE DU FACTEUR DE CARACTERISATION	ROBUSTESSE DE L'INDICATEUR
1. POLLUTION			
Effet de serre	g éq. CO ₂	IPCC (2007) sur 100 ans	+++
Acidification de l'atmosphère	g éq. SO ₂	CML (2004) – basé sur Hauschild & Wenzel (1998)	++
Eutrophisation de l'eau et de l'air	g éq. PO ₄	CML 2004 – basé sur Heijungs (1992) et Huijbregts (2000-2001)	++
2. CONSOMMATION DE RESSOURCES NON RENOUVELABLES			
Energie non renouvelable	MJ primaire	Facteurs basés sur le PCI	+++
Minéraux	MJ surplus	Eco-indicateur 99 (2001)	++
Consommation d'eau	Litres		?
3. DECHETS			
Déchets finaux mis en site d'enfouissement	kg	Poids mis en site d'enfouissement	+

Dans les tableaux de résultats, les valeurs des indicateurs sont présentées dans un premier temps en unités scientifiques reconnues (g éq. CO₂, g éq. SO₂, etc.) pour l'unité fonctionnelle.

La contribution relative de chaque procédé (ou groupe de procédés) est également donnée pour la catégorie d'impact « effet de serre ».

Note par rapport à la catégorie « eutrophisation »

La catégorie "eutrophisation" reprend deux types de contributions :

- Les émissions de substances eutrophisantes **directement dans l'eau**. Les facteurs de caractérisation pour ces flux élémentaires sont ceux repris par CML et basés sur Heijungs (1992).
- Les émissions **atmosphériques** azotées (NOx et NH3). Les facteurs de caractérisation pour ces flux élémentaires sont repris des publications de Huijbregts et Seppala (2000 et 2001)¹³. Ils résultent de la multiplication des facteurs des substances dans l'eau par un « facteur de destination » (*fate factor*, en anglais). Celui-ci exprime la part des NOx ou NH3 émis dans l'air qui se retrouve dans l'eau. Les *fate factors* moyens pour l'Europe sont utilisés et valent 33 % et 39 % pour NOx et NH3 respectivement.

Note par rapport à la catégorie « consommation de minéraux »

Cette catégorie d'impact représente la somme de toutes les ressources minérales qui sont puisées telles que la bauxite, le cuivre... Elle ne prend pas en compte les ressources énergétiques. L'unité utilisée pour cette catégorie d'impacts est le MJ surplus. Elle correspond à l'énergie supplémentaire nécessaire pour compenser l'épuisement des ressources minérales dans le futur. En effet, les minéraux vont continuer à être présents sur terre mais de manière de plus en plus diluée ; il faudra donc plus d'énergie pour y accéder et les extraire qu'auparavant.

Le document de l'ILCD Handbook intitulé « Analysis of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in LCA » met en avant l'intérêt suivant de cette approche pour la catégorie consommation de minéraux développée par Eco-indicateur 99: *"The reason why it is interesting is that it does not apply the use to stock ratio, but has a marginal damage approach, starting with what can be seen as an inverse of the fate step (the decrease of concentration due to an extraction)"*.

Note par rapport à la catégorie « consommation d'eau »

La prise en compte de la consommation d'eau dans les ACV est une démarche complexe et la méthodologie correspondante doit encore davantage se développer. On pourrait considérer comme consommation d'eau, tout prélèvement d'eau quelle que soit la provenance ou la destination de celle-ci. Dans ce cas, l'eau utilisée en boucle dans un procédé n'est cependant comptabilisée qu'une seule fois, lors du prélèvement.

Afin d'évaluer les impacts d'un prélèvement d'eau, il apparaît pourtant judicieux de prendre en compte l'origine de l'eau ainsi que sa destinée. L'eau peut provenir de différentes sources :

- réseau de distribution
- eaux de surfaces
- eau de pluie
- mer
- nappes phréatiques.

Elle peut aussi être utilisée à différentes fins :

- eau de refroidissement (correspond dans les éco-profil à l'eau spécifiquement identifiée comme eau de refroidissement)

¹³ Huijbregts M.A.J. and Seppälä J. *Towards Region-Specific, European Fate Factors for Airborne Nitrogen Compounds Causing Aquatic Eutrophication*. Int. J. LCA 5 (2) 65 – 67 (2000) ; and Huijbregts M.A.J. and Seppälä J. *Life Cycle Impact Assessment of Pollutants Causing Aquatic Eutrophication*, Int J LCA 6 (6) 339 – 343 (2001)

- eau de procédé (correspond dans les éco-profils à toutes les eaux autres que celle de refroidissement)
- eau d'irrigation (définie comme l'eau pompée dans tout type de source d'eau et apportée d'une certaine façon dans les champs pour l'irrigation).

Dans les eaux de refroidissement, il faut en outre distinguer les circuits ouverts et les circuits fermés :

- En circuit ouvert, l'eau prélevée en surface ou dans la mer passe une fois dans le circuit puis est rejetée à une température contrôlée.
- En circuit fermé, le prélèvement d'eau douce (rivière ou forage) sert à compenser l'évaporation et la purge de déconcentration du circuit fermé.

Dans les deux cas, l'eau de refroidissement est chargée en agents biocides et en inhibiteurs de corrosion. Les quantités de réactifs utilisés par m³ en circuit ouvert sont plus faibles qu'en circuit fermé. Cependant, les quantités totales d'agents chimiques requises pour une fonction équivalente de refroidissement peuvent être plus élevées en circuit ouvert, en raison des larges volumes d'eau utilisés. L'ajout de ces additifs n'a pas d'impact sur la catégorie « consommation d'eau » mais bien sur les autres catégories. En effet, les flux élémentaires liés à la production de tels agents chimiques et leurs émissions dans l'eau libérée doivent être inventoriés dans les LCI correspondants, par exemple dans les éco-profils des plastiques.

Il faudrait par ailleurs attribuer un impact différent à une consommation d'eau en fonction du lieu d'extraction. En effet, les prélèvements dans les nappes phréatiques empêchent que cette eau soit à nouveau disponible sous cette même forme pour d'autres usages et en font donc une ressource limitée.

Les données actuellement disponibles (en particulier les éco-profils pour la production des polymères) ne permettent pas d'identifier les parts des différentes provenances de l'eau. Il n'est donc pas possible d'élaborer une méthodologie fine d'évaluation d'impact qui ne considérerait, par exemple, que la consommation d'eau de certaines provenances. De même, il n'est pas toujours possible de distinguer les différents types d'usage de l'eau.

Les résultats de cette catégorie d'impacts sont donc à utiliser avec précaution étant donné les différentes limites présentées ci-dessus.

IV.5.2. CATEGORIES D'IMPACTS EXCLUES

Les catégories d'impacts suivantes ont été exclues :

Toxicité/écotoxicité

Trois éléments limitent l'utilisation de ces facteurs de caractérisation basés sur la méthodologie 'Uniform System for the Evaluation of Substances' 2.0 (USES 2.0) en vue d'une évaluation quantitative et fiable des impacts en termes de toxicité/éco-toxicité.

- Le calcul des impacts selon la méthode ACV ne tient pas compte de l'existence éventuelle de valeurs de « No Observable Effect Levels (NOEL) » ou d'autres valeurs seuils (à partir desquelles seulement une substance peut entraîner des effets), ni des effets non linéaires ou des synergies entre polluants.
- Les inventaires des procédés sont souvent incomplets en raison du manque de disponibilité des données. Les données d'inventaire exploitées par les indicateurs de toxicité sont dans la plupart des cas des informations qui ne font pas l'objet d'un suivi réglementaire et qui souffrent d'une incertitude extrêmement importante.
- Les données toxicologiques exploitées par les praticiens de l'ACV sont souvent des données toxicologiques ad hoc qui ne sont pas comparables.

De plus, les émissions contribuant à la toxicité/écotoxicité ont des effets à l'échelle locale ou régionale autour du lieu d'émission. L'impact dépend fortement du lieu d'émission et du milieu

récepteur. Les conditions d'exposition devraient être bien définies, ce qui suppose de pouvoir apprécier les dynamiques d'émission dans l'espace et dans le temps. Compte tenu de leur mode de comptabilisation, les inventaires d'ACV ne permettent pas d'apprécier ces dynamiques.

En raison de ces limites, aucuns résultats ne sont présentés dans ce rapport pour la toxicité humaine.

Destruction de la couche d'ozone stratosphérique" et "Formation de photo-oxydants (ozone troposphérique)

Les catégories d'impacts "Destruction de la couche d'ozone stratosphérique" et "Formation de photo-oxydants (ozone troposphérique)" n'ont pas été étudiées en détails en raison du faible niveau d'émissions associé aux procédés pris en compte.

V. Données et hypothèses

V.1 Sources de données

Il existe deux types de données :

- Des données exprimant des relations physiques entre différents procédés (ex : la production de la bouteille nécessite la production d'un bouchon de HDPE de 2 g)
- Des données relatives aux émissions associées à chaque procédés : les flux élémentaires.

Pour chaque donnée, deux types de sources existent :

- Les sources de données primaires qui sont les données directement collectées auprès de producteurs d'emballages et de leurs fournisseurs.
- Les sources de données secondaires qui sont les données reprises dans les bases de données ACV de référence. Ces données ont été utilisées avec prudence pour s'assurer de leur représentativité par rapport à notre cas d'étude.

Dans le calcul itératif, nous utilisons des fourchettes de valeurs provenant de sources de données secondaires dans les cas où des données primaires ne sont pas disponibles. L'analyse de sensibilité indique quels paramètres ont une grande influence sur les résultats et pour lesquels il est donc nécessaire d'obtenir des données primaires.

Les données primaires collectées dans le cadre de cette étude sont :

- Les matériaux, poids et pertes de production des différents types d'emballages (primaires, secondaires et tertiaires)
- Les consommations d'énergie des usines (l'injection, le soufflage)
- Les transports d'approvisionnement des usines en matières premières
- Les distances de distribution

Les sources de données pour les données secondaires sont principalement celles de la base de données EcoInvent, ainsi que des données collectées par RDC dans le cadre d'autres études. Les sources exhaustives des données secondaires sont fournies dans le tableau ci-dessous.

Tableau V-1 : Données d'inventaire utilisées lors de l'ACV

Procédé	Source	Année	Utilisation
Production emballages primaires (bouteille, bouchon et étiquette)			
Polyethylene Terephthalate (PET) (Bottle grade resin)	Eco-profiles of the European Plastics Industry (PlasticsEurope)	2010	Production du PET grade bouteille ¹⁴
Polyethylene Terephthalate (PET) (amorphous resin)	Basé règle de trois suivant l'éco-profil de PlasticsEurope - 2010 et l'éco-profil de PlasticsEurope - 2005	2010 2005	Production du PET grade amorphe
High density polyethylene (HDPE) resin	Eco-profiles of the European Plastics Industry (PlasticsEurope)	2005	Production du PEHD pour les bouchons ¹⁵
Polypropylene (PP) injection moulding	Eco-profiles of the European Plastics Industry (PlasticsEurope)	2005	Production et mise en forme du PP pour les bouchons
Paper, woodcontaining, LWC, at plant, RER	DB Ecoinvent v2.01 procédé n°1715	2007	Production de l'étiquette en papier
Polypropylene oriented film (o-PP)	Eco-profiles of the European Plastics Industry (PlasticsEurope)	2005	Production et mise en forme de l'étiquette en o-PP
Polyethylene Terephthalate (PET) (film)	Eco-profiles of the European Plastics Industry (PlasticsEurope)	2005	Production et mise en forme de l'étiquette en PET
Production emballages secondaires (film et poignée)			
Low Density Polyethylene (LDPE)	Eco-profiles of the European Plastics Industry (PlasticsEurope)	2005	Production du LDPE
Production emballages tertiaires (palette, film de palettisation, intercalaire)			
Euro flat pallet	DB EcoInvent v2.01 procédé n°2526	2007	Production palette
Corrugated board base paper testliner	DB EcoInvent v2.01 procédé n°1685 (adapté concernant la modélisation de la consommation de la ressource bois)	2007	Production de carton ondulé

¹⁴ Pour la mise en forme de la bouteille (cf. V.6 Consommation des sites de production)

¹⁵ La mise en forme du bouchon (injection) est modélisée par une consommation électrique de 1 kWh/kg

Corrugated board base paper kraftliner	DB EcoInvent v2.01 procédé n°1683 (adapté) concernant la modélisation de la consommation de la ressource bois)	2007	Production de carton ondulé
Low Density Polyethylene (LDPE)	Eco-profiles of the European Plastics Industry (PlasticsEurope)	2005	Production du LDPE
Couches barrières			
Nylon 66	Eco-profiles of the European Plastics Industry (PlasticsEurope)	2005	Production de nylon
titanium dioxide, production mix, at plant, RER	DB Ecoinvent v2.01 procédé n°355	2007	Production d'oxyde de titane
Ethylene vinyl acetate copolymer, at plant	DB Ecoinvent v2.01 procédé n°1818	2007	Production d'EVOH
Energie			
Electricity, nuclear, at power plant, UCTE	DB Ecoinvent v2.01 procédé n°1456	2007	Production d'électricité
Electricity, hard coal, at power plant, UCTE	DB Ecoinvent v2.01 procédé n°861	2007	Production d'électricité
Electricity, natural gas, at power plant, UCTE	DB Ecoinvent v2.01 procédé n°1376	2007	Production d'électricité
Electricity, natural gas, at combined cycle plant, best technology, RER	DB Ecoinvent v2.01 procédé n°1375	2007	Production d'électricité
Electricity, oil, at power plant, UCTE	DB Ecoinvent v2.01 procédé n°6047	2007	Production d'électricité
Electricity, hydropower, at power plant, FR	DB Ecoinvent v2.01 procédé n°933	2007	Production d'électricité
Electricity, at wind power plant, RER	DB Ecoinvent v2.01 procédé n°2293	2007	Production d'électricité
Heat, natural gas, at boiler modulating <100kW, RER	DB Ecoinvent v2.01 procédé n°1349	2007	Production de chaleur
Heat, light fuel oil, at boiler 100kW, non-modulating, CH	DB Ecoinvent v2.01 procédé n°1584	2007	Production de chaleur
Transports			
Camions 16-32 t	RDC sur base de Copert IV	2007	Transport des matières premières, Transport des granules, bouchons, étiquette et distribution

Benne à ordures ménagères	RDC sur base de « Les Bennes à Ordures Ménagères écologiques – Quelles solutions pour les réseaux, octobre 2003; publication de l'ADEME »	2007	Benne à ordures ménagères pour les collectes
Recyclage			
Recyclage PET en PET bottle grade	Eco-profil pour le PET recyclé en résine Supercycle développé par PWC – Ecobilan (2008) (Etape 1 et 2)	2008	Recyclage du PET (bottle grade)
Recyclage PET en PET amorphous grade	Eco-profil pour le PET recyclé en résine Supercycle développé par PWC – Ecobilan (2008) (Etape 1)	2008	Recyclage du PET (amorphous grade)
Recyclage du PEHD	Modélisation RDC ¹⁶	2007	Recyclage du PEHD et du PP
Incinération et enfouissement			
Disposal, polyethylene terephthalate, 0.2% water, to municipal incineration, CH	DB Ecoinvent v2.01 procédé n°2113	2007	Incinération de PET
Disposal, polyethylene terephthalate, 0.2% water, to sanitary landfill, CH	DB Ecoinvent v2.01 procédé n°2231	2007	Enfouissement de PET
Disposal, packaging paper, 13.7% water, to municipal incineration, CH	DB Ecoinvent v2.01 procédé n°2106	2007	Incinération de papier
Disposal, packaging paper, 13.7% water, to sanitary landfill, CH	DB Ecoinvent v2.01 procédé n°2226	2007	Enfouissement de papier
Disposal, polyethylene, 0.4% water, to municipal incineration, CH	DB Ecoinvent v2.01 procédé n°2114	2007	Incinération de PE
Disposal, polyethylene, 0.4% water, to sanitary landfill, CH	DB Ecoinvent v2.01 procédé n°2232	2007	Enfouissement de PE
Disposal, polypropylene, 15.9% water, to municipal incineration, CH	DB Ecoinvent v2.01 procédé n°2115	2007	Incinération de PP
Disposal, polypropylene, 15.9% water, to sanitary landfill, CH	DB Ecoinvent v2.01 procédé n°2233	2007	Enfouissement de PP

¹⁶ Données collectées directement auprès de 3 recycleurs européens, avec visite de site

V.2 Mix énergétiques pris en compte

Pour rappel les mix électriques peuvent être définis de plusieurs manières (Annexe 1 : Modélisation de la production d'électricité) :

- **L'approche attributionnelle** décrit la situation actuelle et considère l'ensemble des moyens de production d'électricité figé (production nationale moyenne attribuable au consommateur que l'on étudie).
- Au contraire, **l'approche conséquentielle** recherche à modéliser les effets à moyen et long terme (les conséquences) de la décision d'un acteur de consommer davantage.

V.2.1. CAS DE BASE

En cas de base, la modélisation prend en compte les **mix attributionnels en moyenne annuelle** publiés officiellement par chaque pays ou zone géographique. Ces mix sont les plus souvent utilisés dans les études ACV antérieures et sont présentés pour assurer la comparaison des résultats avec d'autres études

V.2.2. VARIANTES

En analyse de sensibilité, un autre mix électrique est étudié : le mix électrique **conséquentiel** des pays ou zones géographiques adaptés au profil de consommation des différents acteurs, à savoir :

- soit un mix adapté à une consommation continue (cas des usines de productions des matières premières et de régénération)
- soit un mix adapté à une consommation 5 jours sur 7 de jour (cas des usines de production des bouteilles).

Pour rappel, la méthodologie utilisée pour le calcul des mix électriques consécutifs adaptés au profil est présentée à l'Annexe 6 : Comment sont déterminés les mix électriques (en anglais)?.

Tableau V-2 : Utilisation des mix d'électriques pour les principaux procédés consommateurs

Procédés	Mix attributionnel en moyenne annuelle		Mix conséquentiel adaptés au profil	
	France	Europe	France	Europe
Procédés de production des composants de la bouteille				
Production PET		X		(Préconisé) ¹⁷
Mise en forme de la bouteille en PET (injection, soufflage)			X	
Production des bouchons (PEHD et PP)		X		(Préconisé) ¹⁸
Mise en forme des bouchons			X	

¹⁷ Préconisé mais non réalisable étant donné qu'il n'est pas possible d'isoler les consommations électriques. En effet, les procédés sont agrégés et de plus les consommations d'électricité utilisées correspondent à une moyenne pondérée des différents moyens de production utilisés pour chacune des installations étudiées pour élaborer le LCI.

¹⁸ Idem note de bas de page précédente

Procédés	Mix attributionnel en moyenne annuelle		Mix conséquentiel adaptés au profil	
	France	Europe	France	Europe
Régénération des composants de la bouteille				
Régénération bouteille en PET	X ¹⁹		(Préconisé) ²⁰	
Régénération bouchon en PEHD et PP			X	
Incinération				
Récupération d'électricité			X	
Centre de tri				
Consommation électrique pour le fonctionnement du centre de tri			X	
Composition du mix	Nucléaire : 78.08% Gaz : 3.16% Charbon : 4.89% Pétrole : 1.77% Hydraulique : 11.1% Eolien : 0.4% Biomasse : 0.21% Déchets : 0.39%	Nucléaire : 30.12% Gaz : 22.49% Charbon : 28.94% Pétrole : 5.73% Renouvelables non spécifiées : 1.49% Hydraulique : 8.45% Eolien : 2.78%	Nucléaire : 91.44% Gaz : 2.68% Charbon : 1.68% Pétrole : 1.14% Renouvelables non spécifiées : 3.06%	Nucléaire : 40.73% Gaz : 20.56% Charbon : 32.79% Pétrole : 0.42% Renouvelables non spécifiées : 5.50%
	UCTE 2006		Modélisation RDC sur base des données de production fournies par les gestionnaires de réseau en Belgique (Elia) et en France (RTE) (2006)	
g éq. CO₂/kWh	90	509 ²¹	47	492

¹⁹ Mix électrique utilisé dans le cadre du LCI du PET recycle en résine Supercycle (PWC – Ecobilan 2008)

²⁰ Préconisé mais non réalisable étant donné qu'il n'est pas possible d'isoler les consommations électriques. En effet, les procédés sont agrégés.

²¹ Cette valeur en g éq CO₂/kWh pour le mix électrique européen résulte des inventaires de cycle de vie utilisée pour la production d'électricité et diffère des valeurs mentionnées dans IEA 2003 à savoir 460 g éq CO₂/kWh.

Remarque :

- Le mix électrique français comprend beaucoup de nucléaire, il est donc faiblement impactant d'un point de vue contribution à l'effet de serre. Toutefois, ce n'est pas le cas pour d'autres catégories d'impacts telles que la consommation de ressources énergétiques non renouvelables.
- Les inventaires de cycle de vie utilisés représentent la moyenne des technologies européennes de production d'électricité et ne sont donc pas spécifiques à la France.

V.3 Emballages primaires

V.3.1. POIDS ET MATERIAUX

Les poids des emballages primaires sont repris dans les tableaux ci-dessous. Les bouteilles sont accompagnées d'un bouchon et d'une étiquette. Ces données sont issues de la base de connaissance des commanditaires et de RDC.

Tableau V-3 : Caractéristiques et poids des emballages primaires (g/bouteille) – Bouteille monocouche non colorée – 1.5l

		Moyenne	Source
Poids Bouteille PET		32	RDC – Contacts avec différents fabricants(5) – 2006-2009
Volume Bouteille PET		1.5 l/bout	
Poids Etiquette	Papier	1.1	
	oPP	1.05	
	PET	1.8	
Poids Bouchon	HDPE	2.55	
	PP	2.55	

Note : Le poids de la bouteille PET de 1.5l diffère entre les liquides plats et gazeux²² :

- Liquides plats : 26-32g/bouteille
- Liquides gazeux : 32-38g/bouteille

²² Source : Etude de marché en Belgique (réalisée par RDC sur base de différentes études menées) et validation par les commanditaires

Les données du tableau ci-dessous seront utilisées uniquement pour l'étude des barrières :

Tableau V-4 : Caractéristiques et poids des emballages primaires (g/bouteille) – Bouteille monocouche non colorée – 0.5l

		Moyenne	Source
Poids de la bouteille PET		15	RDC – Contacts avec différents fabricants (5) – 2006-2009
Volume Bouteille PET		0.5 l/bout	
Poids Etiquette	Papier	1	RDC – Contacts avec différents fabricants(5) – 2006-2009
	oPP	1	
	PET	1	
Poids Bouchon	HDPE	2.55	
	PP	2.55	

Dans le cadre d'une bouteille additivée, le poids de la bouteille est considéré comme identique, mais une partie du PET est substituée par de l'additif, de l'opacifiant ou de colorant, dans les proportions indiquées ci-dessous :

Tableau V-5 : Taux d'incorporation moyen d'additifs, colorants et opacifiants – Bouteilles 0.5l

		Moyenne	Source
Blend 50% Nylon 50% EVOH	%wt₂₃	x = 2%	RDC - Contacts avec un convertisseur et recherche dans la littérature - 2009
Opacifiant TiO₂	%wt	x = 1%	RDC – Contacts avec différents producteurs (5) 2006-2009
Multicouche Nylon	%wt	x = 5%	RDC - Contacts avec un convertisseur et recherche dans la littérature 2009
Multicouche EVOH	%wt	x = 5%	RDC - Contacts avec un convertisseur et recherche dans la littérature 2009
Monocouche Rouge	%wt	x=0%	/

²³ %wt : pourcentage massique

Remarque :

- %wt : pourcentage massique de la bouteille.
- Etant donné l'accès difficile aux données concernant la production des colorants, le colorant est modélisé comme étant du PET.

La fonctionnalité du logiciel « *RangeLCA* » permet de prendre en compte l'ensemble des valeurs comprises entre deux valeurs extrêmes connues en attribuant une probabilité d'occurrence à chaque valeur. Cette fonctionnalité est appliquée pour ces paramètres caractéristiques de manières à refléter l'ensemble des situations existant sur le marché.

V.3.2. RECYCLABILITE²⁴

Pour protéger le contenu ou pour des raisons marketing, les bouteilles peuvent contenir des additifs, colorants ou opacifiants. Ceux-ci font appel à des matériaux qui ont des propriétés différentes de celle du PET, et vont donc avoir une influence lors du recyclage des bouteilles et flacons en PET. Cette influence sera fonction :

- de la nature et de la quantité de l'additif, du colorant ou de l'opacifiant utilisé
- de l'utilisation de compatibilisants entre le PET et l'additif, le colorant ou l'opacifiant utilisé
- de la séparabilité de cet additif, colorant ou opacifiant lors des différentes phases de régénération

Une bouteille additivée, colorée ou opacifiée peut soit être :

- Orientée en application fibre
- Orientée en application bouteille
- Ejectée au cours du processus de tri/recyclage et donc non recyclée

V.3.2.1 Conséquences lors du recyclage suivant le type d'additif, de colorant ou d'opacifiant

- Multicouche ou blend en Nylon/EVOH

La présence de bouteilles et flacons multicouches ou blend à base de Nylon/EVOH n'entraîne pas de problèmes majeurs lors de l'étape de régénération.

Toutefois, leur présence peut entraîner un éventuel jaunissement et une éventuelle opacification des granules de RPET, ces bouteilles sont donc orientées prioritairement vers des applications fibres.

- Opacifiant

La présence d'agents opacifiants (sous forme de mélange maîtres tels que le TiO₂ et le mica) dans le PET :

- entraîne une opacification des granules de RPET régénérés. Le RPET régénéré à partir de bouteilles opaques ne peut donc pas convenir pour des applications bouteilles (où l'on recherche la transparence du RPET).
- empêche l'utilisation de PET pour le cerclage. Le RPET régénéré à partir de bouteilles ne peut donc pas convenir pour des applications de cerclage

En conséquence, les bouteilles en PET opaque sont orientées par les recycleurs vers des applications fibres.

²⁴ Source : COTREP et http://www.pack4recycling.be/fr/plastiques_boutflacons_pet_autres.html

- Colorants

Actuellement, 3 catégories de bouteilles colorées peuvent être distinguées :

- Bleu et vert clair : orientation possible vers des applications bouteille
- Rouge et orange foncé : leur présence modifie la couleur du granulé de RPET dans des proportions qui ne correspondent pas à la demande sur le marché. Actuellement, ces bouteilles sont éjectées par certains recycleurs et non recyclées.
- Autres teintes : les autres types de bouteilles colorées ne peuvent convenir pour des applications bouteilles et sont donc orientées vers des applications fibre.

V.3.2.2 Modélisation dans le cadre de cette étude

Etant donné que le rapport surface/volume est plus grand pour les bouteilles de petits volumes, les additifs barrières et opacifiants sont majoritairement utilisés pour ces petits volumes. Ainsi, l'impact des additifs, colorants et opacifiant sur la recyclabilité des bouteilles PET est dans le cadre de cette étude uniquement analysé pour des bouteilles PET de volume 0,5l.

Le tableau ci-dessous présente les modélisations effectuées dans cette étude.

Tableau V-6: Modélisation de la recyclabilité des différents types de bouteilles 0.5l dans le cadre de cette étude

	1	2	3	4	5	6	7
Caractéristiques de la bouteille	Monocouche <u>sans</u> additif	Monocouche <u>sans</u> additif	Multicouche <u>avec</u> additif Nylon	Multicouche <u>avec</u> additif EVOH	Blend 50% EVOH 50% Nylon	Monocouche <u>sans</u> additif	Monocouche sans <u>additif</u>
	<u>Sans</u> colorant	<u>Sans</u> colorant	<u>Sans</u> colorant	<u>Sans</u> colorant	<u>Sans</u> colorant	<u>Sans</u> colorant	<u>Avec</u> colorant rouge
	<u>Sans</u> opacifiant	<u>Sans</u> opacifiant	<u>Sans</u> opacifiant	<u>Sans</u> opacifiant	<u>Sans</u> opacifiant	<u>Avec</u> opacifiant TiO2	<u>Sans</u> opacifiant
<u>Devenir de la bouteille collectée sélectivement</u>	Application bouteille	Application fibre					Non recyclé (57% incinération, 43% enfouissement)
Fin de vie en cas de non recyclage	57% incinération 43% CSDU						

La situation moyenne française pour les applications de RPET est présentée à la Figure 1.

V.3.3. COLLE DES ETIQUETTES

Tableau V-7 : Poids de colle par étiquette (g/étiquette)

	Moyenne	Source
Poids de colle/étiquette	0.14	RDC – Contacts avec différents producteurs (5) 2006-2009

V.3.4. TAUX DE PERTES (OU FREINTE)

Pour la production de chaque emballage, des pertes à la production sont considérées. Ces pertes signalent qu'en moyenne un certain pourcentage est perdu à la fabrication de l'emballage. Il faut donc appliquer un facteur correctif sur les données de poids fournies afin de connaître la matière réellement nécessaire à la production d'une bouteille.

La quantité de matière à mobiliser est donc :

$$Q = Q_{pf} / (1 - \%p)$$

Où :

Q : quantité de matériau entrante pour fabriquer le produit fini (ex : la bouteille)

Q_{pf} : poids du produit fini

%p : pourcentage de pertes

Dans le cadre de cette étude, il est considéré que 100 % des pertes sont recyclées (ce qui a été confirmé par les usines lors de précédentes études).

Tableau V-8 : Taux de pertes (en % de l'entrant en production)

Pertes (%)	Moyenne	Source
Bouteille	2%	RDC – Contacts avec différents producteurs (5) 2006-2009
Etiquette	1%	
Bouchon	0.5%	

V.3.5. TAUX DE MATIERE RECYCLEE

Dans le cadre de cette étude, le taux moyen d'incorporation de PET recyclée dans la bouteille est de 25%, ce qui correspond à la pratique moyenne actuelle d'incorporation.

V.4 Emballages secondaires et tertiaires

Les poids des emballages secondaires et tertiaires sont repris dans les tableaux ci-dessous.

Tableau V-9 : Caractéristiques et poids des emballages secondaires et tertiaires pour les bouteilles de 1.5l

Bouteille de 1.5l		
Emballages secondaires		
Nb bouteilles/pack	6	RDC – Contacts avec différents producteurs 2006-2009
Poids film PEBD/pack	18 g	
Emballages tertiaires		
Poids intercalaire en carton /palette	1600 g/palette	RDC – Contacts avec différents producteurs 2006-2009
Nombre de bouteilles/palette	438-672	
Poids de film PEBD de palettisation étirable/palette	860 g/palette	
Poids d’une palette	22-28 kg	
Nombre d’utilisation d’une palette	20 utilisations	

Note : Les palettes peuvent être banderolées sous film étirable ou coiffées d'une housse thermorétractable.

Tableau V-10 : Caractéristiques et poids des emballages secondaires et tertiaires pour les bouteilles de 0.5l

Bouteille de 0.5l		
Emballages secondaires – pack 6		
Nb bouteilles/pack	6	RDC – Contacts avec différents producteurs 2006-2009
Poids film PEBD/pack	10 g	
Emballages secondaires – pack 24 (4x6)		
Nb bouteilles/pack	24	RDC – Contacts avec différents producteurs 2006-2009
Poids carton/pack	40 g	
Emballages tertiaires		
Poids intercalaire en carton /palette	3200 g/palette	RDC – Contacts avec différents producteurs 2006-2009
Nombre de bouteilles/palette	1248-2016	
Poids de film PEBD de palettisation étirable/palette	860 g/palette	
Poids d’une palette	22-28 kg	
Nombre d’utilisation d’une palette	20 utilisations	

V.5 Transport

V.5.1. TRANSPORT DES MATIERES PREMIERES

Les distances de transport et les hypothèses retenues dans le modèle sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau V-11 : Distance – Transport matières premières (km)

	Moyenne	Source
Emballages I - Granules PET	500	RDC – Contacts avec différents producteurs (5)
Bouchons	1000	
Étiquettes	400	
Emballages II (film)	250	
Emballages III (film, intercalaire, palette)	250	

Note : il est considéré qu'en France, dans 70% des cas, l'injection et le soufflage ont lieu sur un même site. Pour les 30% des cas restant, une distance de 300 km en moyenne entre les sites d'injection et de soufflage (modélisation par un log Normal avec une moyenne à 300 km et un minimum à 50 km) est modélisée.

V.5.2. DISTRIBUTION

V.5.2.1 Distances

Les distances de distribution sont présentées dans le tableau ci-dessous, elles se composent d'un trajet vers un dépôt/centre de regroupement avant l'acheminement vers le point de vente.

Les distances de transport, les taux de chargement maximum et le taux de retour à vide²⁵ pour sont repris dans le tableau ci-après.

²⁵ Le taux de retour à vide est défini comme le rapport entre la distance parcourue à vide et la distance parcourue chargé. Il est souvent confondu avec le taux de distance à vide qui est défini par le rapport entre la distance parcourue à vide et la distance totale parcourue (à vide + chargé).

Tableau V-12 : Distances de distribution (km)

Trajets		Nb km	Chargement max du camion (t)	Taux de retour à vide
Distance vers dépôt/centre de regroupement (fixe)	Minimum	100	24	28%
	Moyenne	600 ²⁶		
	Maximum	1100		
Distance moyenne du centre de regroupement vers magasins	Minimum	50	24	60% ²⁷
	Moyenne	200 ²⁸		
	Maximum	350		

La distance moyenne totale est de 800 km.

Une allocation massique des distances de distribution entre le couple produit-emballage est appliquée dans le cadre de cette étude.

La consommation se situe à environ 60 l/100 km.

Terminologie :

- Taux de retour à vide

$$\frac{\text{Part_du_trajet_à_vide}}{\text{Part_du_trajet_à_plein}} = 27,9\% = \frac{2841}{10187}$$

- Taux de distance à vide (vocabulaire utilisé par le MEEDDeM et l'ADEME) :

$$\frac{\text{Part_du_trajet_à_vide}}{\text{Trajet_total_}(plein + vide)} = 21,8\% = \frac{2841}{2841 + 10187}$$

V.5.2.2 Palettisation

Tableau V-13 : Nombre de palettes par camion

	Trajet vers dépôt	Trajet vers magasins
Nb palettes /camion	800x1200 mm : 33 1000x1200 mm : 26	

Les deux types de palette ont été modélisés.

²⁶ Etude ADEME (2008) - Bilan des connaissances économiques et environnementales sur la consigne des emballages boissons et le recyclage des emballages plastiques

²⁷ Sur base de contacts avec un logisticien

²⁸ Etude ADEME (2008) - Bilan des connaissances économiques et environnementales sur la consigne des emballages boissons et le recyclage des emballages plastiques

V.5.3. COLLECTES

- Collecte sélective : 60 km BOM²⁹/t³⁰.
- Collecte non-sélective: 9 km BOM/t³¹.

V.5.4. TRANSPORT LIE A LA REGENERATION

Tableau V-14 : Données considérées pour les distances du centre de tri jusqu'au régénérateur³²

Distance moyenne du centre de tri au recycleur (km)	Charge du camion (t)	Taux de retour à vide (%)	Consommation (l/100 km)
420	15.5	28%	60

V.6 Consommation des sites de production

V.6.1. BOUTEILLES EN PET

Dans un premier temps, nous avons déterminé la consommation énergétique des étapes suivantes :

- Injection en préformes
- Soufflage des bouteilles en PET

Les variations entre les données des sites peuvent provenir des caractéristiques des sites.

Les tableaux suivants donnent les consommations moyennes calculées sur base des données des usines.

Tableau V-15 : Consommations d'électricité des usines pour l'étape d'injection et de soufflage (kWh / kg)

	Moyenne	Source
Injection et soufflage	1.5	RDC - Contacts avec un convertisseur actif au niveau européen et mondial

Note :

Afin de vérifier la robustesse des données utilisées, une rapide analyse des données disponibles dans la littérature et des contacts pris avec des convertisseurs permettent de proposer la gamme de valeurs suivantes pour l'injection et le soufflage :

²⁹ Benne à ordures ménagères

³⁰ Source : Déchets ménagers - leviers d'améliorations des impacts environnementaux, ADEME – Eco-Emballages 2001

³¹ Source : Déchets ménagers - leviers d'améliorations des impacts environnementaux, ADEME – Eco-Emballages 2001

³² Source : Eco-Emballages (2007)

- Eco-profiles of the European Plastics Industry (PlasticsEurope) – 2005 : 1.803 kWh/kg
- Meilleures technologies actuellement disponibles : 1.2 kWh/kg (Contacts avec un convertisseur)

De même, en France, dans 30% des cas, l'injection et le soufflage ont lieu sur des sites différents et 70% sur un même site. Dans cette étude, il est considéré que dans les 2 cas, l'énergie de réchauffage des préformes est la même.

V.7 Fin de vie

Le tableau ci-dessous reprend les données/hypothèses reprises dans cette étude pour la fin de vie des emballages primaires.

V.7.1. EMBALLAGES PRIMAIRES

V.7.1.1 PET

Le taux de recyclage moyen est défini par :

$$\frac{\text{Tonnage collecté et dirigé vers les filières de recyclage}}{\text{Gisement emballages ménagers en PET mis sur le marché}}$$

Le taux de recyclage moyen est égale à 50% (source Eco-Emballages/ Valorplast 2009).

Les bouteilles en PET qui ne sont pas collectées sélectivement ou qui sont éjectées lors du tri sont éliminées.

L'élimination se répartit entre l'enfouissement et l'incinération.

Tableau V-16 : Taux d'incinération et d'enfouissement

Taux d'incinération	57 %
Taux d'enfouissement	43 %
Source	ADEME Enquête Collecte 2007 - Edition Juin 2009 – p3

Le tableau ci-dessous indique les taux de récupération net d'énergie retenus dans le cadre de notre étude ainsi que les sources.

Tableau V-17 : Taux de récupération net d'énergie par les incinérateurs

Rendement électrique	8 %
Rendement thermique	20 %
Source	Données ADEME 2007³³

Note : Les bouteilles éjectées et non recyclées lors du processus de recyclage sont considérées comme étant orientée vers l'incinération et l'enfouissement suivant les mêmes proportions que celles présentées dans le Tableau V-16.

³³ Sur base de l'inventaire ITOM.

V.7.1.2 Etiquettes et bouchons

Dans cette étude, il est considéré que les bouchons sont collectés à 100% avec les bouteilles et que les bouchons éjectés lors du tri chez les recycleurs de bouteilles sont considérés comme étant orienté à 100% vers une filière de recyclage. C'est pourquoi, le taux de recyclage des bouchons est donc équivalent à celui des bouteilles.

De même, dans cette étude, il est considéré que les étiquettes sont collectées à 100% avec les bouteilles et que les étiquettes éjectées lors du tri chez les recycleurs de bouteilles sont considérés comme étant orienté à 100% vers une filière de recyclage pour les étiquettes en PP et en O-PP et à 0% pour les étiquettes en papier. C'est pourquoi, le taux de recyclage des étiquettes en O-PP et en PP est donc équivalent à celui des bouteilles.

Les étiquettes en PET sont quant à elles recyclées avec la bouteille et leur taux de recyclage est donc équivalent à celui des bouteilles.

Les étiquettes en papier ne sont pas recyclées et éliminées suivant les proportions suivantes :

Tableau V-18: Taux d'incinération et d'enfouissement du papier pour les industriels

Taux d'incinération	43 %
Taux d'enfouissement	57 %
Source	ADEME Évaluation de la production des déchets des entreprises en 2004

V.7.2. EMBALLAGES SECONDAIRES³⁴

Les emballages secondaires (film) sont considérés comme étant non recyclés chez les ménages et recyclés à hauteur de 50% dans les magasins.

V.7.3. EMBALLAGES TERTIAIRES³⁵

Les palettes sont considérées comme recyclées sous forme de valorisation matière dans 80 % des cas, sous forme de valorisation énergétique dans 16 % des cas et mises en décharge dans 4 % des cas.

Les films de palettisation sont considérés comme non valorisés chez les entrepositaires et valorisés à hauteur de 50 % pour les magasins.

Comme on suppose un recyclage en boucle fermée, on considère un taux de recyclage de 73 % des intercalaires. Le reste est éliminé.

Note : ce taux se base sur le calcul d'une moyenne entre le taux d'incorporation et le taux de recyclage.

³⁴ Données provenant de l'étude ADEME « Emballages industriels : Evaluation environnementale, économique et sociale de l'intérêt comparé entre réutilisation et usage unique ». Ces valeurs ont été validées par la revue critique et un large comité de pilotage reprenant différents représentants des secteurs des boissons.

³⁵ Données provenant de l'étude ADEME « Emballages industriels : Evaluation environnementale, économique et sociale de l'intérêt comparé entre réutilisation et usage unique ». Ces valeurs ont été validées par la revue critique et un large comité de pilotage reprenant différents représentants des secteurs des boissons.

V.8 Qualité des principales sources de données

Procédés	Données clés	Facteur temporel	Facteur géographique	Précision
Production du PET	<ul style="list-style-type: none"> Consommation d'énergie Émissions dans l'air 	2005	Europe	<p>++</p> <p>Données de référence en ce qui concerne les matériaux plastiques.</p> <p>Accès limité à certaines sources de données (exemple : mix électrique)</p>
Recyclage PET	<ul style="list-style-type: none"> Consommation d'énergie Rendement 	2008	France	<p>++</p> <p>Données recueillies directement auprès de recycleurs. L'échantillon n'est pas forcément représentatif de l'ensemble des industries européennes alors que le recyclage en France est encore partiellement européen</p>
Injection / soufflage du PET	<ul style="list-style-type: none"> Consommations électriques 	2008	Europe	<p>++</p> <p>Données recueillies directement auprès d'industriels produisant des bouteilles PET. L'échantillon n'est pas forcément représentatif de l'ensemble des industries européennes.</p>
Véhicules	<ul style="list-style-type: none"> Type de véhicule Norme (Euro) des véhicules considérés 	2000 – 2007	France	<p>++</p> <p>Modélisation sur base de COPERT 4</p>
Procédés d'incinération	<ul style="list-style-type: none"> Émissions dans l'air 	1994-2000	Europe	<p>+</p> <p>Données EcoInvent 2.0. Ne correspond pas forcément aux technologies présentes en France (en particulier en ce qui concerne l'épuration des fumées et des eaux).</p>
Procédés de mise en CSDU (centre de stockage de déchets ultimes)	<ul style="list-style-type: none"> Émissions dans l'air Taux de dégradation 	1994-2000	Europe	<p>-</p> <p>Données EcoInvent 2.0 d'où la DCO liée à la dégradation des plastiques est retirée.</p>

VI. Résultats et analyse

Les résultats présentés dans le chapitre ci-dessous sont des expressions relatives et ils ne prédisent pas les effets sur les impacts finaux par catégorie, le dépassement des seuils, les marges de sécurité ou les risques.

VI.1 Impacts globaux de la bouteille en PET de 1.5l

VI.1.1. BUT DE L'ANALYSE

Cette analyse a pour but de présenter le bilan environnemental d'une bouteille de 1.5l et de mettre en évidence les principales phases contributrices.

VI.1.2. PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DU SYSTEME ETUDIE

L'unité fonctionnelle est définie comme suit : « Emballer³⁶ 1.5l de boissons dans une bouteille en PET (pour acheminer la boisson de son lieu de production à son lieu de consommation) ».

Les hypothèses retenues pour cette partie du rapport sont les suivantes et concernent :

- Principales caractéristiques de la bouteille :
 - Poids moyen : 32 g ³⁷
 - Bouteille **monocouche sans additif, colorant ou opacifiant**
- Principaux paramètres liés au recyclage :
 - **Taux de recyclage** des bouteilles en PET: 50%
 - Utilisation du R-PET pour la production de **bouteilles**
 - **Taux d'incorporation** de R-PET dans la bouteille : 25%
 - **Allocation 50 : 50** pour les bénéfices du recyclage (cf. VIII.2.1.C p. 115)
- Autres paramètres importants :
 - L'allocation du transport des produits se fait sur base du poids de l'emballage dans le couple produit-emballage.
 - Consommation d'électricité à l'injection et au soufflage : 1.5 kWh/kg
 - Distance de distribution :
 - Producteur → Centre de regroupement : 600 km
 - Centre de regroupement → Magasins : 200 km

Les figures suivantes présentent la contribution des différentes phases à différentes catégories d'impacts :

- Effet de serre
- Eutrophisation de l'air et de l'eau
- Acidification de l'air

³⁶ Par l'utilisation d'emballages primaires, secondaires et tertiaires

³⁷ Note : Le poids de la bouteille PET de 1.5l diffère entre les liquides plats et gazeux :

- Liquides plats : 26-32g/bouteille
- Liquides gazeux : 32-38g/bouteille

Source : RDC sur base de différentes études menées et validation par les commanditaires

- Consommation de ressources énergétiques non-renouvelables
- Consommation de ressources - minéraux
- Consommation d'eau

Note importante concernant l'interprétation des graphes ci-dessous:

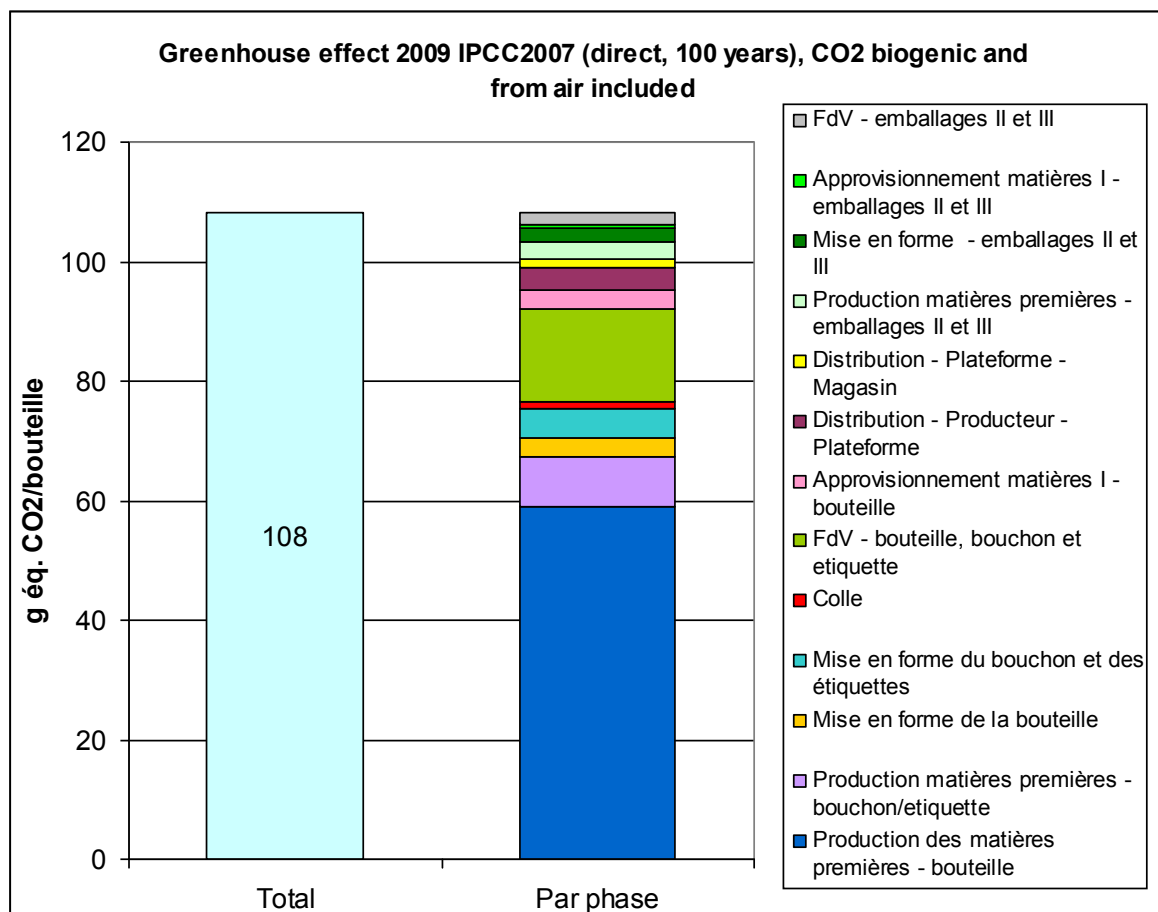
Comme souligné dans le paragraphe ci-dessus, l'allocation des bénéfices du recyclage utilisée dans le cadre de ce point VI.1 est une allocation 50/50. Cela se traduit dans les graphes ci-dessous par la convention suivante :

- 50% des bénéfices de la régénération du PET en fin de vie sont comptabilisés sur le cycle de vie. Ils sont alloués à la phase « fin de vie ». Ces bénéfices résultent du delta entre :
 - Impacts générés par la collecte sélective, le centre de tri, le procédé de régénération du RPET pour l'application fibre) au prorata du taux de recyclage
 - Impacts évitées par la régénération du PET (collecte sélective, production de matière première vierge pour l'application fibre, l'enfouissement, l'incinération) au prorata du taux de recyclage
- 50% des bénéfices de l'incorporation de RPET lors de la production de la bouteille sont comptabilisés sur le cycle de vie. Ils sont alloués à la phase « production ». Ces bénéfices résultent du delta entre :
 - Impacts générés par la production du PET recyclé (la collecte sélective, le centre de tri, le procédé de régénération du RPET pour l'application fibre) en amont de l'utilisation, au prorata du taux d'incorporation de RPET
 - Impacts évitées par l'utilisation du R-PET (production de matière première vierge pour l'application bouteille, l'enfouissement, l'incinération) au prorata du taux d'incorporation de RPET

Sous la dénomination de la phase « fabrication de la bouteille » est reprise l'étape d'injection et de soufflage.

VI.1.3. CONTRIBUTION A L'AUGMENTATION DE L'EFFET DE SERRE

Figure 3 : Contribution à l'augmentation de l'effet de serre – bouteille 1.5l – Allocation 50/50 – R1 = 25% - R2 = 50%

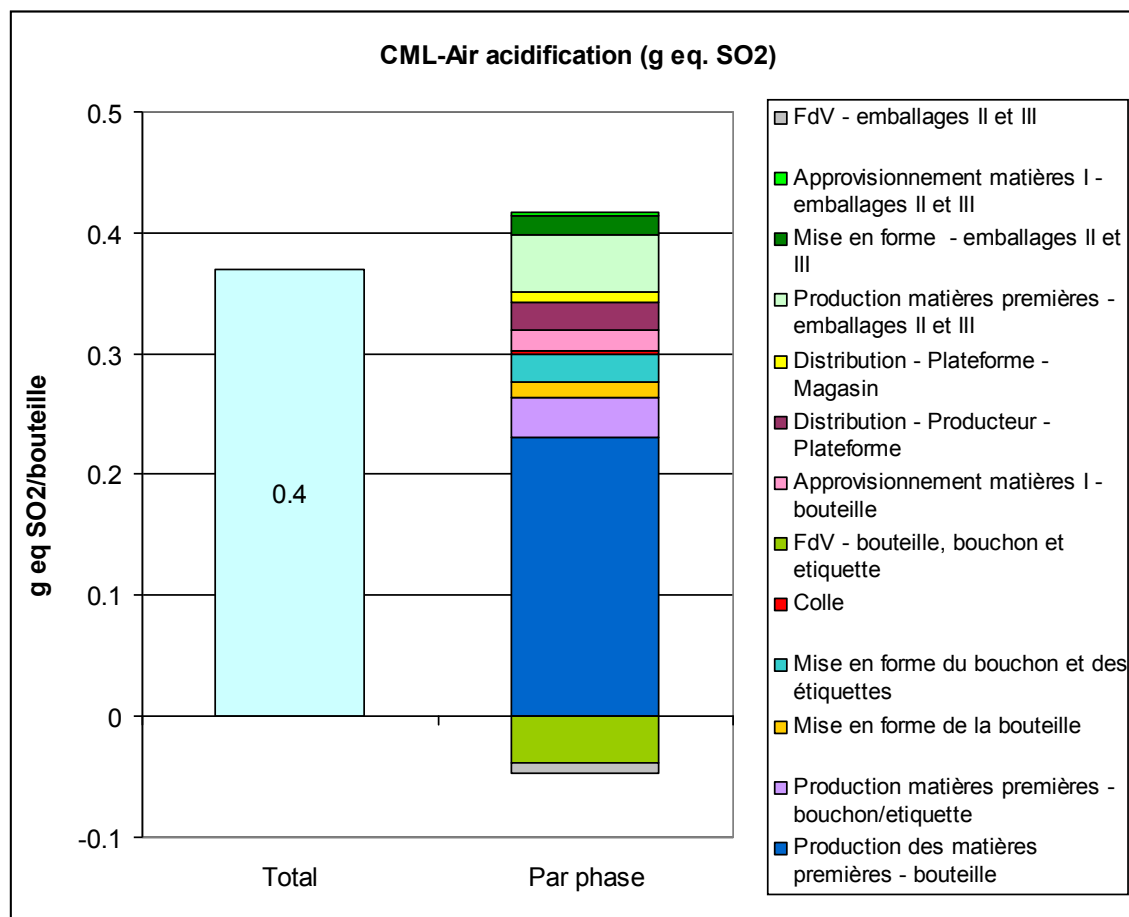


Les phases qui contribuent le plus à l'effet de serre sont :

- La production de matières premières pour la bouteille (PET vierge - grade bouteille) : principalement via des émissions de CO₂ fossile et de méthane
- La production des matières premières pour les bouchons, étiquettes, emballages secondaires et tertiaires
- L'incinération (FdV) : principalement via des émissions de CO₂ fossile résultant de la combustion du PET. La contribution faible du recyclage (économie de matière vierge) vient du faible taux de collecte et de la méthode d'allocation.

VI.1.4. CONTRIBUTION A L'ACIDIFICATION DE L'AIR

Figure 4 : Contribution à l'acidification de l'air – bouteille PET 1.5l – Allocation 50/50 – R1 = 25% - R2 = 50%

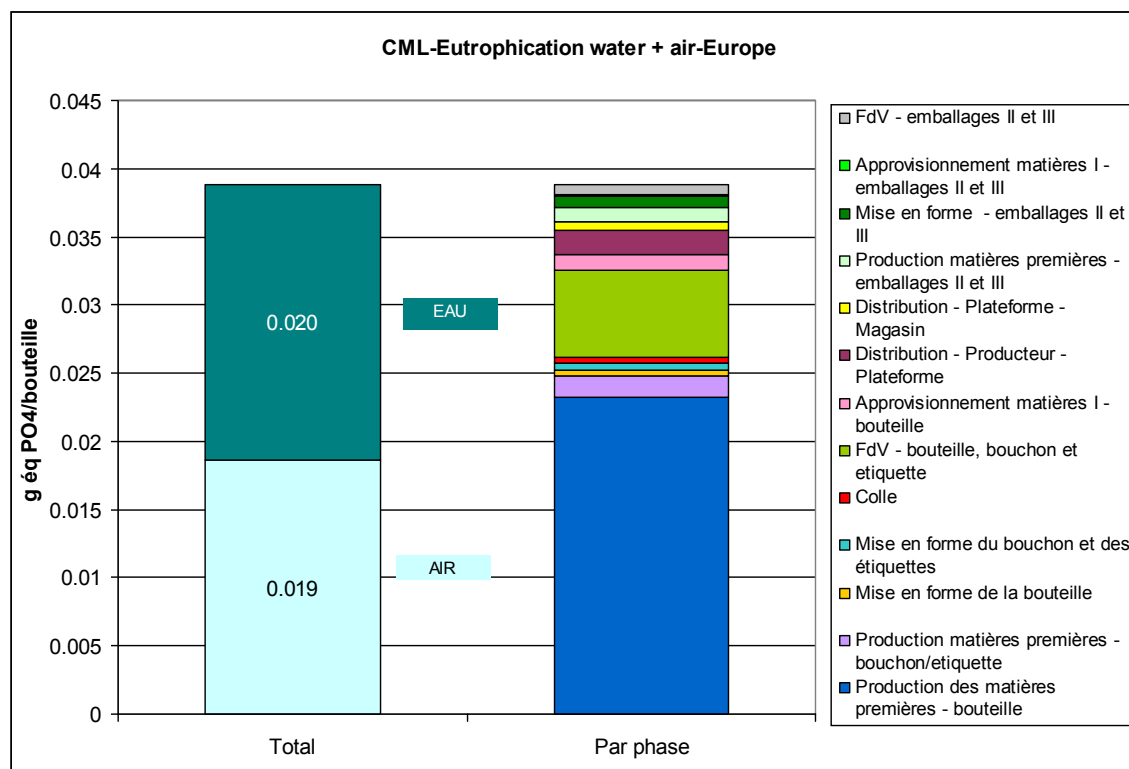


Les phases qui contribuent le plus à l'acidification de l'air sont :

- La production des matières premières pour la bouteille (PET vierge - grade bouteille) : principalement via des émissions de NO_x et de SO_x
- La production des matières premières pour emballages secondaires et tertiaires : principalement via des émissions de NO_x et de SO_x
- Les différents transports pour la distribution des bouteilles : principalement via des émissions de NO_x et de SO_x
- La fin de vie des bouteilles en PET via l'économie de matières vierges et la récupération d'énergie à l'incinération

VI.1.5. CONTRIBUTION A L'EUTROPHISATION

Figure 5 : Contribution à l'eutrophisation– bouteille PET 1.5l – Allocation 50/50 – R1 = 25% – R2 = 50%

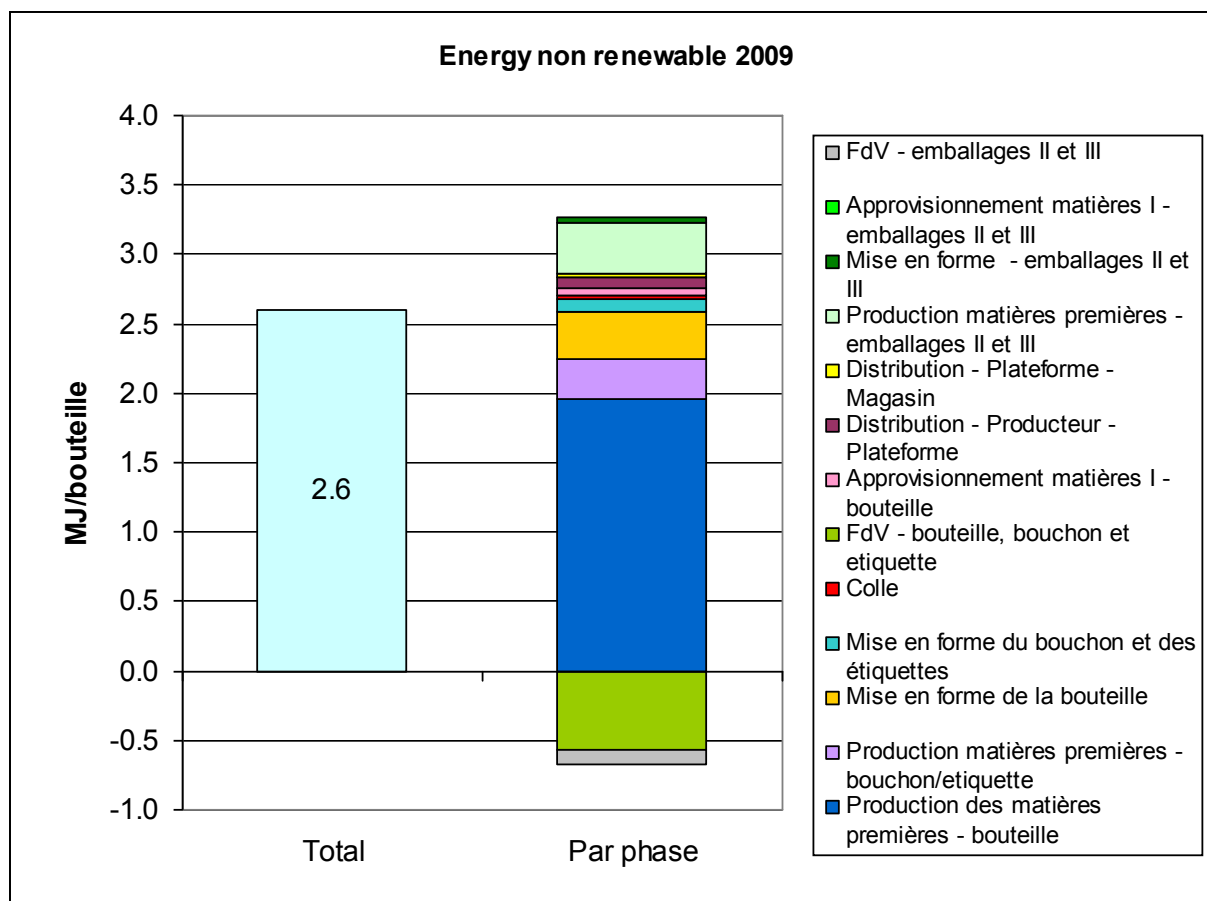


Les phases qui contribuent le plus à l'eutrophisation sont :

- La production des matières premières pour la bouteille (PET vierge - grade bouteille) : principalement via des émissions de NOx et de DCO.
- L'incinération des bouteilles en PET et des emballages II et III.

VI.1.6. CONSOMMATION DE RESSOURCES ENERGETIQUES

Figure 6 : Consommation de ressources énergétiques non renouvelables - bouteille PET 1.5l – Allocation 50/50 – R1 = 25% - R2 = 50%

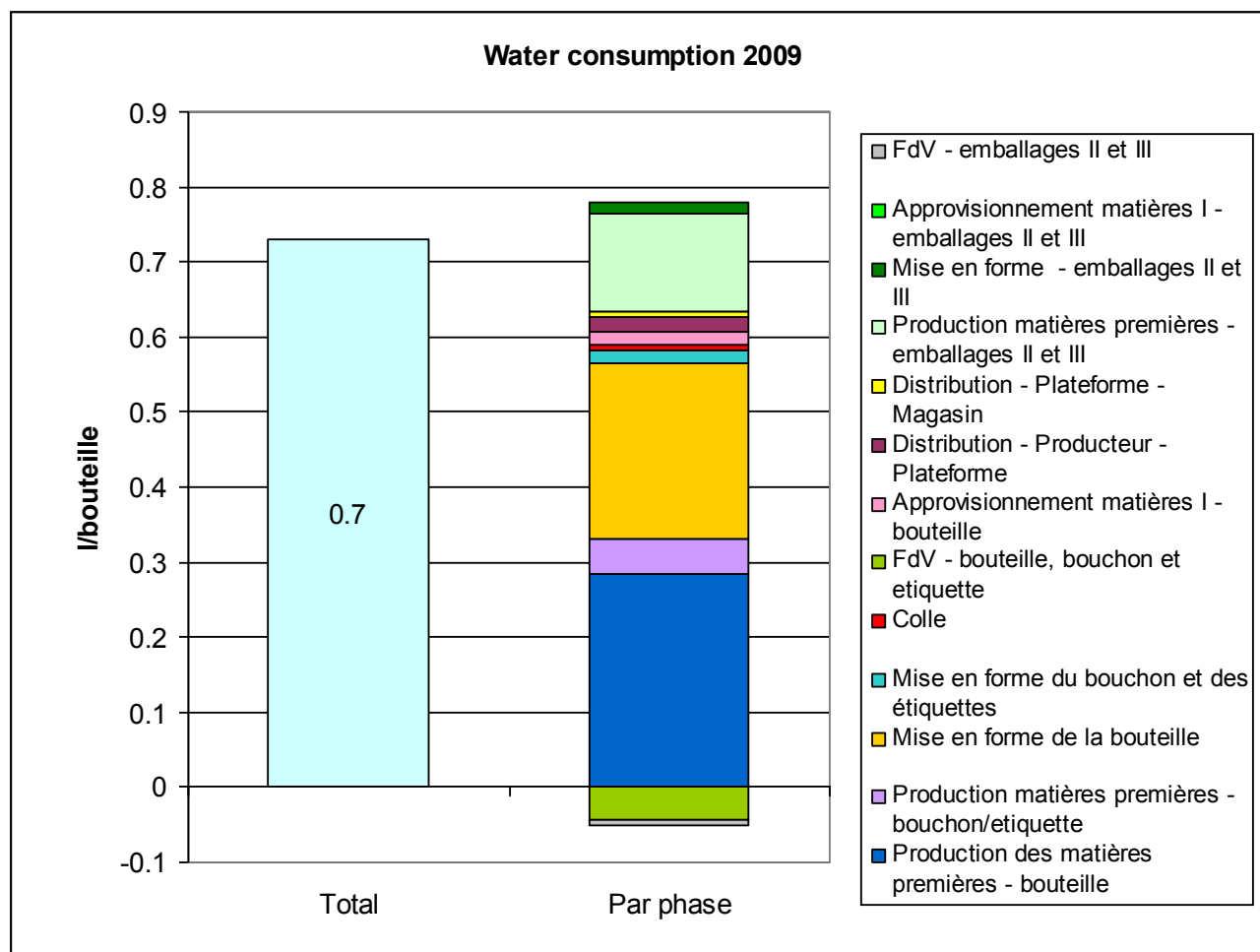


Les phases qui contribuent le plus à la consommation de ressources énergétiques sont :

- La production des matières premières pour la bouteille (PET vierge - grade bouteille), les bouchons et étiquettes
- La production de matières premières pour les emballages secondaires et tertiaires
- La production du diesel pour les différents transports
- Les procédés consommateurs d'électricité tels que la fabrication des emballages et/ou des bouchons et étiquettes
- La fin de vie des bouteilles en PET et des emballages II et III via l'économie de matières vierges et la récupération d'énergie à l'incinération

VI.1.7. CONSOMMATION D'EAU

Figure 7 : Contribution à la consommation d'eau - bouteille PET 1.5l – Allocation 50/50 – $R_1 = 25\%$ – $R_2 = 50\%$



Les phases qui contribuent le plus à la consommation d'eau sont :

- La production de matières premières pour la bouteille (PET vierge - grade bouteille)
- Les procédés de production d'électricité pour les phases de fabrication des bouteilles (et principalement le nucléaire³⁸)

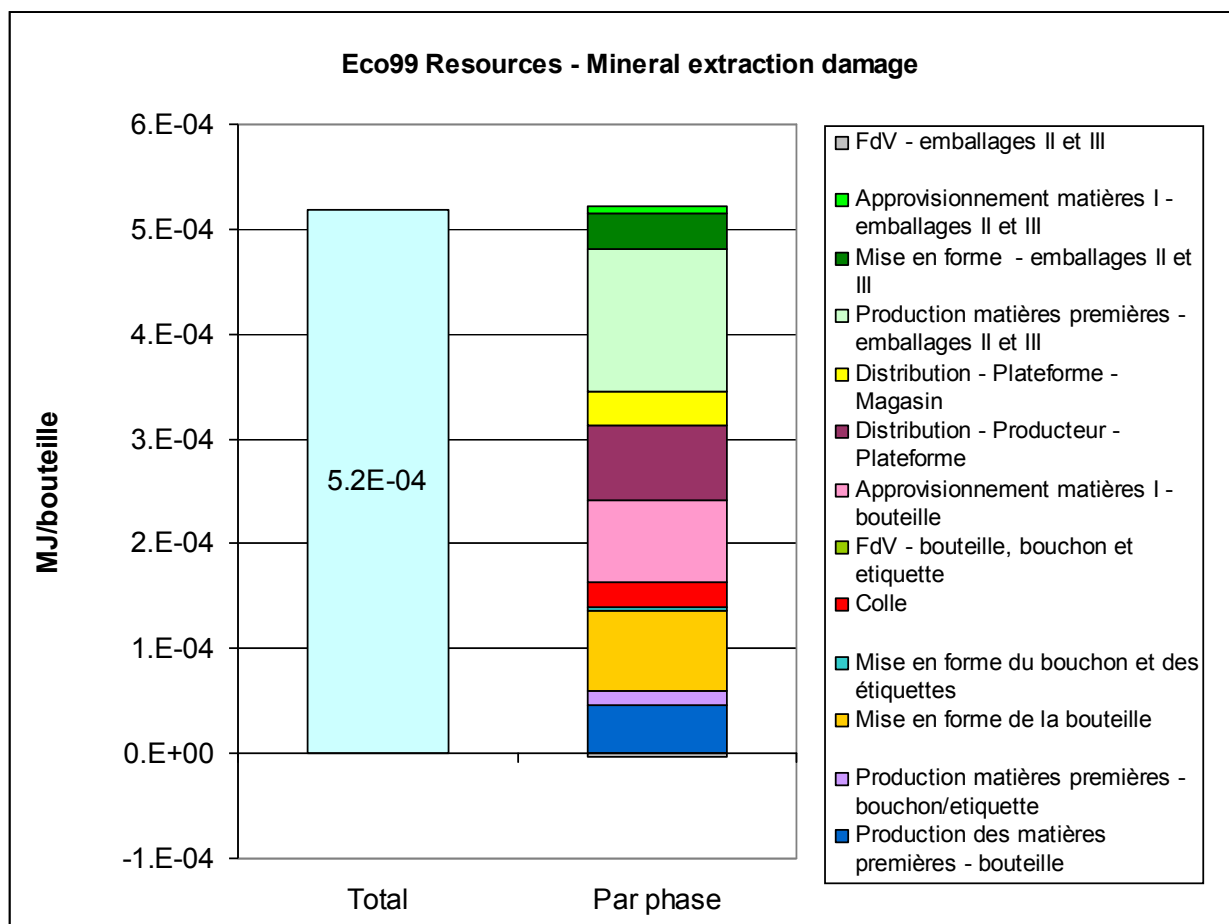
Les résultats de cette catégorie d'impacts sont donc à utiliser avec précaution étant donné les différentes limites présentées ci-dessus.

³⁸ Dans le LCI pour la production d'électricité via le nucléaire, la consommation totale d'eau est prise en compte en ne tenant pas compte de si celle-ci est évaporée ou rejetée à la rivière.

VI.1.8. CONSOMMATION DE RESSOURCES MINÉRALES

Pour rappel, cet indicateur ne prend pas en compte la consommation de ressources énergétiques telle que l'épuisement de pétrole (cf. chapitre VIII.4.5 Dommages liés à l'extraction de minéraux p 121).

Figure 8 : Consommation de ressources minérales – bouteille PET 1.5l – Allocation 50/50 – R1 = 25% - R2 = 50%



Les phases qui contribuent le plus à la consommation de minéraux sont :

- Les transports d'approvisionnement et de distribution

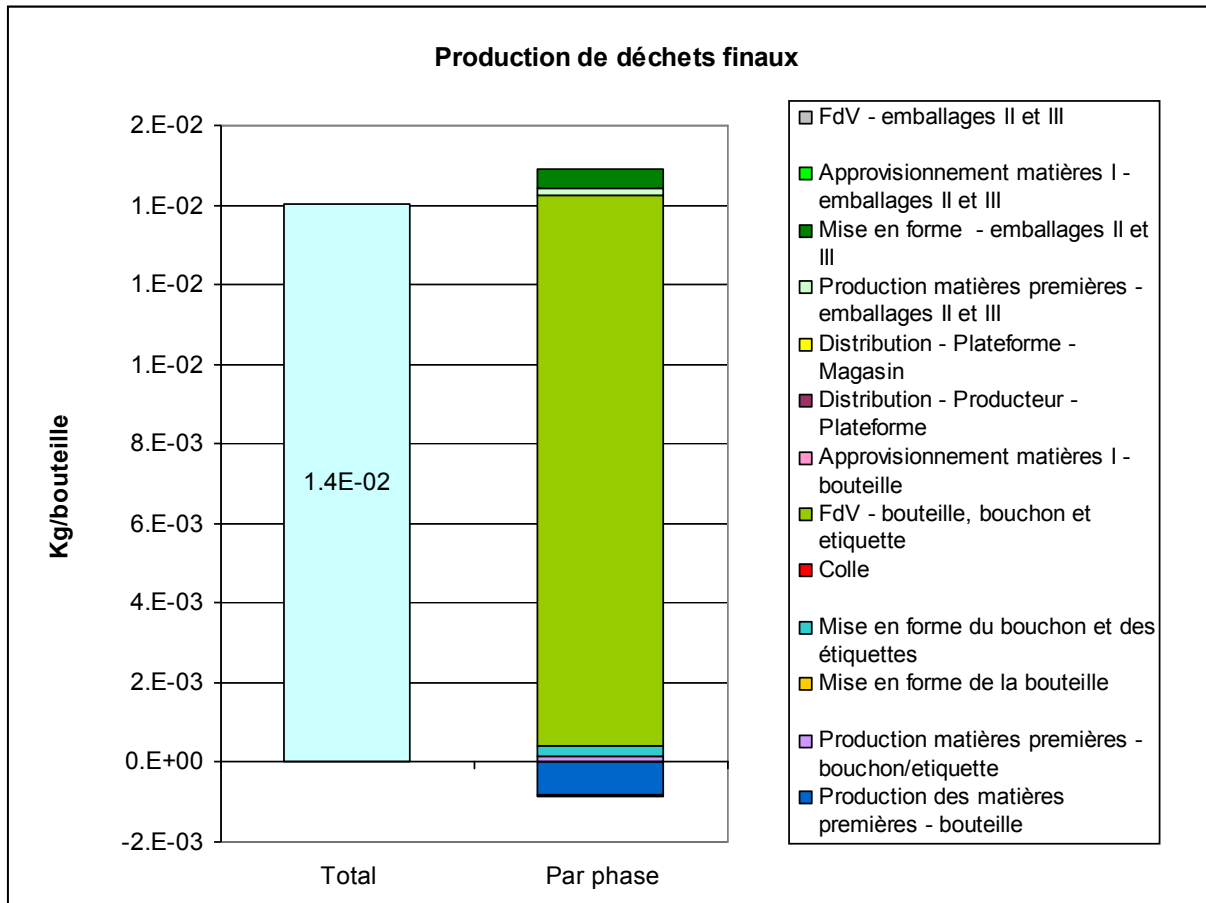
Cuivre	Nickel	Bauxite	Fer
~34%	~36%	~8%	~8%
Construction du camion	Construction du camion Maintenance des routes	Construction du camion	Construction du camion

- La production des matières premières pour les emballages II et III

Cuivre	Nickel	Bauxite	Molybdène
~18%	~52%	~8%	~12%
Production carton	Production palette Production carton	Production carton	Production palette

VI.1.9. PRODUCTION DE DECHETS FINAUX

Figure 9 : Production de déchets finaux – bouteille PET 1.5l – Allocation 50/50 – R1 = 25% - R2 = 50%



La production de déchets finaux est principalement due à l'enfouissement direct d'une certaine partie du PET en centre de stockage (11 g). Ce résultat élevé s'explique notamment par l'allocation des bénéfices du recyclage appliquée à savoir le 50/50. En effet, en fin de vie, l'élimination évitée par le recyclage n'est allouée qu'à 50% à la bouteille qui est recyclée.

VI.1.10. CONCLUSIONS

Le tableau suivant résumé les principaux enseignements liés au bilan global d'une bouteille PET de 1.5l avec pour rappel les principales caractéristiques suivantes :

- Poids moyen : 32 g
- Bouteille **monocouche sans additif, colorant ou opacifiant**
- **Taux de recyclage** des bouteilles en PET: 50%
- Utilisation du R-PET pour la production de **bouteilles**
- **Taux d'incorporation** de R-PET dans la bouteille : 25%
- **Allocation 50 : 50** pour les bénéfices du recyclage (cf. VIII.2.1.C p. 115)

Il apparaît que les deux principales phases contributrices dans le bilan environnemental d'une telle bouteille sont :

- Production des matières premières pour la bouteille

et suivant les catégories d'impacts :

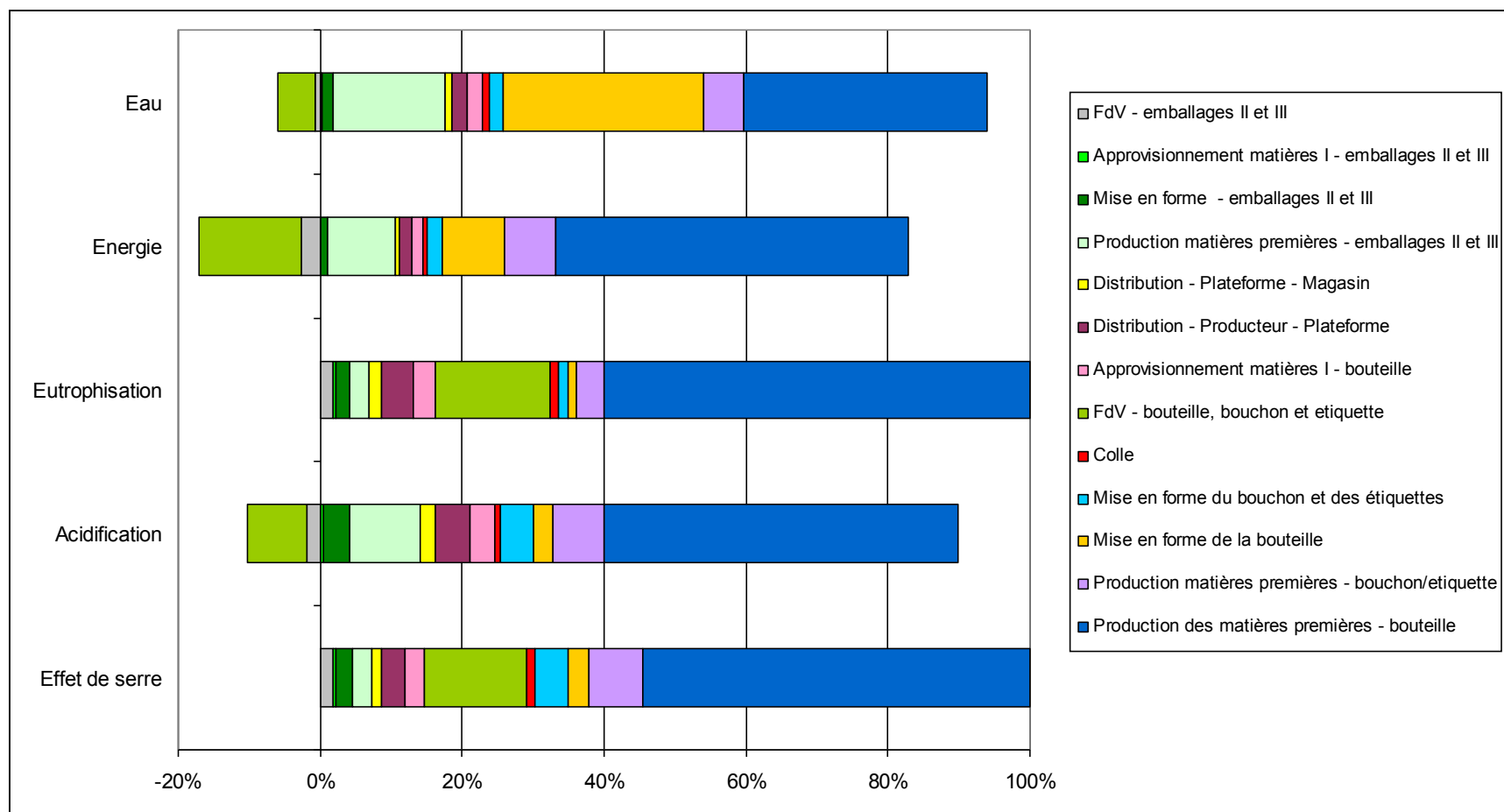
- Fin de vie de la bouteille, du bouchon et de l'étiquette
- Production des emballages secondaires et tertiaires

	Valeur totale	Phase la plus contributrice		
		1	2	3
Effet de serre	108 g de CO ₂ /bouteille	Production matières premières pour la bouteille	Production des matières premières pour les emballages II et III	Production matières premières pour le bouchon et l'étiquette
Acidification de l'air	0.4 g de SO ₂ /bouteille	Production matières premières pour la bouteille	Production des matières premières pour les emballages II et III	Fin de vie
Eutrophisation	0.04 g de PO ₄ /bouteille	Production matières premières pour la bouteille	Fin de vie de la bouteille, du bouchon et de l'étiquette	Production des matières premières pour les emballages II et III
Ressources énergétiques non renouvelables	2.6 MJ/bouteille	Production matières premières pour la bouteille	Fin de vie de la bouteille, du bouchon et de l'étiquette	Production des matières premières pour les emballages II et III
Eau	0.7 l/bouteille	Production matières premières pour la bouteille	Mise en forme de la bouteille	Production des matières premières pour les emballages II et III
Déchets	0.014 kg/bouteille	Fin de vie	/	/

La figure ci-dessous présente en détails la proportion de chaque phase dans le bilan global de cette bouteille PET.

Au regard de cette figure, les principaux leviers d'amélioration se situent au niveau de la production des matières premières pour la bouteille et de la fin de vie de celle-ci. Ils seront étudiés en détails dans le chapitre VI.5. Il est à noter que pour l'étape de transport du couple produit emballages, seuls les impacts imputables à l'emballage sont considérés dans cette étude.

Figure 10 : Contribution en % des différentes phases aux diverses catégories d'impacts pour une bouteille en PET de 1.5l



VI.2 Application fibre versus application bouteille

VI.2.1. BUT DE L'ANALYSE

Cette analyse a pour but de mettre en évidence les raisons d'un différentiel entre le recyclage en application fibre et en application bouteille via une analyse des impacts des procédés de recyclage et de production.

VI.2.2. RESULTATS

Les différences entre une application fibre et une application bouteille du PET recyclé sont présentées dans le tableau ci-dessous.

	Fibre	Bouteille
Procédé de recyclage	Etape 1 : Tri, lavage, broyage	Etape 1 : Tri, lavage, broyage Etape 2 : Extrusion et post-condensation (SSP)
Production évitée	PET grade amorphe	PET grade bouteille

Note :

Pour la fabrication de fibres, on a considéré que l'on ne passait pas par l'étape d'extrusion chez le recycleur et donc que les paillettes de PET sont vendues directement aux transformateurs. En effet, si les paillettes étaient extrudées chez le recycleur, elles devraient quand même être réextrudées chez le transformateur lors du processus de fabrication de fibres.

Concernant les étapes supplémentaires éventuelles chez les utilisateurs de matières recyclées, l'hypothèse d'un séchage supplémentaire nécessaire pour les paillettes avant injection avait été évoquée à cause de la surface spécifique plus importante des paillettes par rapport aux granules. Il est apparu suite avec des contacts avec Artenius que cette étape de séchage devait aussi avoir lieu pour le PET sous forme de paillettes. Celle-ci provient en effet du fait que lors du stockage du PET recyclé avant utilisation, celui-ci se charge en eau.

Les différences entre une application fibre et bouteille sont présentées dans le tableau ci-dessous pour les différentes catégories d'impacts. Les différentes valeurs de delta sont positives et signifient que le recyclage en application fibre est moins impactant que le recyclage en application bouteille.

Tableau VI-1: Impacts des procédés de production et de recyclage pour les applications fibre et bouteille

	Production PET grade bouteille (1 kg)	Recyclage PET en PET grade bouteille (1 kg)	<i>Bilan</i>	Production PET grade amorphe (1 kg)	Recyclage PET en PET grade amorphe (1 kg)	<i>Bilan</i>	Delta³⁹
Acidification de l'eau g éq SO ₂	7.9	0.8	-7.1	7.7	0.5	-7.2	0.1
Eutrophisation g éq PO ₄	0.76	0.6	-0.16	0.77	0.24	-0.53	0.37
Effet de serre g éq CO ₂	2135	608	-1527	2009	454	-1555	28
Energie MJ	67.6	10.5	-57.1	65.8	4.3	-61.5	4.4
Eau litre	8.8	8.7	-0.1	8.7	4.8	-4	3.9
Ressources minérales MJ surplus	0.0009	0.00083	0.00007	0.003	0.001	0.0015	-0.0014

Les enseignements du tableau ci-dessus sont les suivants :

- Les bénéfices du recyclage en application fibre par rapport à l'application bouteille sont particulièrement important pour les catégories d'impact suivantes :
 - Contribution à l'eutrophisation : 3 fois plus faible
 - Consommation d'eau : 40 fois plus faible

Et ce principalement parce que les impacts liés à la seconde étape du procédé de recyclage ne sont pas compensés par le gain obtenu via la production évitée de PET grade bouteille.

Concernant la consommation de ressources minérales, les impacts du procédé de recyclage et principalement de l'étape de traitement de l'eau sont importants par rapport au procédé de production de PET. Ces impacts viennent principalement de la consommation de bauxite lors de cette étape de traitement d'eau.

Toutefois comme précisé dans le point IV.5 p. 29, les données actuellement disponibles ne permettent pas d'identifier les parts des différentes provenances de l'eau. Il n'est donc pas possible d'élaborer une méthodologie fine d'évaluation d'impact qui ne considérerait, par exemple, que la consommation d'eau de certaines provenances. De même, il n'est pas toujours possible de distinguer les différents types d'usage de l'eau.

Les résultats de cette catégorie d'impacts sont donc à utiliser avec précaution étant donné les différentes limites présentées ci-dessus.

³⁹ Bouteille moins fibre

VI.3 Impacts des additifs, colorants, opacifiants sur la recyclabilité des bouteilles

VI.3.1. BUT DE L'ANALYSE

Cette analyse a pour but de mettre en évidence l'impact de la présence d'additifs, colorants ou opacifiant sur la recyclabilité des bouteilles et plus largement sur le bilan environnemental de la bouteille PET.

VI.3.2. OBJET DE L'ANALYSE

Etant donné que le rapport surface/volume est plus grand pour les bouteilles de petits volumes, les additifs barrières et opacifiants sont majoritairement utilisés pour ces petits volumes. Ainsi, l'impact des additifs, colorants et opacifiant sur la recyclabilité des bouteilles PET est dans le cadre de cette étude uniquement analysé pour des **bouteilles PET de volume 0,5l**.

VI.3.3. PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DU SYSTEME ETUDIE

L'unité fonctionnelle pour cette partie de l'étude est donc définie comme suit : « Emballer⁴⁰ 0.5l de boissons dans une bouteille en PET (pour acheminer la boisson de son lieu de production à son lieu de consommation) ».

Les hypothèses retenues pour cette partie du rapport sont les suivantes et concernent :

- Principales caractéristiques des bouteilles et principaux paramètres liés au recyclage :
 - Poids moyen : 15 g
 - Taux de recyclage des bouteilles en PET: 50%
 - Taux d'incorporation de R-PET dans la bouteille : 25%
 - Allocation 50 : 50 pour les bénéfices du recyclage (cf. VIII.2.1.C p. 115)

Cf. Tableau VI-2.

- Autres paramètres importants :
 - L'allocation du transport des produits se fait sur base du poids de l'emballage dans le couple produit-emballage.
 - Consommation d'électricité à l'injection et au soufflage : 1.5 kWh/kg
 - Distance de distribution :
 - Producteur → Centre de regroupement : 600 km
 - Centre de regroupement → Magasins : 200 km

Dans le cadre de cette étude, la simplification suivante est effectuée : seule la fonction transport des bouteilles est considérée, indépendamment du type d'additif. C'est-à-dire que les fonctions de protection (protection aux UV, barrière à l'oxygène) ou marketing des additifs ne sont pas considérées et les différentes types de bouteilles ne font pas l'objet d'un traitement différenciant concernant ce point. .

Quelque soit la masse ou le type d'additif, il est considéré dans le cadre de cette étude que l'effet de protection est considéré comme similaire.

⁴⁰ Par l'utilisation d'emballages primaires, secondaires et tertiaires

Tableau VI-2: Modélisation de la recyclabilité des différents types de bouteilles 0.5l dans le cadre de cette étude

	1	2	3	4	5	6	7
Caractéristiques de la bouteille	Monocouche <u>sans</u> additif	Monocouche <u>sans</u> additif	Multicouche <u>avec</u> additif Nylon	Multicouche <u>avec</u> additif EVOH	Blend 50% EVOH 50% Nylon	Monocouche <u>sans</u> additif	Monocouche sans <u>additif</u>
	<u>Sans</u> colorant	<u>Sans</u> colorant	<u>Sans</u> colorant	<u>Sans</u> colorant	<u>Sans</u> colorant	<u>Sans</u> colorant	<u>Avec</u> colorant rouge
	<u>Sans</u> opacifiant	<u>Sans</u> opacifiant	<u>Sans</u> opacifiant	<u>Sans</u> opacifiant	<u>Sans</u> opacifiant	<u>Avec</u> opacifiant TiO2	<u>Sans</u> opacifiant
<u>Devenir de la bouteille collectée sélectivement</u>	Application bouteille	Application fibre					Non recyclé (57% incinération, 43% enfouissement)
Fin de vie en cas de non recyclage	57% incinération 43% CSDU						

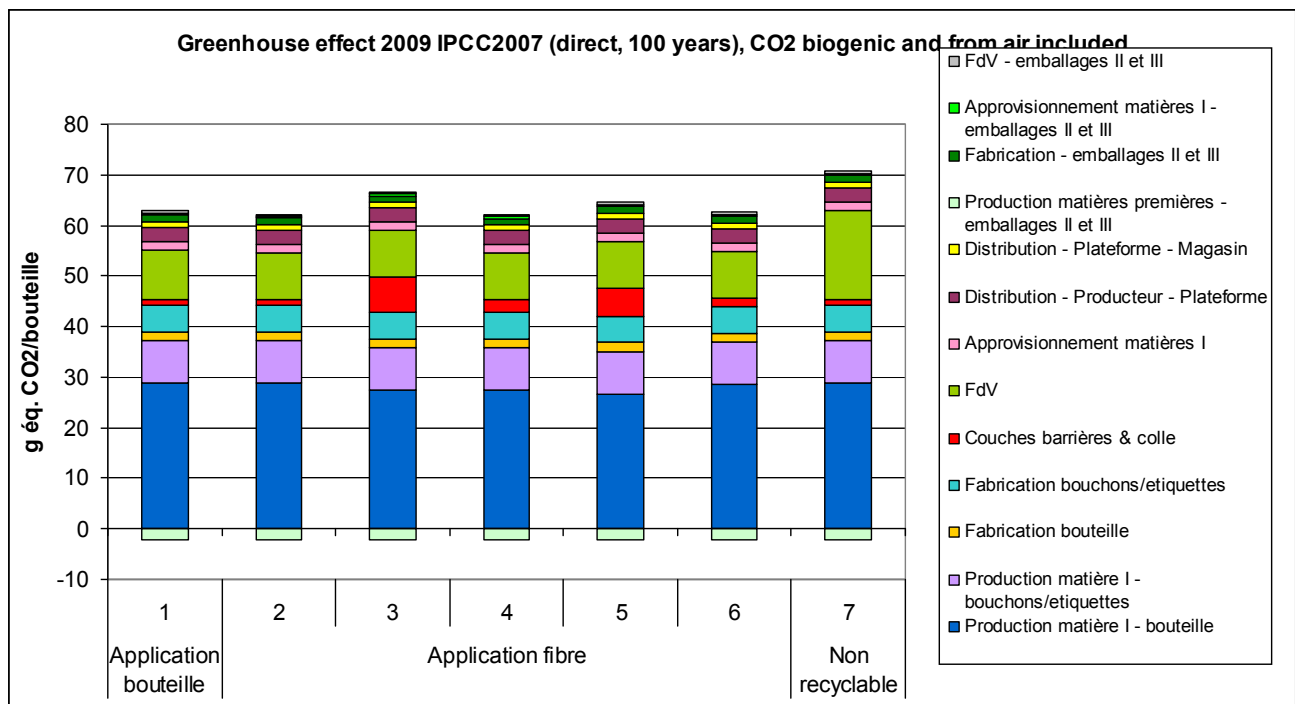
VI.3.4. RESULTATS

Les figures suivantes présentent la contribution de ces différentes phases à différentes catégories d'impacts :

- Effet de serre
- Eutrophisation
- Acidification de l'air
- Consommation de ressources énergétiques non-renouvelables
- Consommation de ressources - minéraux
- Consommation d'eau

VI.3.4.1 Contribution à l'augmentation de l'effet de serre

Figure 11 : Contribution à l'augmentation de l'effet de serre des différents systèmes étudiés par phases – R1 = 25% et R2 = 50%



	Application bouteille	Application fibre					Non recyclable
	1	2	3	4	5	6	7
Bilan total g éq CO ₂	60.7	60.1	64.6	60.1	62.4	60.5	68.6

Bouteille 1 vs. 2

La bouteille monocouche sans colorant et sans opacifiant recyclée en application bouteille (1) présente un bilan en matière de contribution à l'effet de serre légèrement plus important que la bouteille monocouche sans colorant et sans opacifiant recyclée en application fibre (2) (0.08 g éq CO₂ soit 0.1%). Ce léger différentiel s'explique par les impacts du procédé de recyclage (2

étapes au lieu de 1) qui ne sont pas compensés par le gain obtenu entre la production de PET grade bouteille et grade amorphe.

Bouteille 2 vs. 3/4/5/6

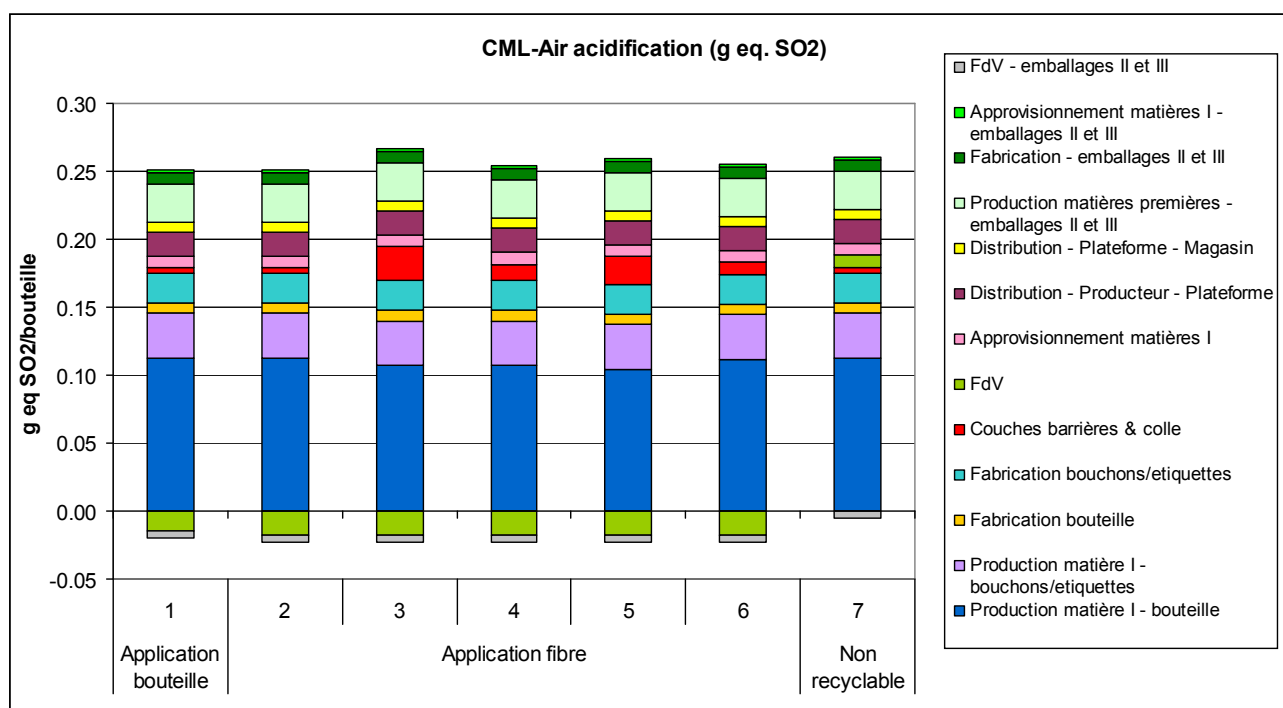
Concernant les différentes couches barrières, le nylon présente l'impact le plus important. La production de PET et d'EVOH présentent des impacts similaires d'un point de vue effet de serre. La production de TiO₂ présente un impact légèrement supérieur d'un point de vue effet de serre par rapport à la production de PET.

Bouteille 7 vs. 1/2

La bouteille non recyclable illustrée dans la cadre de cette étude par une bouteille rouge présente une contribution à l'effet de serre supérieur d'environ 15%.

VI.3.4.2 Contribution à l'acidification de l'air

Figure 12 : Contribution à l'acidification de l'air des différents systèmes étudiés par phases – R1 = 25% et R2 = 50%



	Application bouteille	Application fibre					Non recyclable
	1	2	3	4	5	6	7
Bilan total g éq SO ₂	0.231	0.229	0.244	0.231	0.236	0.233	0.255

Bouteille 1 vs. 2

La bouteille monocouche sans colorant et sans opacifiant recyclée en application bouteille (1) présente un bilan en matière de contribution à l'acidification légèrement supérieur (0.002 g de SO₂ éq. soit 1%) par rapport à la bouteille monocouche sans colorant et sans opacifiant recyclée en application fibre (2).

Cet impact supplémentaire s'explique par les impacts du procédé de recyclage (2 étapes au lieu de 1) qui ne sont pas compensés par le gain obtenu entre la production de PET grade bouteille et grade amorphe.

Bouteille 2 vs. 3/4/5/6

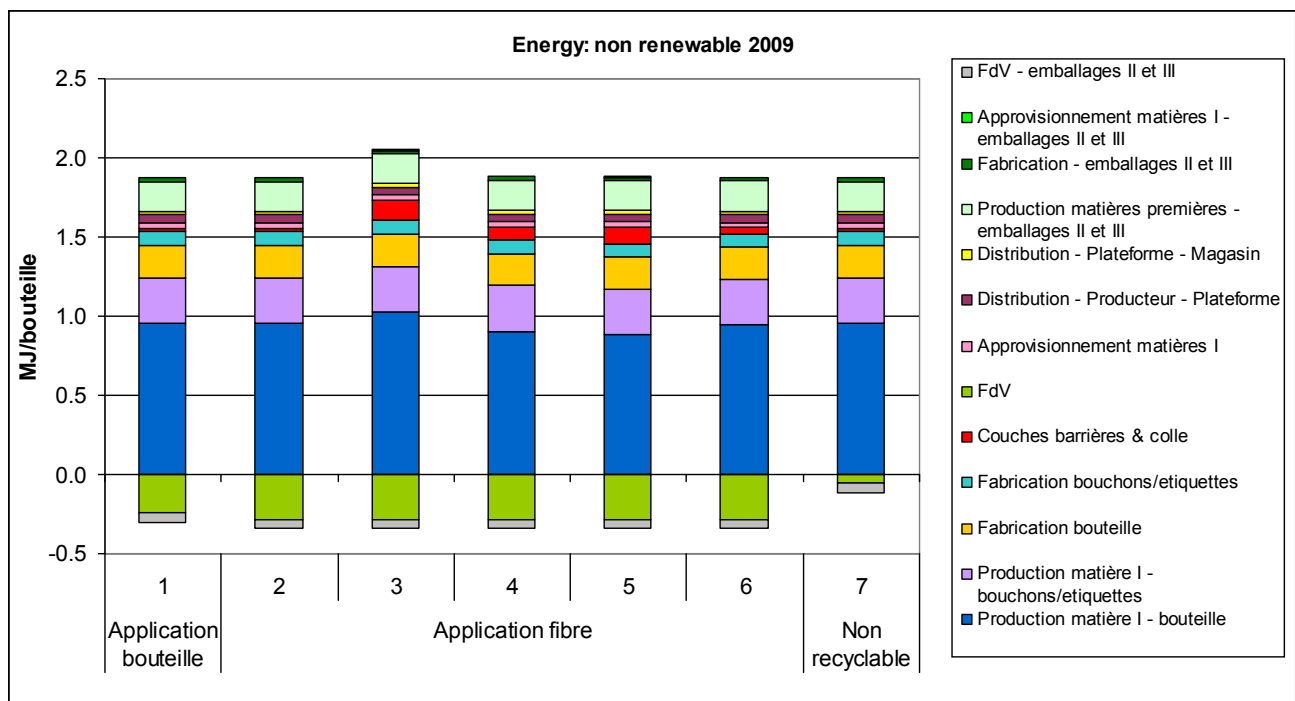
Concernant les différentes couches barrières, le nylon présente l'impact le plus important. La production de PET et d'EVOH présentent des impacts similaires d'un point de vue acidification de l'air. La production de TiO₂ présente un impact légèrement supérieur d'un point de vue acidification de l'air par rapport à la production de PET.

Bouteille 7 vs. 1/2

La bouteille non recyclable illustrée dans la cadre de cette étude par une bouteille rouge présente une contribution à l'acidification de l'air supérieure d'environ 10%.

VI.3.4.3 Consommation de ressources énergétiques non renouvelables

Figure 13 : Consommation de ressources énergétiques non renouvelables des différents systèmes étudiés par phases – R1 = 25% et R2 = 50%



	Application bouteille	Application fibre					Non recyclable
	1	2	3	4	5	6	7
Bilan total MJ	1.58	1.53	1.71	1.54	1.54	1.54	1.76

Bouteille 1 vs. 2

La bouteille monocouche sans colorant et sans opacifiant recyclée en application bouteille (1) présente un bilan en matière de consommation de ressources énergétiques légèrement supérieur (0.05 MJ soit 2.8%) par rapport à la bouteille monocouche sans colorant et sans opacifiant recyclée en application fibre (2).

Cet impact supplémentaire s'explique par les impacts du procédé de recyclage (2 étapes au lieu de 1) qui ne sont pas compensés par le gain obtenu entre la production de PET grade bouteille et grade amorphe.

Bouteille 2 vs. 3/4/5/6

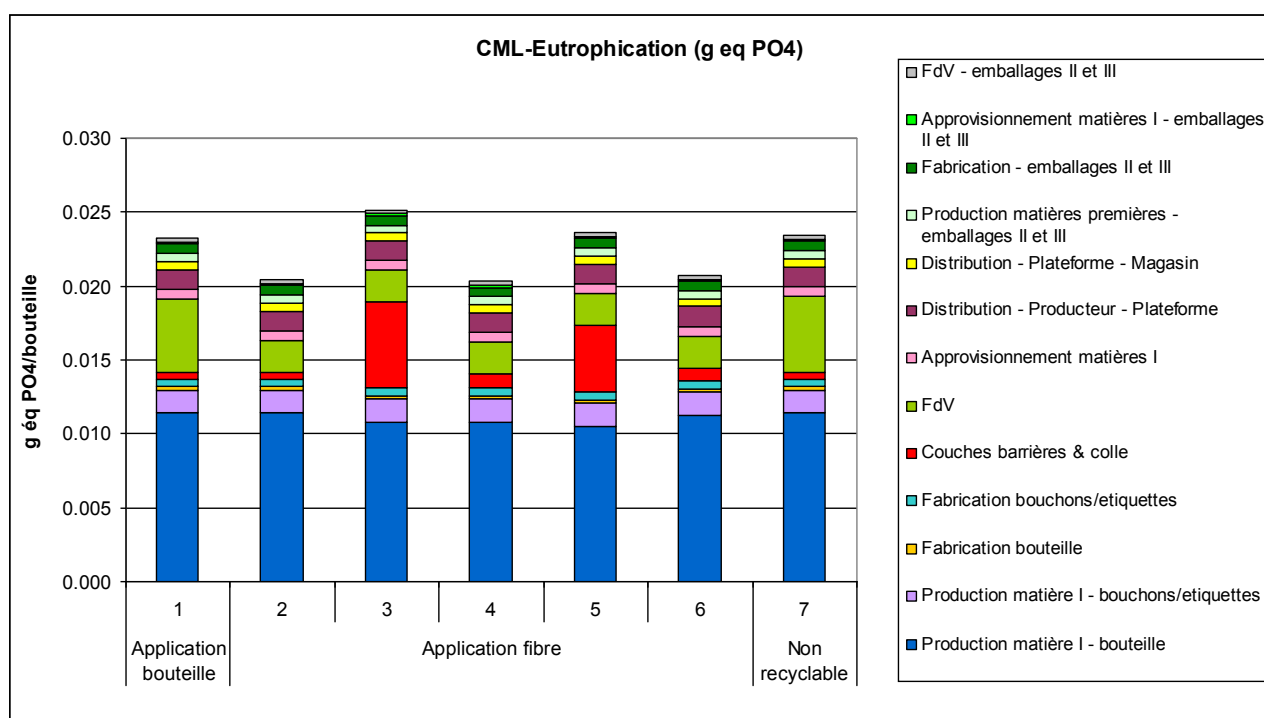
Concernant les différentes couches barrières elles présentent environ le même impact en ce qui concerne leur production même si le nylon présente l'impact le plus important. La production de PET et d'EVOH présentent des impacts similaires d'un point de vue consommation de ressources énergétiques. La production de TiO2 présente un impact légèrement supérieur d'un point de vue consommation de ressources énergétiques par rapport à la production de PET.

Bouteille 7 vs. 1/2

La bouteille non recyclable illustrée dans la cadre de cette étude par une bouteille rouge présente une consommation de ressources énergétiques supérieure d'environ 15%.

VI.3.4.4 Contribution à l'eutrophisation

Figure 14 : Contribution à l'eutrophisation des différents systèmes étudiés par phases – R1 = 25% et R2 = 50%



	Application bouteille	Application fibre					Non recyclable
	1	2	3	4	5	6	7
Bilan total g eq PO4	0.023	0.020	0.025	0.020	0.024	0.021	0.023

Bouteille 1 vs. 2

La bouteille monocouche sans colorant et sans opacifiant recyclée en application bouteille (1) présente un bilan en matière de contribution à l'eutrophisation supérieure (0.03 g eq PO4 soit

12%) par rapport à la bouteille monocouche sans colorant et sans opacifiant recyclée en application fibre (2). Cet impact supplémentaire s'explique par les impacts du procédé de recyclage (2 étapes au lieu de 1) qui ne sont pas compensés par le gain obtenu entre la production de PET grade bouteille et grade amorphe.

Bouteille 2 vs. 3/4/5/6

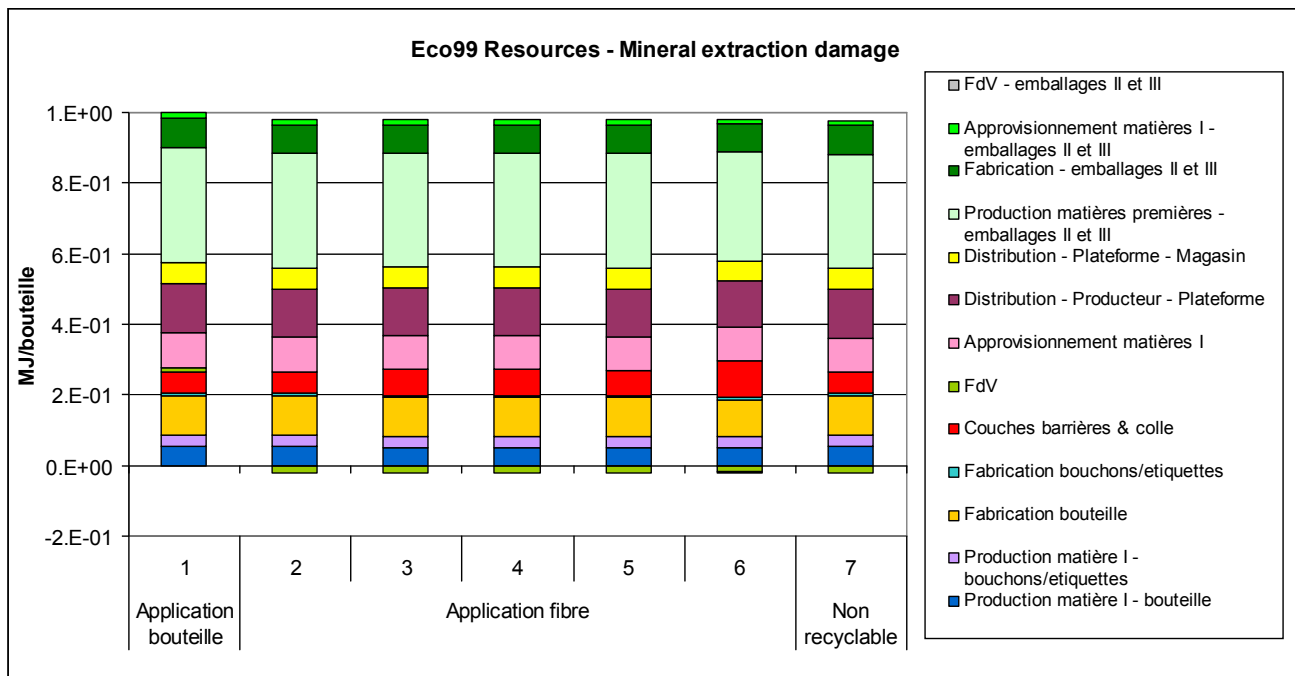
Concernant les différentes couches barrières, le nylon présente l'impact le plus important. La production de PET et d'EVOH présentent des impacts similaires d'un point de vue eutrophisation. La production de TiO₂ présente un impact légèrement supérieur d'un point de vue eutrophisation par rapport à la production de PET.

Bouteille 7 vs. 1/2

La bouteille non recyclable illustrée dans la cadre de cette étude par une bouteille rouge présente une contribution à l'eutrophisation d'environ 15% à la bouteille monocouche recyclée sans opacifiant et sans colorant en application fibre (2) et équivalente à la bouteille monocouche sans colorant et sans opacifiant recyclée en application bouteille (1). Ceci est principalement dû à l'impact de la seconde étape du procédé de recyclage.

VI.3.4.5 Consommation de ressources minérales

Figure 15 : Consommation de ressources minérales des différents systèmes étudiés par phases – R1 = 25% et R2 = 50%

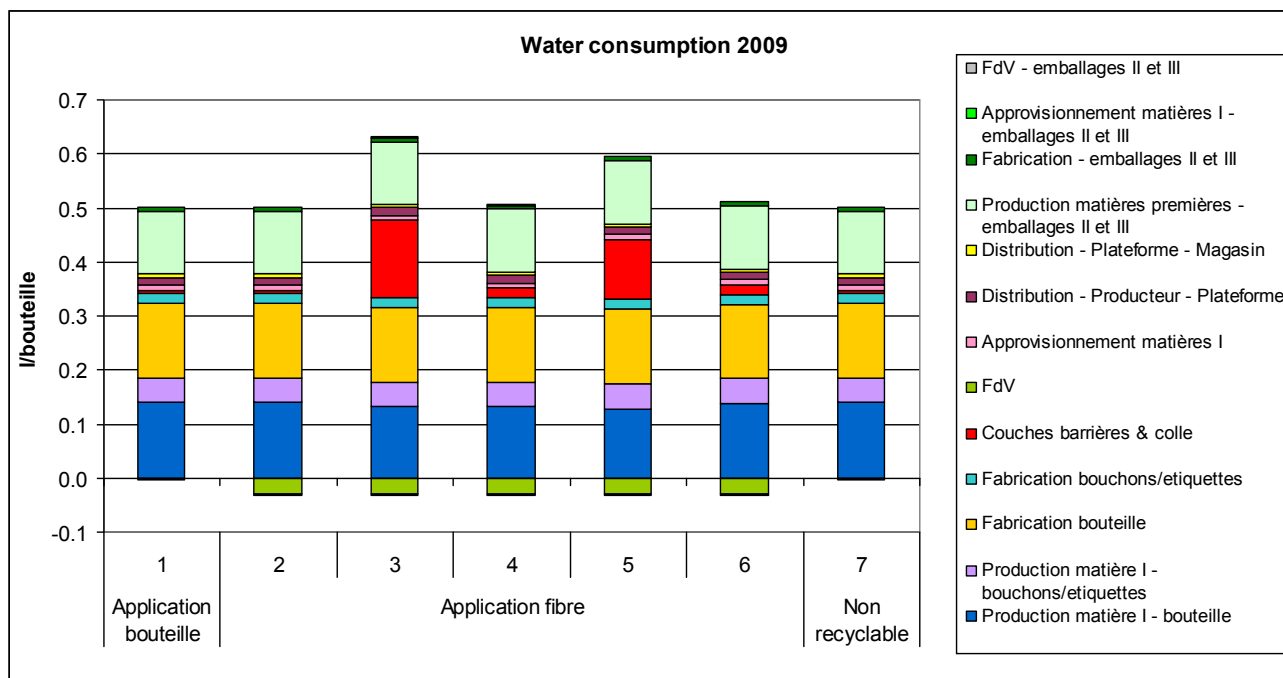


	Application bouteille	Application fibre					Non recyclable
	1	2	3	4	5	6	7
Bilan total MJ surplus	4.0 10 ⁻⁴	3.9 10 ⁻⁴	4.0 10 ⁻⁴	4.0 10 ⁻⁴	3.9 10 ⁻⁴	4.1 10 ⁻⁴	3.9 10 ⁻⁴

Les différents types de bouteilles se différencient peu l'une de l'autre étant donné la faible contribution des phases de production de la bouteille et de fin de vie de la bouteille dans cette catégorie d'impact.

VI.3.4.6 Consommation d'eau

Figure 16 : Consommation d'eau des différents systèmes étudiés par phases – R1 = 25% et R2 = 50%



	Application bouteille	Application fibre					Non recyclable
	1	2	3	4	5	6	7
Bilan total litre	0.50	0.47	0.60	0.47	0.56	0.48	0.50

Bouteille 1 vs. 2

La bouteille monocouche sans colorant et sans opacifiant recyclée en application bouteille (1) présente un bilan en matière de consommation de d'eau légèrement supérieure (0.03 l soit 6%) par rapport à la bouteille monocouche sans colorant et sans opacifiant recyclée en application fibre (2). Cet impact supplémentaire s'explique par les impacts du procédé de recyclage (2 étapes au lieu de 1) qui ne sont pas compensés par le gain obtenu entre la production de PET grade bouteille et grade amorphe.

Bouteille 2 vs. 3/4/5/6

Concernant les différentes couches barrières, le nylon présente l'impact le plus important. La production de PET et d'EVOH présentent des impacts similaires d'un point de vue consommation d'eau. La production de TiO₂ présente un impact légèrement supérieur d'un point de vue eutrophisation par rapport à la production de PET.

Bouteille 7 vs. 1/2

La bouteille non recyclable illustrée dans le cadre de cette étude par une bouteille rouge présente une consommation d'eau supérieure d'environ 5% à la bouteille monocouche recyclée sans opacifiant et sans colorant en application fibre (2) et équivalente à la bouteille monocouche sans colorant et sans opacifiant recyclée en application bouteille (1). Ceci s'explique par les impacts du procédé de recyclage (2 étapes au lieu de 1) qui ne sont pas compensés par le gain obtenu entre la production de PET grade bouteille et grade amorphe.

VI.3.5. CONCLUSIONS

VI.3.5.1 Recyclabilité

La recyclabilité de la bouteille en application fibre ou bouteille amène pour la plupart des catégories d'impacts un gain environnemental variant de 0% à 15% au bilan global de la bouteille suivant les catégories d'impacts par rapport à une bouteille non recyclable.

VI.3.5.2 Couches barrières

Les résultats par phase montrent que d'une manière générale en ce qui concerne les différents types de couches barrières, les multicouches à base de nylon ont le plus d'impact d'une manière générale sur l'environnement.

Dans le cadre de cette étude, la simplification suivante est considérée : la qualité de barrière aux gaz de l'EVOH est similaire à celle du nylon. Dans la réalité, les barrières ne sont pas de qualité similaire et le temps de conservation de la boisson diffère ; ce paramètre n'est pas inclus dans l'étude.

VI.4 Influence de la situation du marché pour le PET recyclé

VI.4.1. BUT DE L'ANALYSE

Comme illustrée dans le chapitre IV.2.2.1 p25 et en annexe 2, plusieurs situations de marché peuvent exister en ce qui concerne les matières recyclées. Selon la situation de marché, la méthode d'allocation doit être adaptée :

- Allocation au produit qui fournit la matière recyclée ("allocation au fournisseur")
- Allocation au produit qui incorpore la matière recyclée ("allocation à l'incorporateur")
- Allocation (50 :50)

Cette influence de la situation du marché est étudiée dans le chapitre ci-dessous.

VI.4.2. PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DU SYSTEME ETUDIE

L'unité fonctionnelle est définie comme suit : « Emballer⁴¹ 1.5l de boissons dans une bouteille en PET (pour acheminer la boisson de son lieu de production à son lieu de consommation) ».

Les hypothèses retenues pour cette partie du rapport sont les suivantes et concernent :

- Principales caractéristiques de la bouteille :
 - Poids moyen : 32 g ⁴²
 - Bouteille **monocouche sans additif, colorant ou opacifiant**
- Principaux paramètres liés au recyclage :
 - **Taux de recyclage** des bouteilles en PET (R_2): 50%
 - Utilisation du R-PET pour la production de **bouteilles**
 - **Taux d'incorporation** de R-PET dans la bouteille (R_1): 0% - 25% - 50% - 100%
 - **Allocation** des bénéfices du recyclage

Plusieurs situations de marché peuvent exister en ce qui concerne les matières recyclées. Selon la situation de marché (cf. VIII.2.1.C p. 115), la méthode d'allocation doit être adaptée :

- Allocation au produit qui fournit la matière recyclée ("allocation au fournisseur")
- Allocation au produit qui incorpore la matière recyclée ("allocation à l'incorporateur")
- Allocation (50 :50)
- Autres paramètres importants :
 - L'allocation du transport des produits se fait sur base du poids de l'emballage dans le couple produit-emballage.
 - Consommation d'électricité à l'injection et au soufflage : 1.5 kWh/kg

⁴¹ Par l'utilisation d'emballages primaires, secondaires et tertiaires

⁴² Note : Le poids de la bouteille PET de 1.5l diffère entre les liquides plats et gazeux :

- Liquides plats : 26-32g/bouteille
- Liquides gazeux : 32-38g/bouteille

Source : RDC sur base de différentes études menées et validation par les commanditaires

- Distance de distribution :
 - Producteur → Centre de regroupement : 600 km
 - Centre de regroupement → Magasins : 200 km

VI.4.3. NOTION IMPORTANTE

VI.4.3.1 Taux de recyclage équivalent, attribué à la bouteille

La figure ci-dessous présente les valeurs du taux de recyclage équivalent. Ce taux de recyclage représente le taux de recyclage à attribuer à la bouteille quelle que soit la méthode d'allocation. Il évolue suivant :

- les différentes valeurs que prennent le taux de recyclage et le taux d'incorporation
- les trois méthodes d'allocation des bénéfices du recyclage

Ce taux de recyclage équivalent est calculé sur base de la formule suivante :

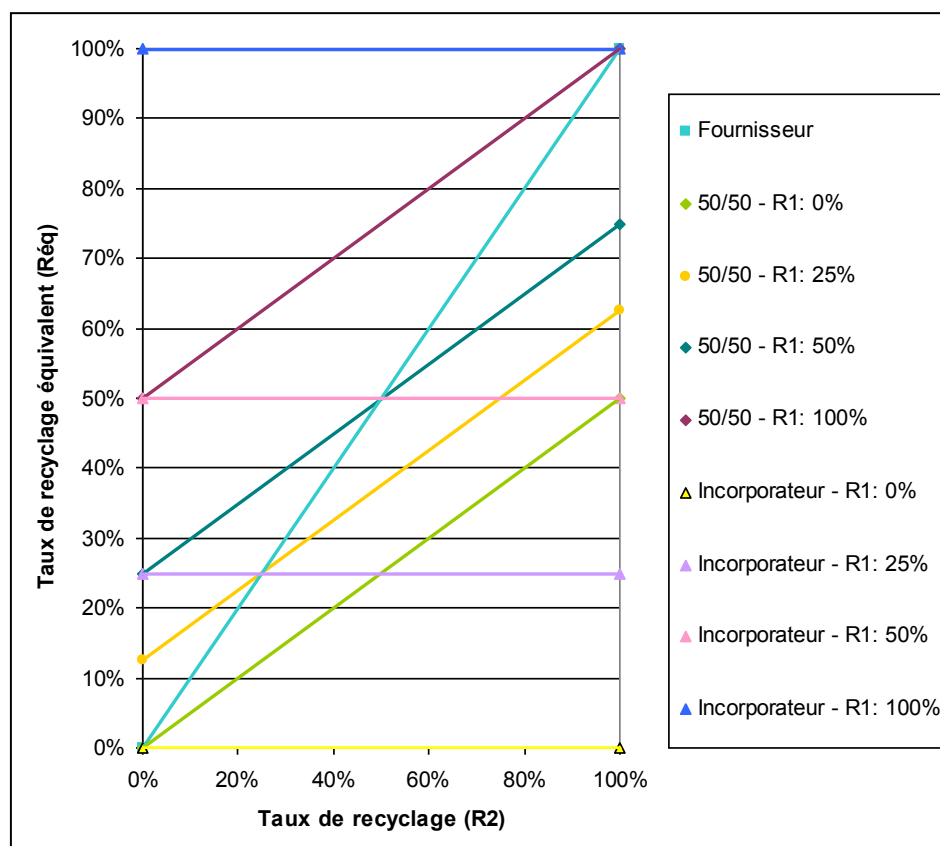
$$R_{eq} = R_1 * \text{Allocation à celui qui incorpore la matière recyclée} + R_2 * \text{Allocation à celui qui fournit la matière recyclée}$$

Avec :

R_1 = taux d'incorporation de matière recyclée

R_2 = taux de recyclage

Figure 17 : Allocation des bénéfices du recyclage – Taux de recyclage équivalent en fonction du taux de recyclage



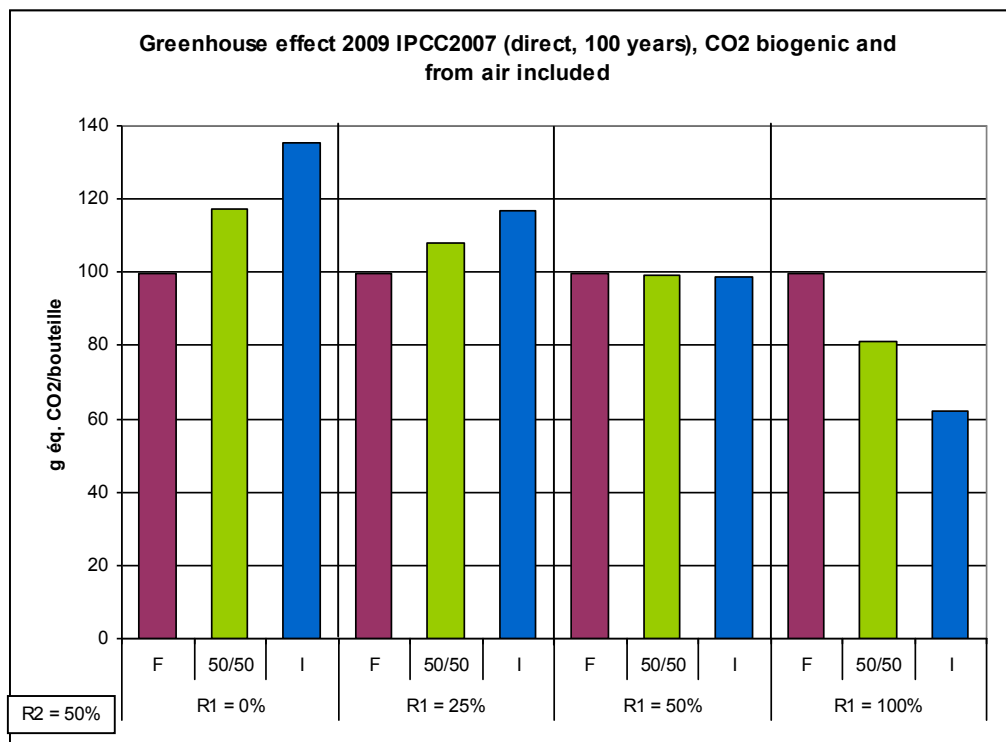
Prenons comme exemple, un taux de recyclage de 50%, le taux d'incorporation dans la bouteille de PET devrait alors atteindre 50% pour que le bilan global de la bouteille de PET en allocation 50/50 soit équivalent à celui d'une bouteille avec une allocation des bénéfices du recyclage au fournisseur. Cette remarque est valable au rendement de recyclage près.

VI.4.4. RESULTATS

Les figures suivantes présentent l'influence de la situation du marché, du taux d'incorporation et du taux de recyclage pour les catégories d'impacts suivantes:

- Effet de serre
- Eutrophisation
- Acidification de l'air
- Consommation de ressources énergétiques non-renouvelables
- Consommation de ressources - minéraux
- Consommation d'eau

VI.4.4.1 Contribution à l'effet de serre

Figure 18 : Sensibilité à la méthode d'allocation des bénéfices du recyclage – Contribution totale à l'effet de serre

R ₂ = 50%	R ₁ - 0%			R ₁ - 25%			R ₁ - 50%			R ₁ - 100%		
	F	50/50	I	F	50/50	I	F	50/50	I	F	50/50	I
Taux de recyclage équivalent (R _{ég})	50%	25%	0%	50%	37.5%	25%	50%	50%	50%	50%	75%	100%
g éq. CO2/bouteille	100	117	135	100	108	117	100	99	99	100	81	62

Si $R_1 < R_2$ et pour un R_1 constant

Les variations les plus importantes ont lieu lorsque l'on passe d'une allocation au système qui fournit la matière recyclée à une allocation au système qui incorpore la matière recyclée et elles consistent en augmentation de l'effet de serre principalement lié à la diminution du taux de recyclage équivalent.

En effet, si la situation de marché est telle que une allocation à l'incorporateur doit être faite, on rend visible des bénéfices proportionnels à R_1 qui sont inférieurs aux bénéfices proportionnels à R_2 , visibles dans le cas d'une allocation au fournisseur.

Si $R_1 = R_2 = R_{eq}$ et pour un R_1 constant

Le bilan d'un point de vue contribution à l'effet de serre est similaire au rendement près, la situation de marché n'influence pas les résultats.

Si $R_1 > R_2$ et pour un R_1 constant

Les variations les plus importantes ont lieu lorsque l'on passe d'une allocation au système qui fournit la matière recyclée à une allocation au système qui incorpore la matière recyclée et elles consistent en diminution de l'effet de serre principalement lié à l'augmentation du taux de recyclage équivalent.

En effet, si la situation de marché est telle qu'une allocation à l'incorporateur doit être faite, on rend visible des bénéfices proportionnels à R_1 qui sont supérieurs aux bénéfices proportionnels à R_2 , visibles dans le cas d'une allocation au fournisseur.

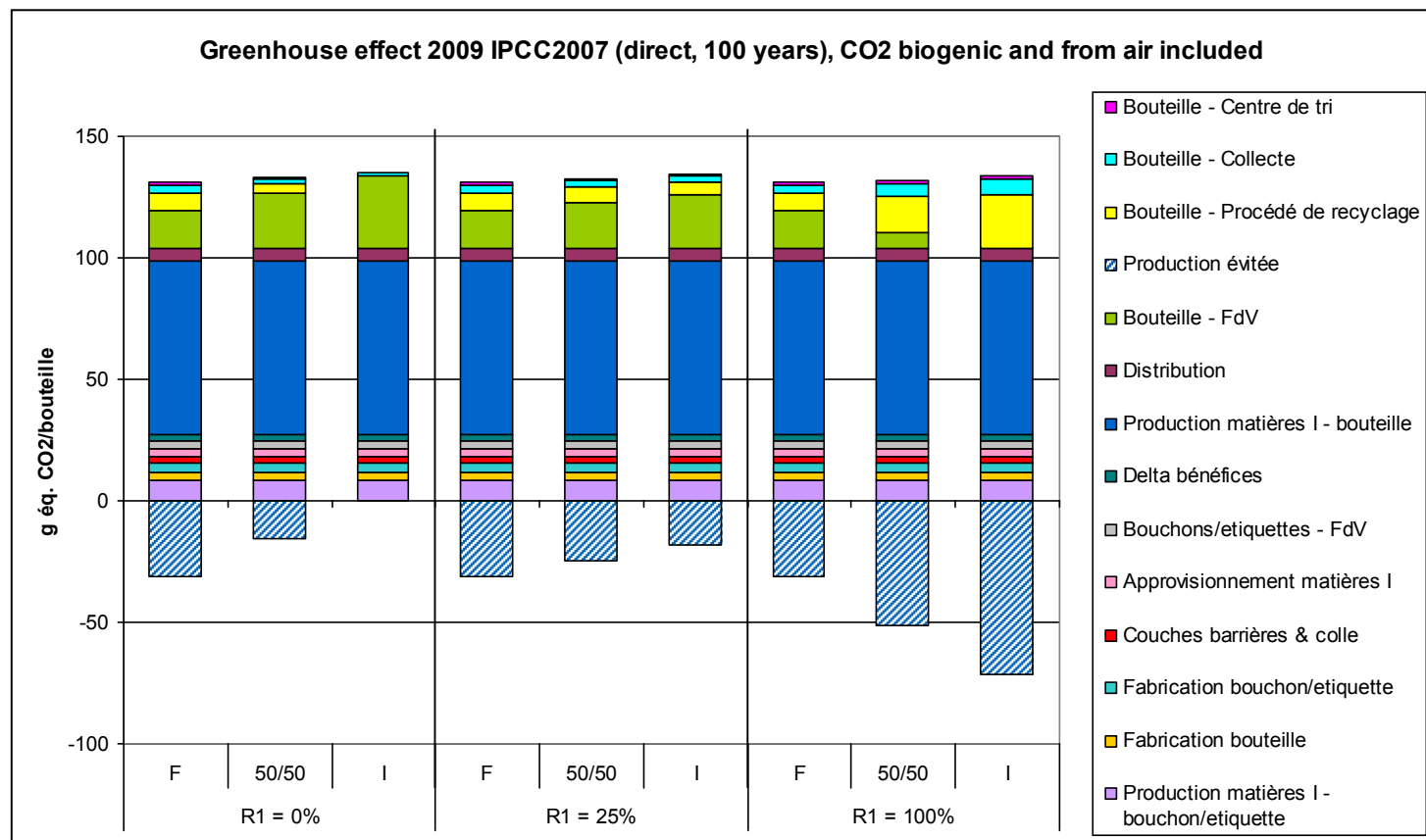
Si situation de marché constante et augmentation du R_1

Le bilan de la bouteille en matière de contribution à l'effet de serre diminue pour les situations de marché qui engendrent qu'une partie des bénéfices peut être alloués à l'incorporateur (colonnes bleues et vertes). A contrario, si la situation de marché est telle que les bénéfices du recyclage sont alloués au fournisseur, l'augmentation du R_1 n'a aucune incidence sur la contribution à l'effet de serre de la bouteille (colonnes violettes de même hauteur sur le graphique).

Dans le cas d'une situation de marché impliquant une allocation mixte des bénéfices du recyclage (50/50), l'attribution des bénéfices du recyclage va pour moitié au fournisseur et pour moitié au recycleur ce qui rend visible uniquement la moitié des efforts de l'incorporation de RPET : les colonnes vertes sont à mi-hauteur des colonnes violettes et bleues.

Note : La décision sur le choix méthodologique d'attribuer les bénéfices du recyclage à l'un ou l'autre des systèmes (celui qui fournit le R PET, celui qui l'incorpore ou une situation intermédiaire) devrait toujours se baser sur une analyse de la situation de marché (cf. VIII.2.1.C p. 115).

Figure 19 : Sensibilité à la méthode d'allocation des bénéfices du recyclage – Contribution par phase à l'effet de serre



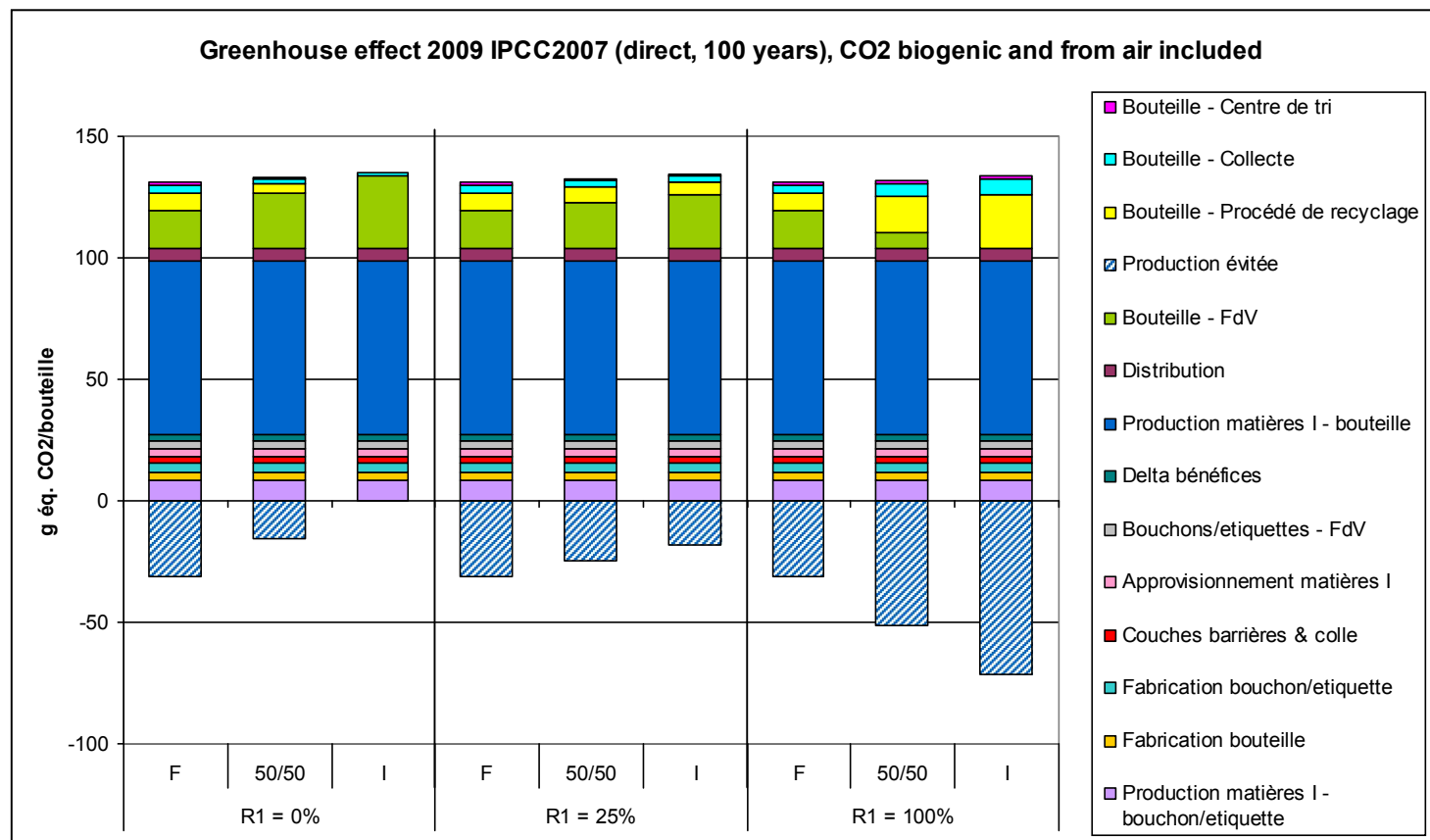
R ₂ = 50%	R ₁ - 0%			R ₁ - 25%			R ₁ - 100%		
	F	50/50	I	F	50/50	I	F	50/50	I
Taux de recyclage équivalent (R _{éq})	50%	25%	0%	50%	37.5%	25%	50%	75%	100%
g éq. CO2/bouteille	100	117	135	100	108	117	100	81	62

La figure suivante présente un focus sur les phases liées à la fin de vie et à la production (on enlève les phases communes).

Lorsque l'on passe d'une allocation au système qui fournit la matière recyclée à une allocation au système qui incorpore la matière recyclée (de gauche à droite sur le graphe), les variations les plus importantes sont :

- $R_1 = 0\%$ et $R_1 = 25\%$ ($R_1 < R_2$)
 - Augmentation des impacts de la fin de vie (■)
 - Augmentation des impacts de la production de la bouteille de PET (■+■)
 - Diminution des impacts du recyclage (■) : moitié des impacts du recyclage pour l'allocation 50/50 et impacts nuls pour l'allocation à l'incorporeur (dans le cas où $R_1 = 0\%$)
 - Diminution des impacts de la collecte sélective (■)
- $R_1 = 100\%$ ($R_1 > R_2$)
 - Diminution des impacts de la fin de vie (■)
 - Diminution des impacts de la production de la bouteille de PET (■+■)
 - Augmentation des impacts du recyclage (■)
 - Augmentation des impacts de la collecte sélective (■)

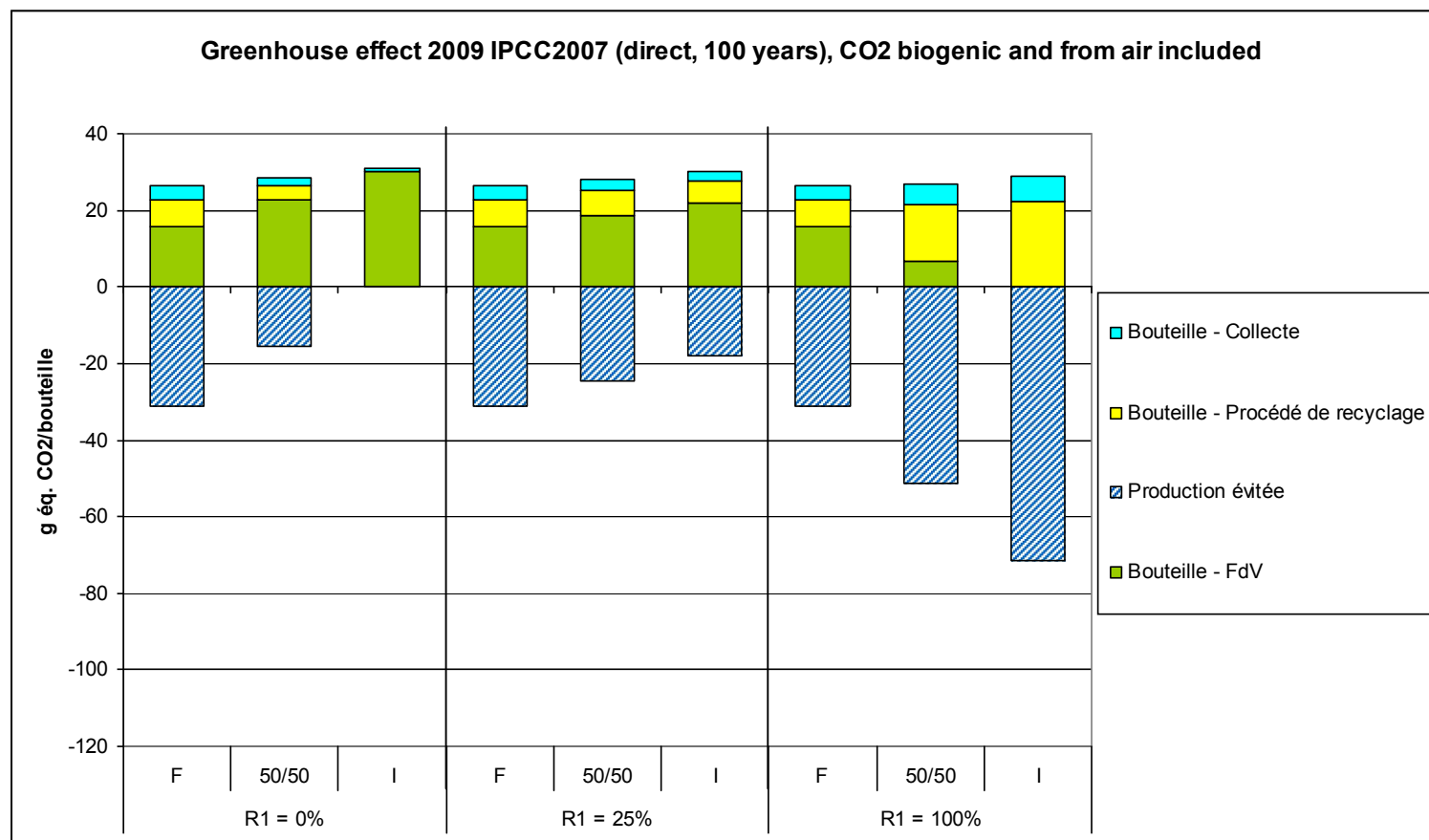
Figure 20 : Sensibilité à la méthode d'allocation des bénéfices du recyclage – Contribution par phase à l'effet de serre



R ₂ = 50%	R ₁ - 0%			R ₁ - 25%			R ₁ - 100%		
	F	50/50	I	F	50/50	I	F	50/50	I
Taux de recyclage équivalent (R _{éq})	50%	25%	0%	50%	37.5%	25%	50%	75%	100%
g éq. CO2/bouteille	100	117	135	100	108	117	100	81	62

La figure suivante présente un focus sur les phases liées à la fin de vie et à la production (on enlève les phases communes).

Figure 21 : Sensibilité à la méthode d'allocation des bénéfices du recyclage – Détails de la contribution à l'effet de serre pour les phases fin de vie et production



VI.4.4.2 Contribution à l'acidification de l'air et consommation de ressources énergétiques non renouvelables

Figure 22 : Sensibilité à la méthode d'allocation des bénéfices du recyclage – Contribution à l'acidification de l'air

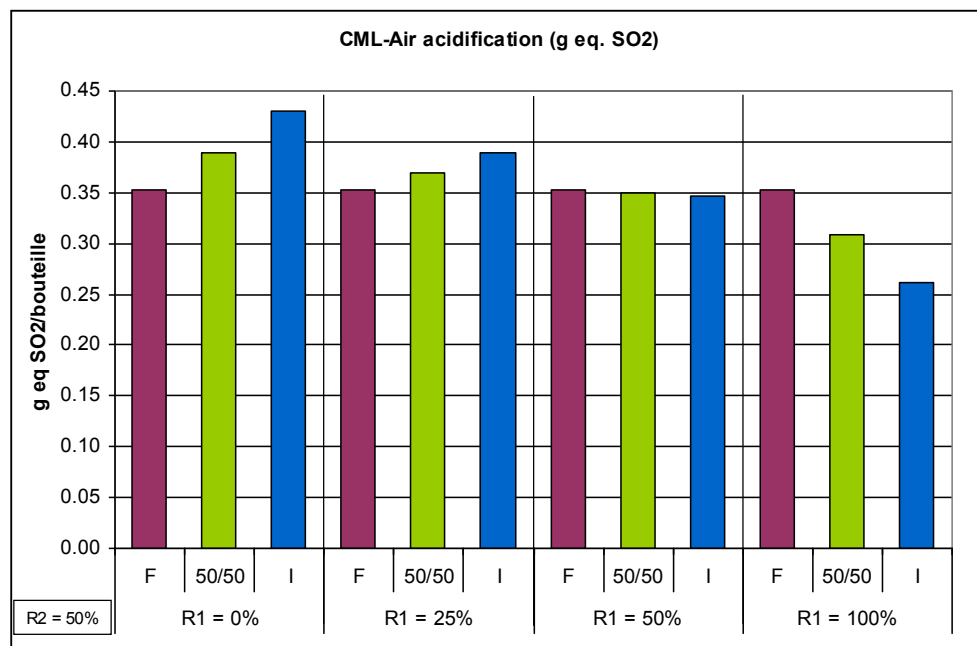
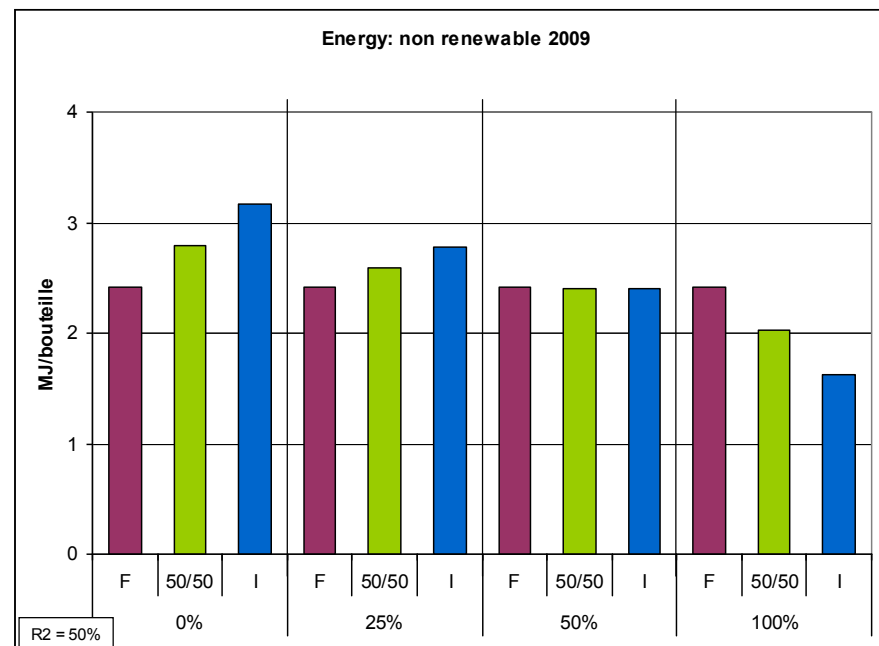
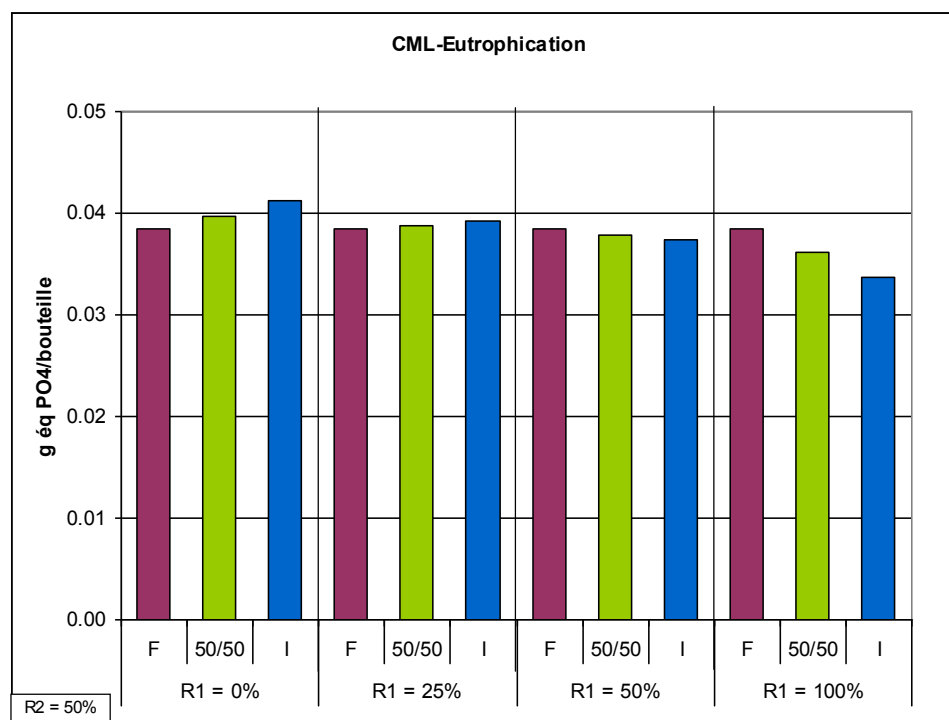


Figure 23 : Sensibilité à la méthode d'allocation des bénéfices du recyclage – Consommation de ressources énergétiques non renouvelables



VI.4.4.3 Contribution à l'eutrophisation

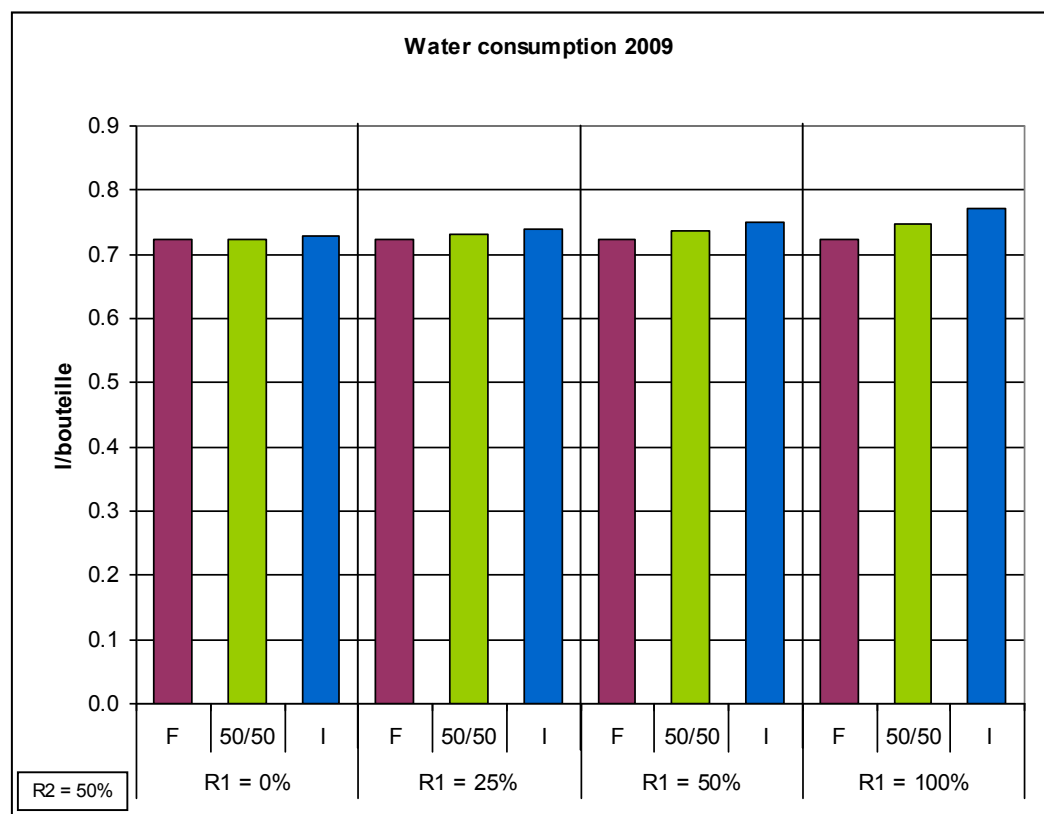
Figure 24 : Sensibilité à la méthode d'allocation des bénéfices du recyclage – Contribution à l'eutrophisation



Les commentaires formulés pour la catégorie d'impact « contribution à l'effet de serre » s'appliquent pour ces trois catégories d'impacts.

Les détails par phase sont présentés en annexe.

VI.4.4.4 Consommation d'eau

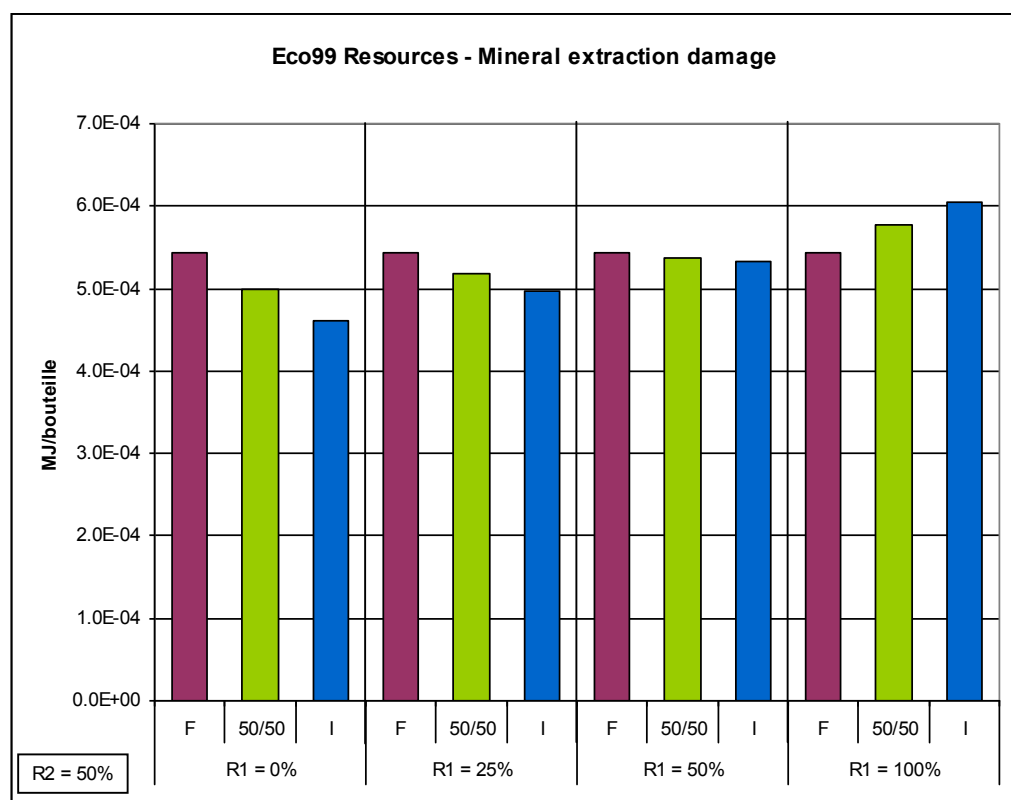
Figure 25 : Sensibilité à la méthode d'allocation des bénéfices du recyclage – Consommation d'eau

Contrairement aux catégories d'impacts précédentes, l'augmentation du taux de recyclage équivalent engendre une augmentation de la consommation d'eau (seulement une légère augmentation). Ceci s'explique par le fait que les impacts du procédé de recyclage sont tout juste compensés par le gain obtenu par la production évitée de PET et par le fait que l'incinération permettait de récupérer de l'énergie sous forme de chaleur et d'électricité (cf. Tableau V-17).

Cette production d'électricité évitée avait un certain impact d'un point de vue consommation d'eau car le nucléaire⁴³ consomme une quantité non négligeable d'eau.

VI.4.4.5 Consommation de ressources minérales

Figure 26 : Sensibilité à la méthode d'allocation des bénéfices du recyclage – Consommation de ressources minérales



⁴³ Dans le LCI pour la production d'électricité via le nucléaire, la consommation totale d'eau est prise en compte en ne tenant pas compte de si celle-ci est évaporée ou rejetée à la rivière

Contrairement aux autres catégories d'impacts, plus le taux de recyclage équivalent est élevé plus le bilan environnemental en matière de consommation de ressources minérales devient important. Comme souligné auparavant dans le rapport, le procédé de recyclage est plus impactant que celui de production et notamment l'étape de traitement de l'eau.

VI.4.5. CONCLUSIONS

Compte tenu du taux de collecte sélective actuel (50%) et de la pratique actuelle en termes d'incorporation de R-PET (25%), le bilan environnemental le plus favorable en moyenne pour le marché est obtenu via l'allocation des bénéfices au produit qui fournit la matière recyclée, la méthode la plus fondée sur base de la situation du marché du R-PET (cf. Annexe 2 : Situations de marché).

Cette conclusion reste valable pour toute valeur de $R1 < R2$.

VI.5 Paramètres les plus influents sur le bilan environnemental

VI.5.1. BUT DE L'ANALYSE

Suite à l'analyse des principales phases contributrices réalisées au chapitre VI.1 p 52, il a été vu que les principales phases contributrices sont : la production des matières premières et la fin de vie de la bouteille en PET.

Les paramètres principaux de ces deux phases sont (pour les différentes situations rencontrées) :

- Poids des bouteilles
- Taux de recyclage équivalent
- Taux d'incinération/Taux d'enfouissement

Une analyse de sensibilité sur le paramètre déterminant de ces différentes phases est réalisée ci-dessous afin de mesurer les effets attendus sur le bilan environnemental de la bouteille PET 1.5l.

L'intérêt principal du logiciel « *RangeLCA* » est de prendre en compte l'ensemble des valeurs comprises entre deux valeurs extrêmes connues en attribuant une probabilité d'occurrence à chaque valeur. Le classement des résultats en fonction des paramètres clés permet de montrer la sensibilité des conclusions à chaque paramètre.

VI.5.2. PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DU SYSTEME ETUDIE

L'unité fonctionnelle est définie comme suit : « Emballer⁴⁴ 1.5l de boissons dans une bouteille en PET (pour acheminer la boisson de son lieu de production à son lieu de consommation) ».

Les hypothèses retenues pour cette partie du rapport sont les suivantes et concernent :

- Principales caractéristiques de la bouteille :
 - Poids moyen : 32 g ⁴⁵
 - Bouteille **monocouche sans additif, colorant ou opacifiant**
- Principaux paramètres liés au recyclage :
 - **Taux de recyclage moyen** des bouteilles en PET: 50%
 - Utilisation du R-PET pour la production de **bouteilles**
 - **Taux d'incorporation** de R-PET dans la bouteille : 25%
 - **Allocation 50 : 50** pour les bénéfices du recyclage (cf. VIII.2.1.C p. 115)

⁴⁴ Par l'utilisation d'emballages primaires, secondaires et tertiaires

⁴⁵ Note : Le poids de la bouteille PET de 1.5l diffère entre les liquides plats et gazeux :

- Liquides plats : 26-32g/bouteille
- Liquides gazeux : 32-38g/bouteille

Source : RDC sur base de différentes études menées et validation par les commanditaires

- Autres paramètres importants :
 - L'allocation du transport des produits se fait sur base du poids de l'emballage dans le couple produit-emballage.
 - Consommation d'électricité à l'injection et au soufflage : 1.5 kWh/kg
 - Distance de distribution :
 - Producteur → Centre de regroupement : 600 km
 - Centre de regroupement → Magasins : 200 km

VI.5.3. RESULTATS

VI.5.3.1 Poids des bouteilles

Plus le poids de la bouteille augmente, plus l'impact sur l'environnement est important.

Ainsi diminuer le poids de la bouteille de 1 g engendre un gain environnemental d'environ :

	Valeur	Unités
Effet de serre	+2.5	g de CO ₂ /bouteille
Acidification de l'air	+0.01	g de SO ₂ /bouteille
Eutrophisation	+0.001	g de PO ₄ /bouteille
Ressources énergétiques non renouvelables	+0.05	MJ/bouteille
Ressources minérales	+7.10-6	MJ/bouteille
Eau	+0.01	l/bouteille

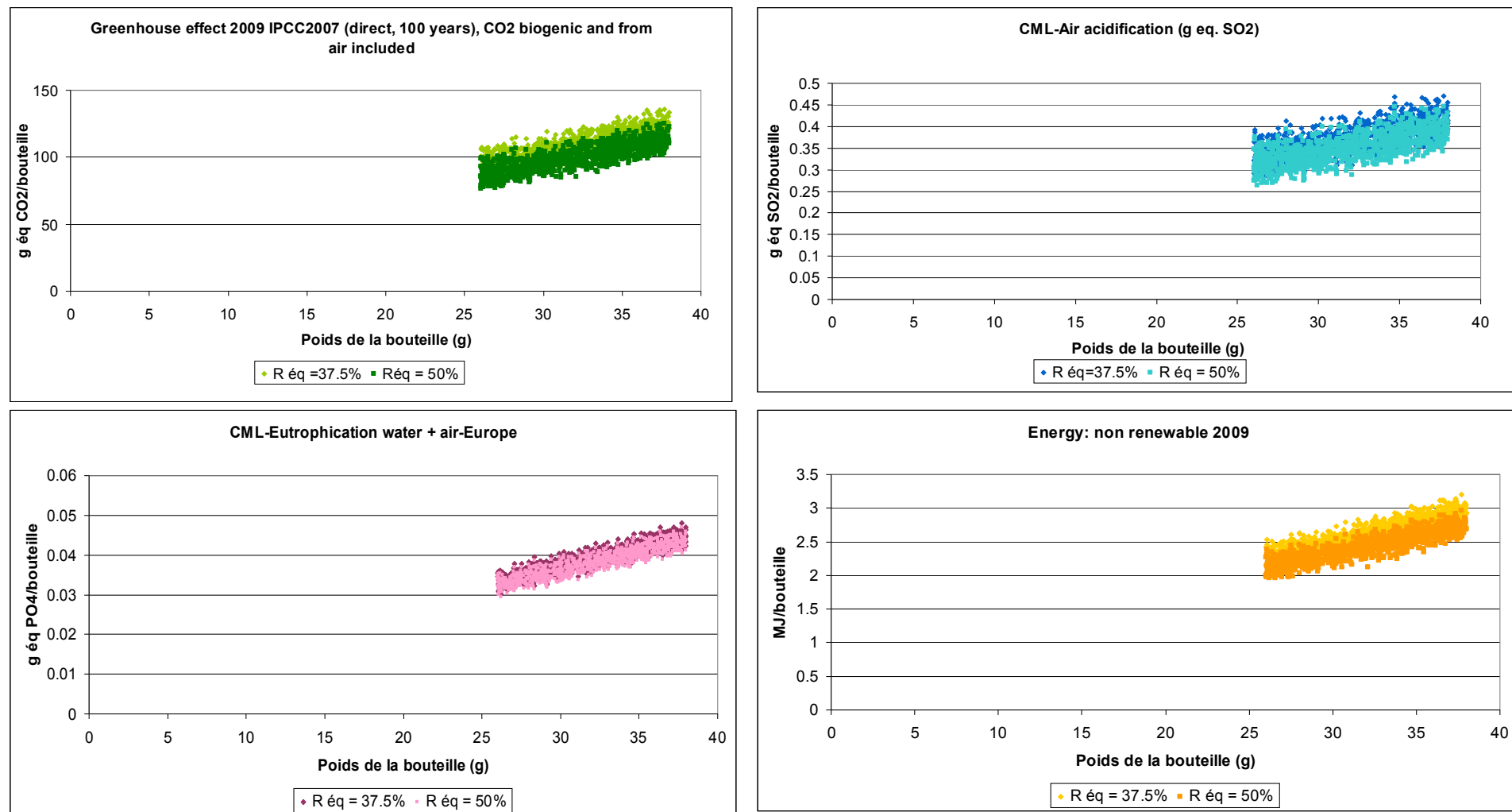
L'influence d'une diminution plus importante du poids est mise en évidence dans le tableau et les graphes ci-dessous pour deux situations différentes :

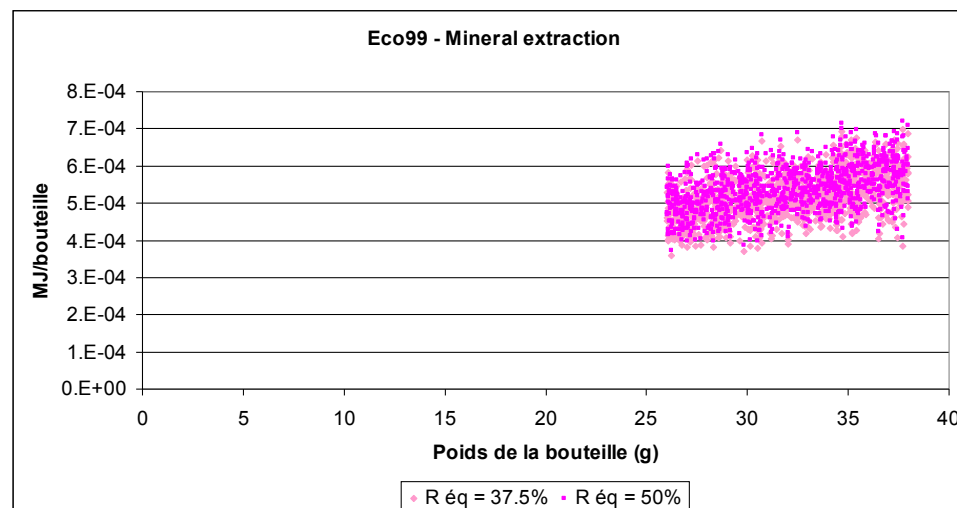
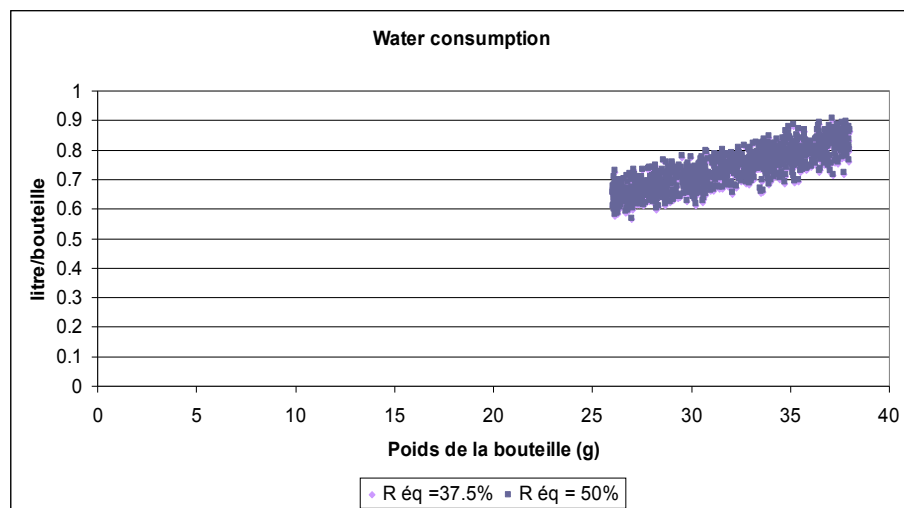
- R éq 37, 5% : R1 = 25% et R2 = 50%
- R éq 50% : R1 = 50% et R2 = 50% ou R1 = 25% et R2 = 75%

	R éq = 37.5%		R éq = 50%		Unités
	38g	26g	38g	26g	
Effet de serre	135	84	124	76	g de CO ₂ /bouteille
Acidification de l'air	0.47	0.28	0.44	0.26	g de SO ₂ /bouteille
Eutrophisation	0.048	0.03	0.048	0.03	g de PO ₄ /bouteille
Ressources énergétiques non renouvelables	3.2	2.1	3	2	MJ/bouteille
Ressources minérales	7. 10 ⁻⁴	3.5. 10 ⁻⁴	7.2 10 ⁻⁴	3.7. 10 ⁻⁴	MJ/bouteille
Eau	0.9	0.55	0.9	0.55	l/bouteille

Ainsi, diminuer le poids de la bouteille a pour effet de diminuer la contribution aux différentes catégories d'impacts et cela quelque soit le taux de recyclage équivalent :

Figure 27 : Analyse de sensibilité – Poids des bouteilles





VI.5.3.2 Taux de recyclage équivalent

Pour rappel, le taux de recyclage équivalent est défini comme :

$$R_{eq} = R_1 * \text{Allocation à celui qui incorpore la matière recyclée} + R_2 * \text{Allocation à celui qui fournit la matière recyclée}$$

Avec :

R_1 = taux d'incorporation de matière recyclée

R_2 = taux de recyclage

Il dépend donc :

- des différentes valeurs que prennent le taux de recyclage et le taux d'incorporation
- des trois méthodes d'allocation des bénéfices du recyclage

De même étant donné que dans le cadre du Grenelle de l'environnement, il a été prévu d'augmenter la taxe sur les décharges (TGAP) et de créer une taxe sur les incinérateurs, modulée en fonction de l'efficacité environnementale et énergétique. Il a été choisi dans ce chapitre de présenter les résultats de manière séparée entre :

- l'enfouissement
- l'incinération

en gardant une proportion équivalente entre incinération et l'enfouissement à la moyenne française (57% des points vers l'incinération et 43% des points vers l'enfouissement).

Plus le taux de recyclage équivalent augmente, plus l'impact sur l'environnement diminue. Toutefois, l'impact de l'augmentation du taux de recyclage équivalent est différent si la bouteille était éliminée en incinération ou enfouie en centre de stockage.

Ainsi, augmenter le taux de recyclage équivalent de 0 à 100% a pour effet de :

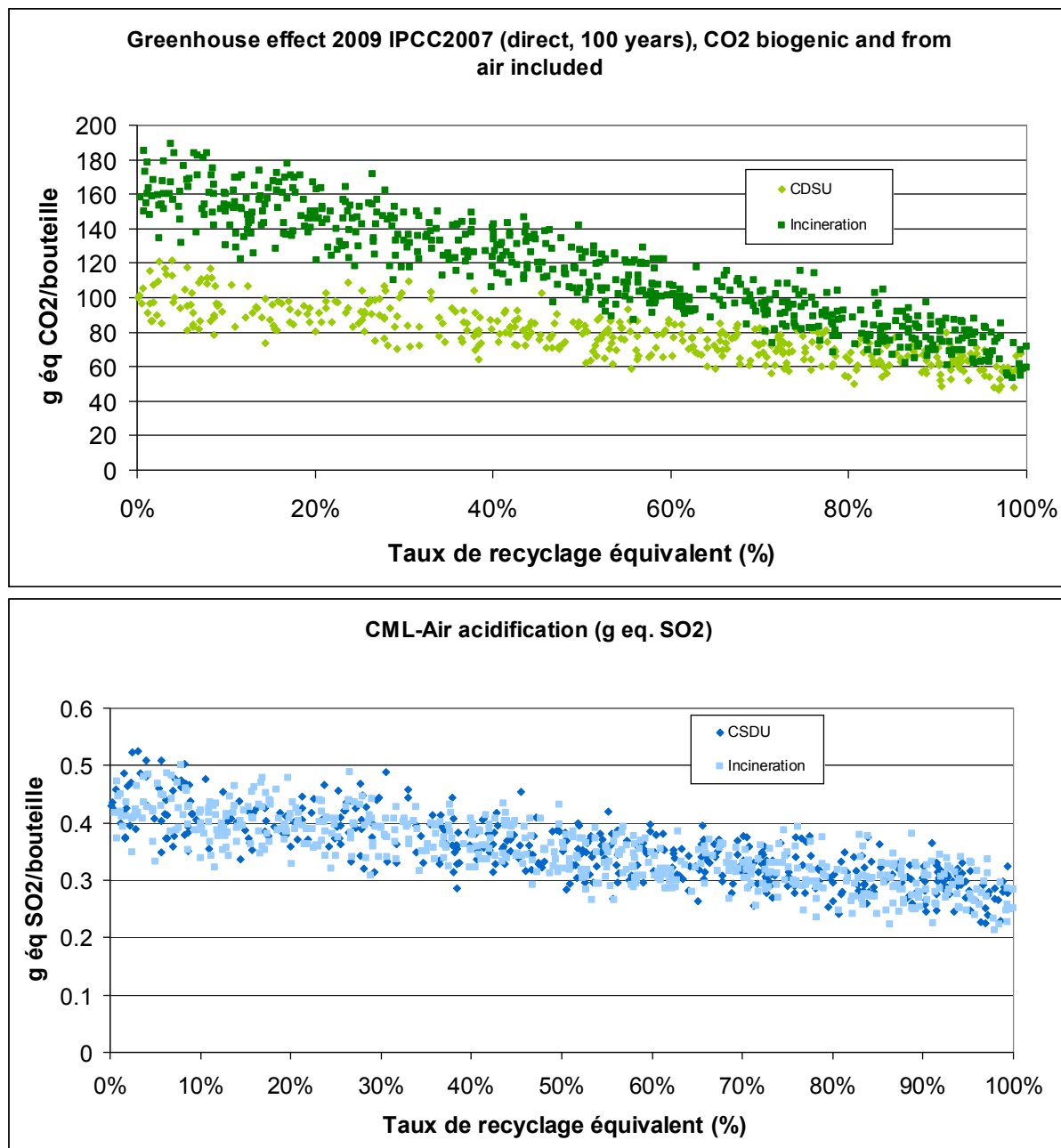
	CSDU	Incinération	TOTAL	Unité
Effet de serre	-41	-100	-74	g de CO ₂ /bouteille
Acidification de l'air	- 0.156	-0.157	-0.157	g de SO ₂ /bouteille
Eutrophisation	+0.0018	-0.0114	+0.006	g de PO ₄ /bouteille
Ressources énergétiques non renouvelables	- 1.65	-1.35	-1.5	MJ/bouteille
Eau	-0.025	+0.035	+0.007	litre/bouteille
Ressources minérales	+1.4 10 ⁻⁴	+2.1 10 ⁻⁴	+1.8 10 ⁻⁴	MJ/bouteille

Légende :

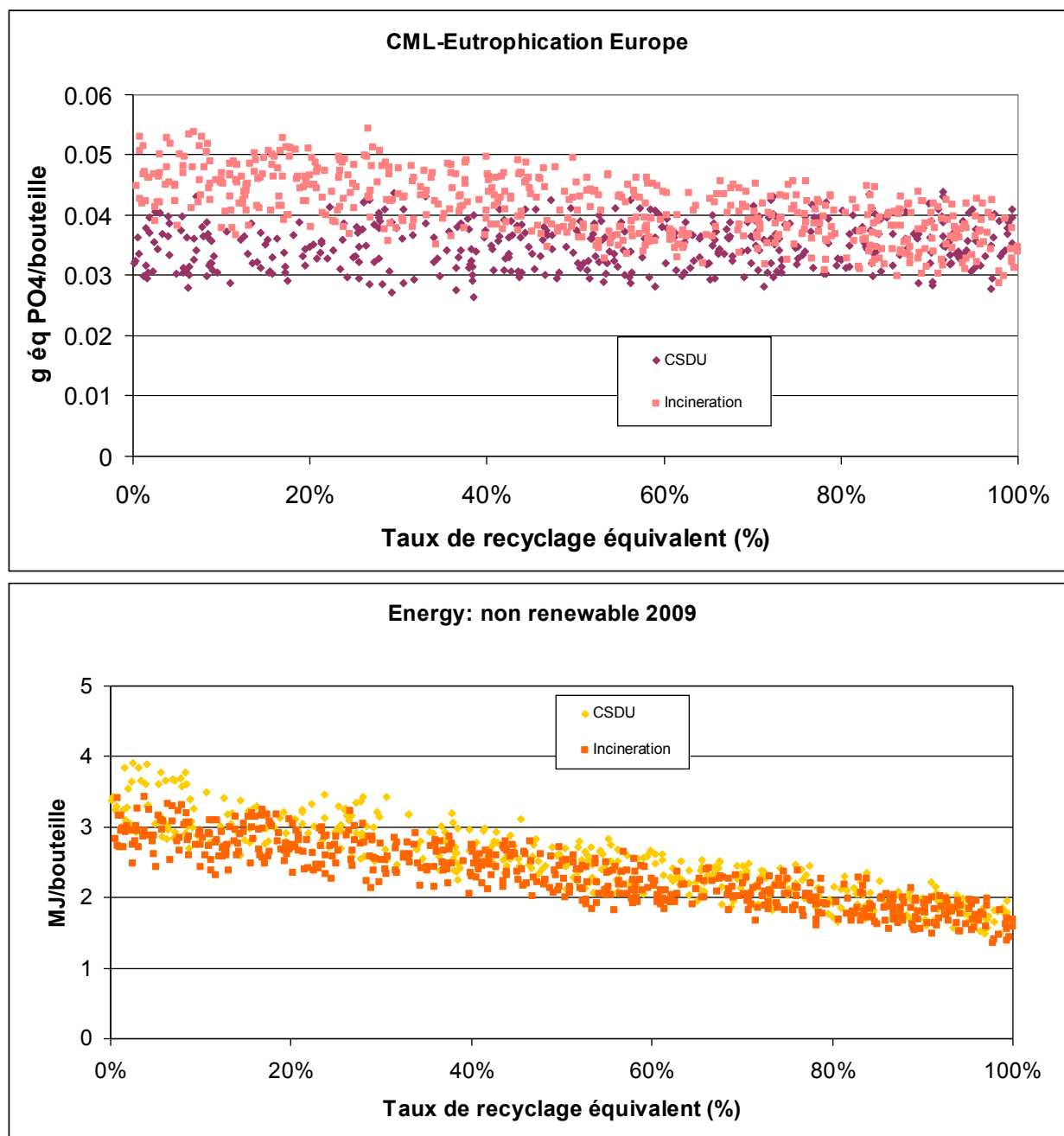
+ = augmenter

- = diminuer

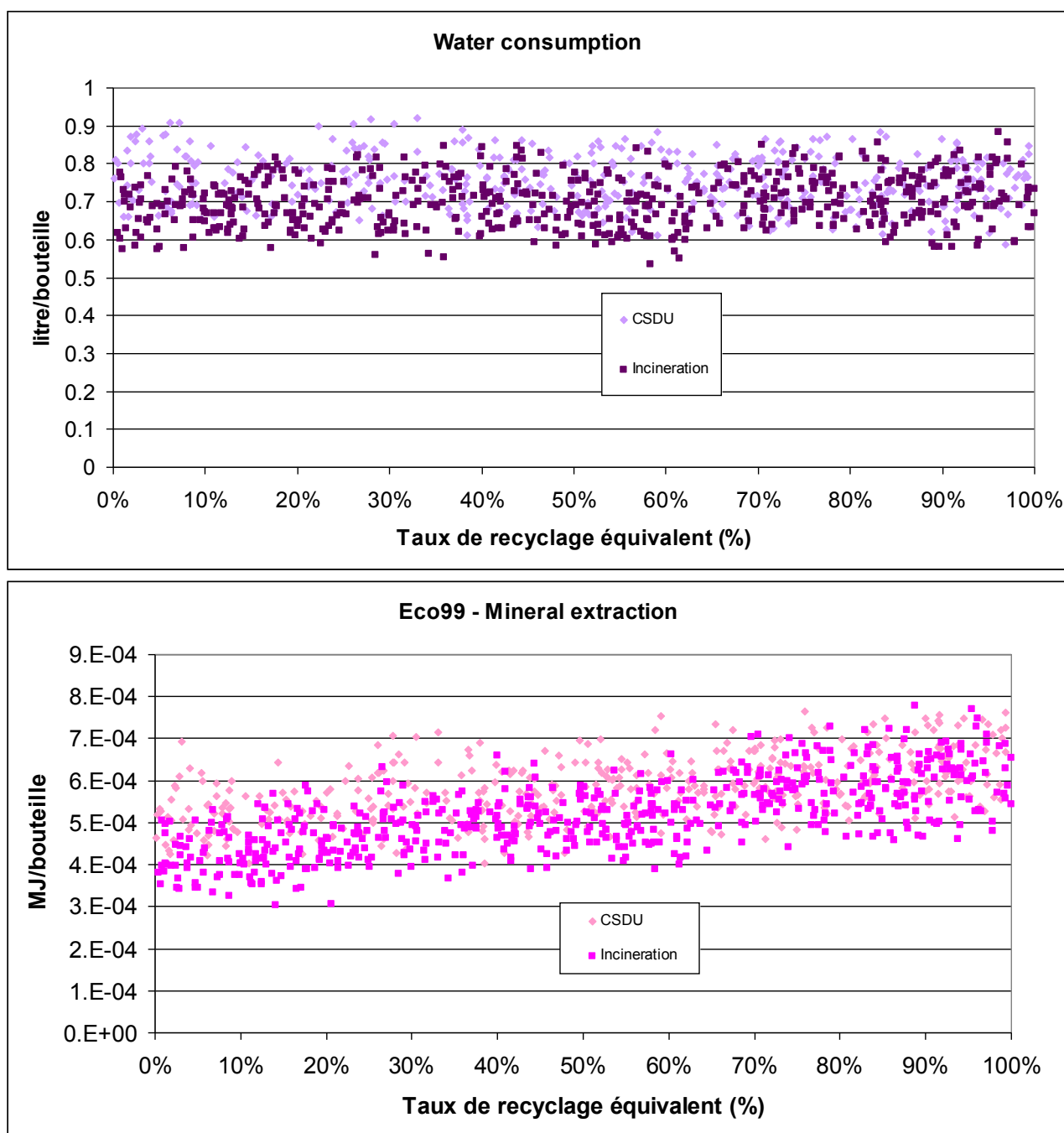
Figure 28 : Analyse de sensibilité – Taux de recyclage équivalent et type de fin de vie pour les bouteilles non recyclées



Le bilan plus important quand la bouteille est incinérée (pour la contribution à l'effet de serre) est due au fait que l'incinération des plastiques engendre des émissions de CO₂ (environ 2030 g CO₂/kg de PET incinéré) alors que les plastiques sont considérés comme stables en site d'enfouissement.



L'élimination de la bouteille par incinération présente un impact plus faible que son enfouissement en CSDU pour la consommation de ressources énergétiques. Ceci est dû au fait que l'incinération contrairement à l'enfouissement permet de récupérer de l'énergie sous forme de chaleur et d'électricité (cf. Tableau V-17).



L'élimination de la bouteille par incinération présente un impact plus faible pour la consommation d'eau que son enfouissement en CSDU. Ceci est dû au fait que l'incinération contrairement à l'enfouissement permet de récupérer de l'énergie sous forme de chaleur et d'électricité (cf. Tableau V-17). Dans cette modélisation, certains procédés de production d'électricité et particulièrement le nucléaire consomment une quantité non négligeable d'eau.

VI.5.4. CONCLUSIONS

A la lumière des analyses ci-dessus et afin d'illustrer, de manière réaliste, l'influence d'une diminution du poids de la bouteille et d'une augmentation du taux de recyclage équivalent, les figures suivantes ont été construites sur base des améliorations suivantes :

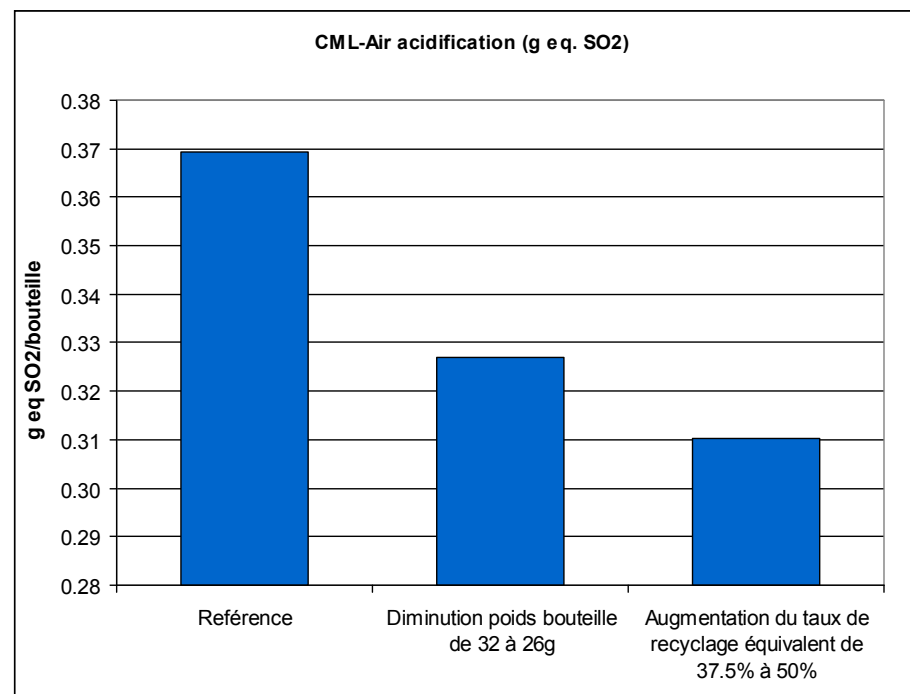
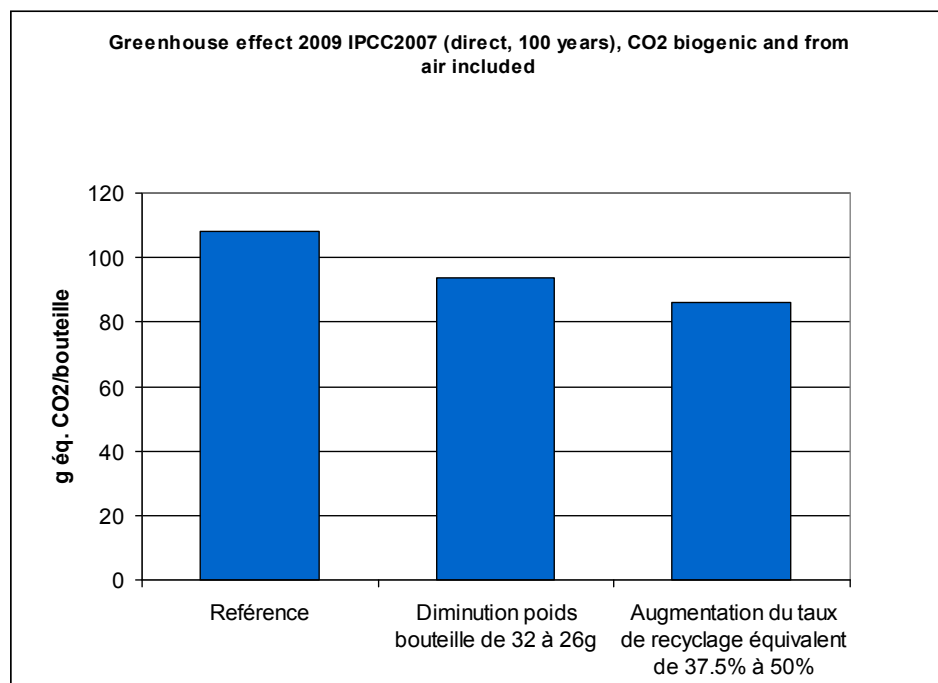
- la diminution du poids de la bouteille de 32 g à 26g en moyenne
- l'augmentation du taux de recyclage équivalent de 37.5% à 50%

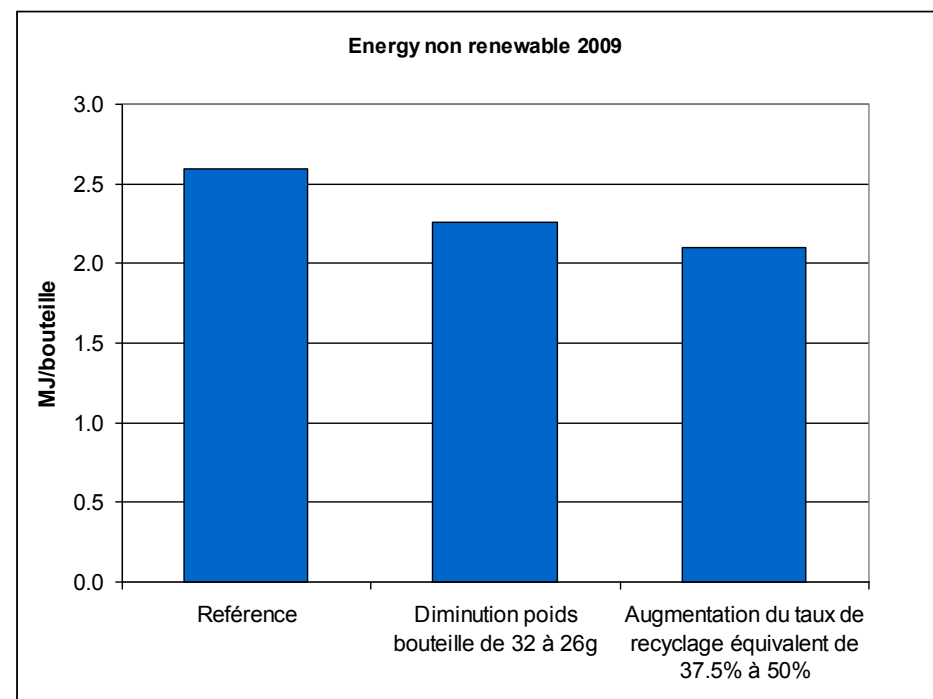
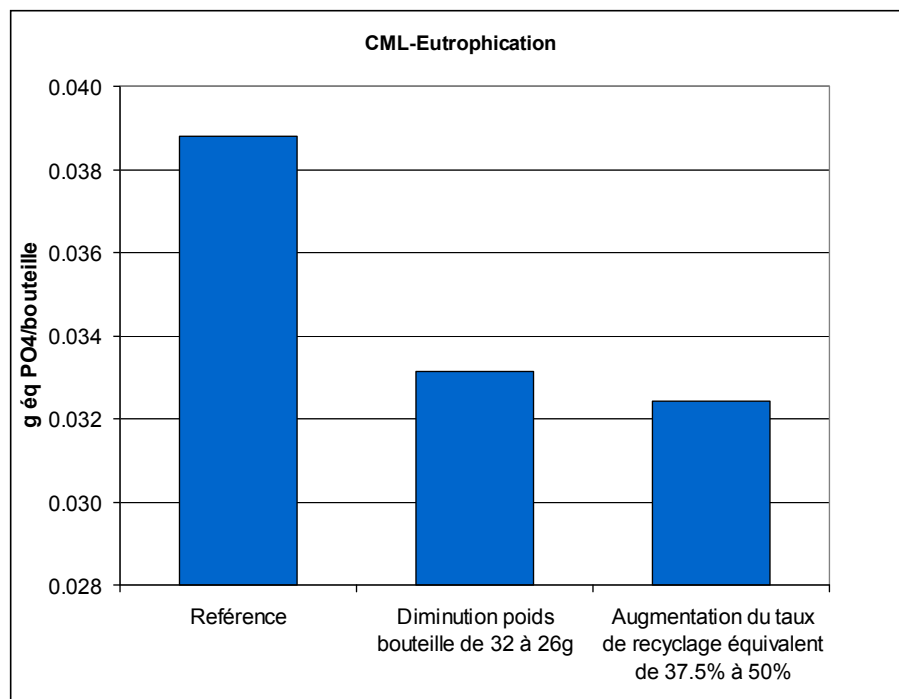
Cette augmentation du taux de recyclage équivalent peut passer par une augmentation des performances de la collecte sélective (et donc du taux de recyclage associé) et/ou une augmentation du taux de PET recyclé incorporé dans la bouteille. Les deux alternatives sont :

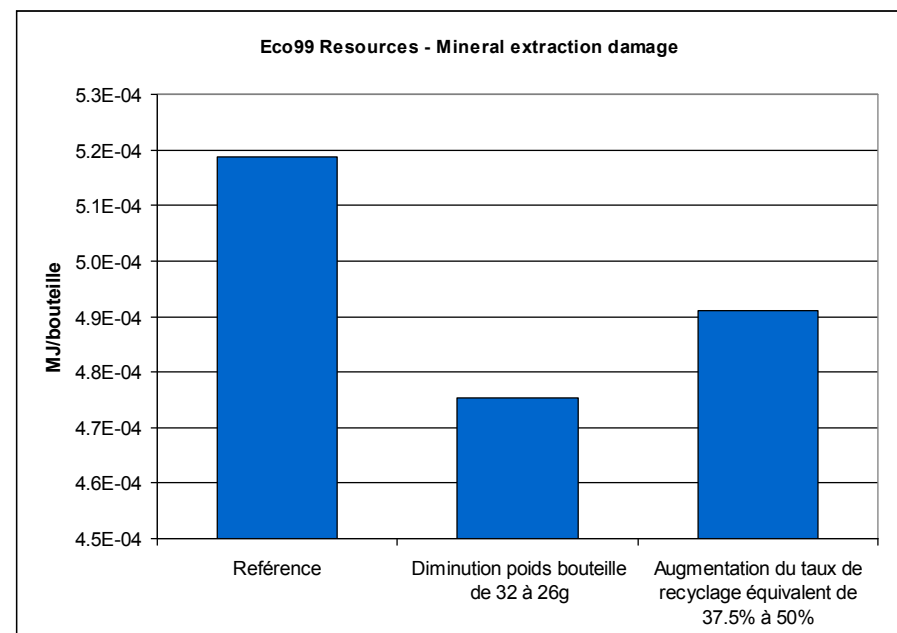
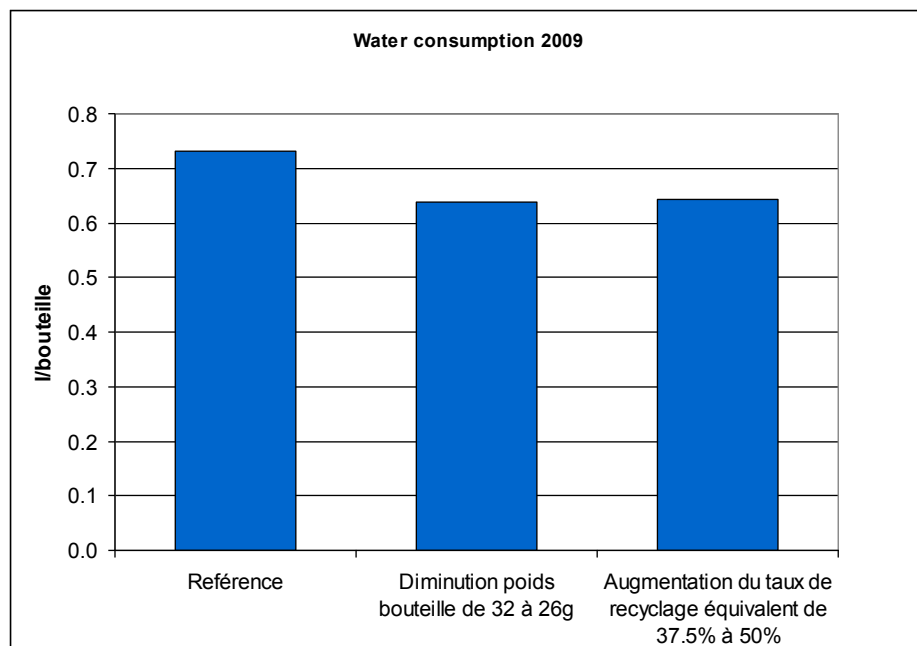
- R1 : 25% → 50% ou
- R2 : 50% → 75%

Le graphique ci-dessous représente la seconde situation (R2 : 50% → 75%).

Le troisième histogramme résulte des deux actions cumulées. Pour connaître, le bilan propre de l'action « augmentation du taux de recyclage équivalent, il faut soustraire les résultats du second et du troisième histogramme.







VII. Conclusions

VII.1 Rappel des objectifs de l'étude

Les objectifs de l'étude sont :

- Quel est l'impact environnemental global de la bouteille PET et quelles sont les phases qui contribuent le plus à ce bilan ?
- Quelles sont les leviers d'amélioration du bilan environnementale de la bouteille PET dans une perspective d'éco-conception ?
- Quel est le bilan environnemental de la bouteille PET en fonction de sa recyclabilité (recyclage en application bouteille, recyclage en application fibre...)?
- Quels sont les paramètres d'incertitude au niveau des données et des choix méthodologiques et comment influencent-ils le bilan ?

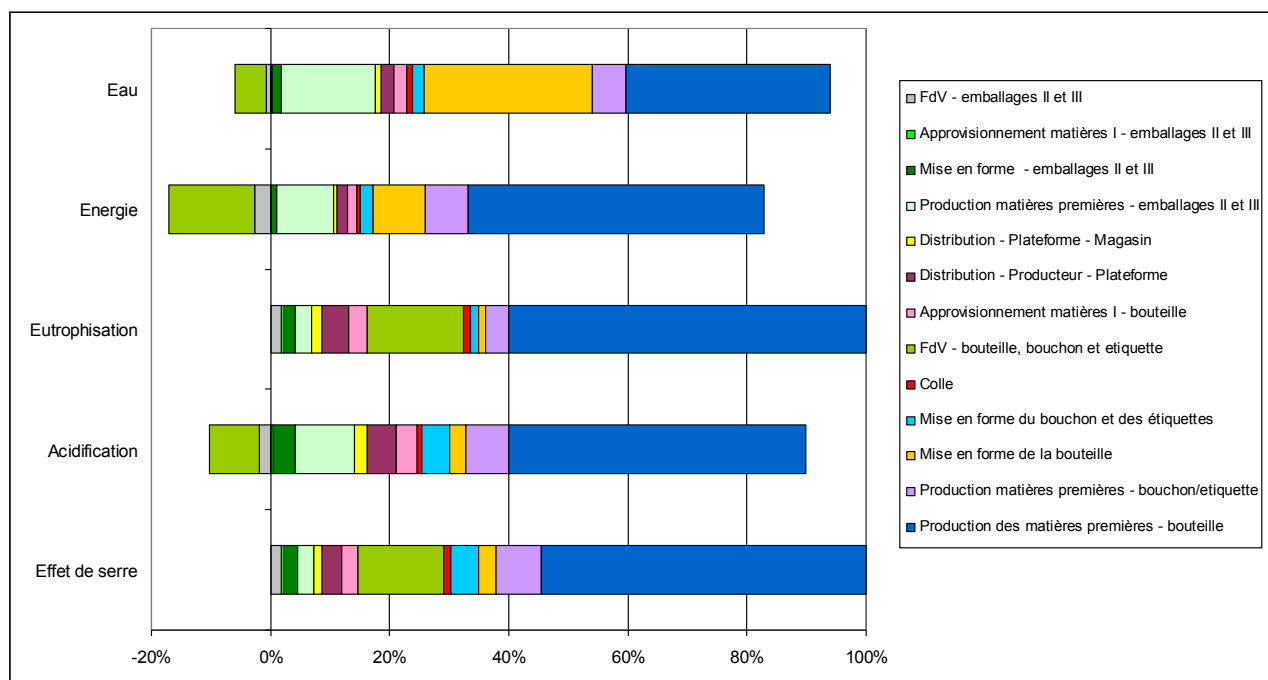
VII.2 Bilan global de la bouteille de 1.5l monocouche sans colorant ni opacifiant recyclée en application bouteille

Conclusion 1 : La consommation d'1,5 l de boissons contribue aux différentes catégories d'impacts à raison de :

	Allocation 50/50 $R_1 = 25\% - R_2 = 50\%$
Contribution à l'effet de serre (g éq. CO ₂ /bouteille)	108
Contribution à l'acidification de l'air (g éq. SO ₂ /bouteille)	0.4
Contribution à l'eutrophisation (g éq. PO ₄ /bouteille)	0.04
Consommation de ressources énergétiques non renouvelables (MJ/bouteille)	2.6
Consommation d'eau (litre/bouteille)	0.7
Consommation de ressources minérales (MJ/bouteille)	$5.2 \cdot 10^{-4}$
Production de déchets finaux (kg/bouteille)	0.014

VII.3 Contribution des différentes étapes du cycle de vie

Conclusion 2 : Pour les bouteilles en PET, la phase la plus importante est la production des matières premières pour les emballages primaires. La seconde phase la plus important varie suivant les catégories d'impacts.



	Valeur totale	Phase la plus contributrice		
		1	2	3
Effet de serre	108 g de CO ₂ /bouteille	Production matières premières pour la bouteille	Production des matières premières pour les emballages II et III	Production matières premières pour le bouchon et l'étiquette
Acidification de l'air	0.4 g de SO ₂ /bouteille	Production matières premières pour la bouteille	Production des matières premières pour les emballages II et III	Fin de vie
Eutrophisation	0.04 g de PO ₄ /bouteille	Production matières premières pour la bouteille	Fin de vie de la bouteille, du bouchon et de l'étiquette	Production des matières premières pour les emballages II et III
Ressources énergétiques non renouvelables	2.5 MJ/bouteille	Production matières premières pour la bouteille	Fin de vie de la bouteille, du bouchon et de l'étiquette	Production des matières premières pour les emballages II et III

Eau	0.7 l/bouteille	Production matières premières pour la bouteille	Mise en forme de la bouteille	Production des matières premières pour les emballages II et III
Déchets	0.015 kg/bouteille	Fin de vie	/	/

Cette importance des différentes phases permet de hiérarchiser les priorités en matière d'éco-conception aux actions pouvant influencer la production des matières premières de la bouteille, la fin de vie des bouteilles et la production de matières premières pour les emballages II et III.

VII.4 Paramètres les plus influents sur le bilan environnemental

Conclusion 3 : Les paramètres clés les plus influents sont le poids, le taux d'incorporation de RPET et la recyclabilité de la bouteille.

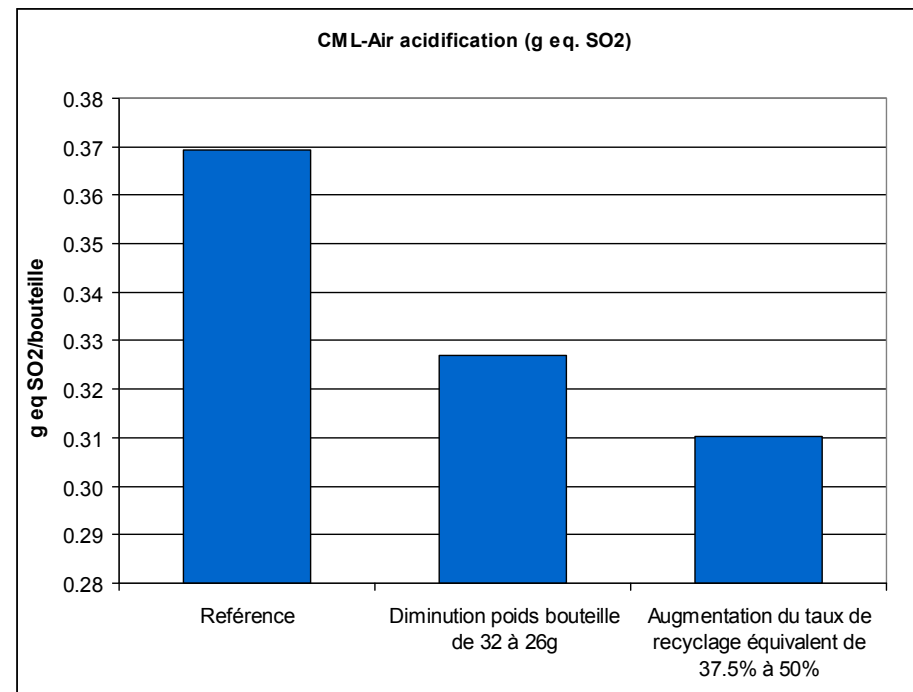
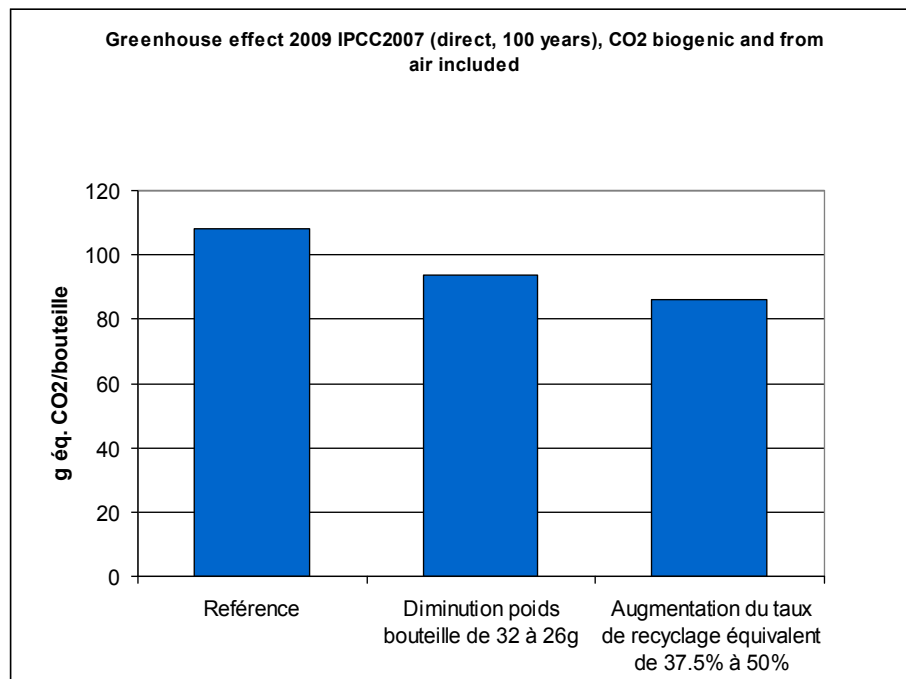
Les principaux axes d'éco-conception pour améliorer le bilan environnemental de la bouteille en PET (monocouche sans opacifiant ni colorant recyclée en application bouteille et pour une situation de marché pour le PET recyclé qui engendre une allocation 50/50 des bénéfices du recyclage) se situent au niveau de :

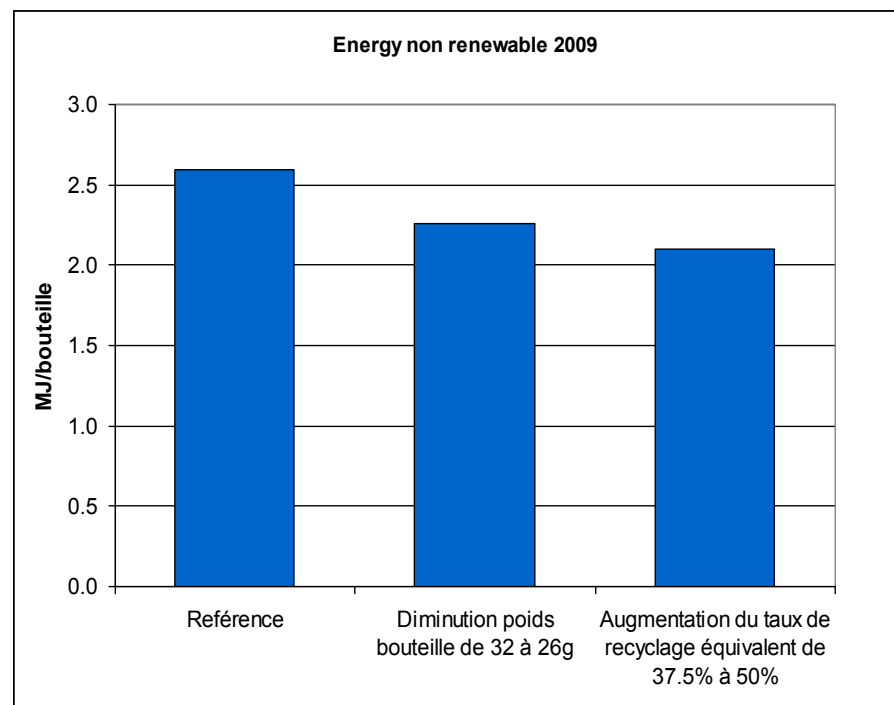
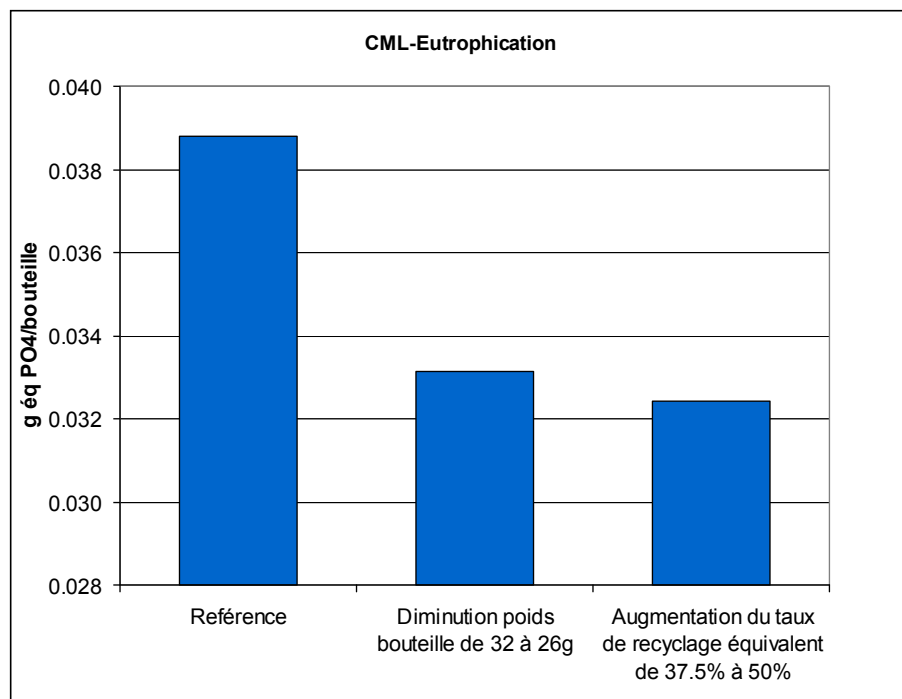
- la diminution du poids de la bouteille
- l'augmentation du taux de recyclage équivalent par une augmentation de la quantité de RPET dans la bouteille de PET et/ou par la conception de bouteilles s'intégrant dans les filières de recyclage (fibre ou bouteille).

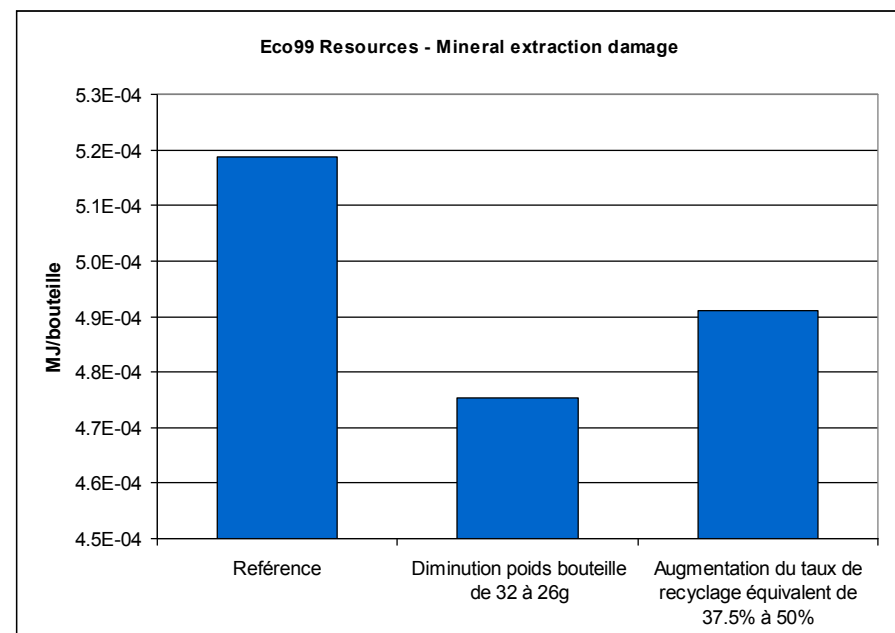
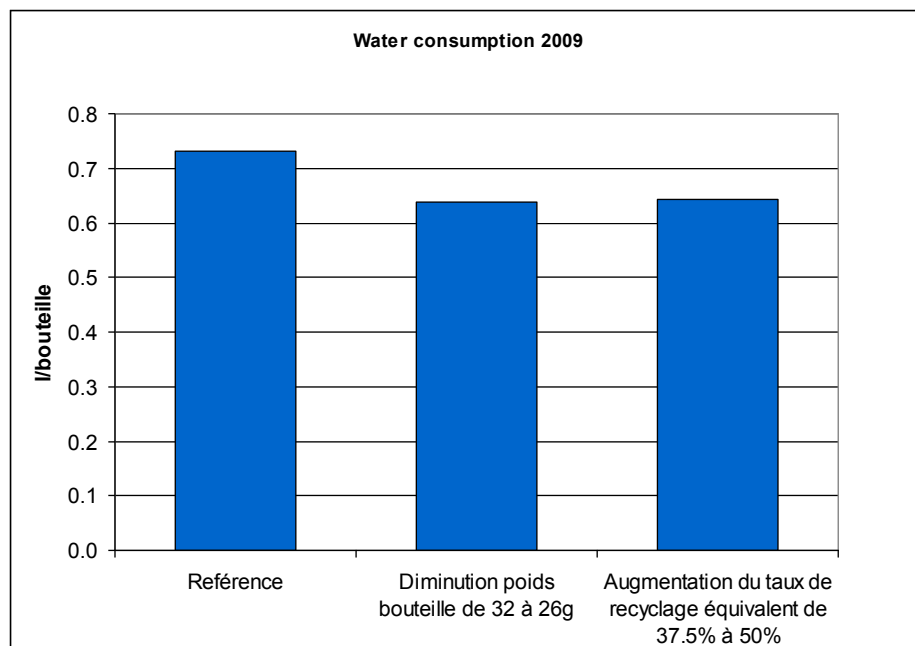
Il est à noter que le taux de recyclage équivalent augmenterait également avec une augmentation du taux de collecte sélective (effort porté par le consommateur).

Le graphique ci-dessous représente la seconde situation (R2 : 50% → 75%).

Le troisième histogramme résulte des deux actions cumulées. Pour connaître, le bilan propre de l'action « augmentation du taux de recyclage équivalent », il faut soustraire les résultats du second et du troisième histogramme.







La réalisation de ces deux améliorations permet de réduire le bilan environnemental de la bouteille 1.5l en PET de :

	Réduction du poids à 26g	Augmentation du taux de recyclage équivalent de 37,5% à 50%	Unité
Effet de serre	-14	-7	g éq CO2/bouteille
Acidification de l'air	-0.04	-0.02	g éq SO2/bouteille
Eutrophisation	-0.006	-0.001	g éq PO4/bouteille
Ressources énergétiques non renouvelables	-0.35	-0.15	MJ/bouteille
Eau	-0.1	+0.005	l/bouteille
Ressources minérales	-4E-05	+1.5E-05	MJ/bouteille

VII.5 Influence des différentes couches barrières sur la recyclabilité

Conclusion 4 : Pour la plupart des catégories d'impact, le recyclage en application fibre présente un bilan environnemental plus faible que le recyclage en application bouteille.

Les bénéfices du recyclage en application fibre par rapport à l'application bouteille vont de 1% à 3% par bouteille de 0.5l pour les catégories d'impacts suivantes :

- Contribution à l'effet de serre
- Contribution à l'acidification de l'air
- Consommation de ressources énergétiques non-renouvelables
- Consommation de ressources minérales

et de 6% à 12% par bouteille de 0.5l pour les catégories d'impact suivantes :

- Contribution à l'eutrophisation
- Consommation d'eau

et ce principalement parce que les impacts liés à la seconde étape du procédé de recyclage ne sont pas compensés par le gain obtenu via la production évitée de PET grade bouteille.

Conclusion 5 : Quel que soit le type de recyclage (bouteille ou fibre), la recyclabilité de la bouteille amène pour la plupart des catégories d'impacts un gain environnemental.

La recyclabilité de la bouteille en application fibre ou bouteille amène pour la plupart des catégories d'impacts un gain environnemental variant de 0% à 15% au bilan global de la bouteille de 0.5l suivant les catégories d'impacts par rapport à une bouteille non recyclable.

VII.6 Influence de la situation de marché pour le PET recyclé

Conclusion 6 : La situation de marché pour le PET recyclé influence l'allocation des bénéfices du recyclage. Cette allocation des bénéfices du recyclage a une très forte influence sur les résultats.

Dans cette étude, les bénéfices du recyclage peuvent être alloués selon 3 modalités :

- Allocation des bénéfices à 50/50 entre les deux systèmes : dans ce cas, l'augmentation du taux de recyclage comme celui de l'incorporation de R PET vont permettre une amélioration du bilan environnemental.
- Allocation des bénéfices au produit qui fournit la matière recyclée : dans ce cas, l'augmentation du taux de recyclage par le développement des collectes sélectives va permettre de réduire le bilan environnemental des bouteilles. Dans ce cas, incorporer du R-PET n'a aucune incidence sur le bilan environnemental.
- Allocation des bénéfices au produit qui incorpore la matière recyclée : dans ce cas, plus le taux d'incorporation du R-PET est élevé, plus le bilan environnemental est amélioré. Recycler davantage de PET n'a en revanche aucune influence sur le bilan.

Compte tenu du taux de collecte sélective actuel (50%) et des pratiques actuelles en termes d'incorporation de R-PET (25%), le bilan environnemental le plus favorable pour la bouteille en PET est actuellement obtenu via l'allocation des bénéfices au produit qui fournit la matière

recyclée, méthode la plus pertinente étant donné la situation du marché actuelle pour le R PET, et ce pour une majorité des indicateurs d'impacts environnementaux comme illustré dans le tableau ci-dessous.

	Bouteille monocouche sans additif, colorant ou opacifiant Application bouteille R1 = 25% et R2 = 50%		
	Fournisseur	50/50	Incorporateur
Contribution à l'effet de serre g éq CO ₂ /bouteille	100	108	117
Contribution à l'acidification de l'air g éq SO ₂ /bouteille	0.35	0.37	0.39
Contribution à l'eutrophisation g éq PO ₄ /bouteille	0.038	0.039	0.039
Consommation de ressources énergétiques non-renouvelables MJ/bouteille	2.41	2.60	2.78
Consommation d'eau litre/bouteille	0.72	0.73	0.74
Consommation de ressources minérales MJ surplus/bouteille	5.4E-04	5.2E-04	5.0E-04

De plus, comme souligné précédemment, les leviers d'optimisation restent constant quelque soit la situation de marché : Poids de la bouteille et taux de recyclage équivalent.

Toutefois, les leviers sur le taux de recyclage équivalent varient en fonction de l'allocation :

- Allocation fournisseur : taux de collecte sélective ou recyclabilité
- Allocation incorporateur : taux d'incorporation de RPET
- Allocation 50/50 : taux de collecte sélective (ou recyclabilité) et d'incorporation de RPET

VII.7 Sources de données pour l'affichage environnemental

VII.7.1.DONNEES PRIMAIRES A COLLECTER

Les données primaires suivantes devront être collectées au minimum et donc spécifiques pour chaque référence soumise à l'affichage environnemental :

- Description de l'emballage primaire
 - Quantité et matériaux pour la production de la bouteille

- Taux d'incorporation de matériau recyclé (si allocation 50/50 reste la norme pour les plastiques)
- Fin de vie
 - Le taux de recyclage
 - Le taux d'incinération et de mise en décharge

VII.7.2.DONNEES SECONDAIRES A AMELIORER

Les données secondaires suivantes devront faire l'objet d'un travail d'analyse et d'éventuels développements :

- Procédé d'incinération et de mise en décharge notamment concernant les éléments suivants :
 - Traitement des rejets dans l'eau
 - Traitement des fumées
- Tout procédé consommateur d'énergie

Pour les procédés de recyclage, de production...il serait intéressant de pouvoir disposer des informations suivantes :

- Lieu de production (zone géographique du site ou des sites de production)
- Quantité et type d'énergie consommée (électricité, gaz...)

VII.7.3.CATEGORIES D'IMPACTS

La prise en compte de la consommation d'eau dans les ACV est une démarche complexe et la méthodologie correspondante doit encore davantage se développer. En effet, les données actuellement disponibles (en particulier dans le cadre de cette étude les écoprofiles pour la production des polymères) ne permettent pas d'identifier les parts des différentes provenances de l'eau. Il n'est donc pas possible d'élaborer une méthodologie fine d'évaluation d'impact qui ne considérerait, par exemple, que la consommation d'eau de certaines provenances. Il est par contre possible de distinguer les différents types d'usage de l'eau.

VIII. Annexes

VIII.1 Annexe 1 : Modélisation de la production d'électricité

VIII.1.1. L'APPROCHE ATTRIBUTIONNELLE

L'approche attributionnelle consiste à observer la production dans un pays donné et à la répartir entre les consommateurs.

- L'approche attributionnelle en moyenne annuelle

La répartition entre les consommateurs est faite de façon uniforme. Autrement dit, il est considéré que pour répondre à la demande d'un consommateur, tous les types de centrales disponibles dans le pays seront mis à contribution, proportionnellement à leurs parts dans la génération nationale d'électricité sur base annuelle. Le mix électrique considéré est toujours le même pour une zone géographique donnée et quel que soit le moment de consommation.

Cette approche moyenne est une simplification de la réalité qui demande à être affinée, et ne doit donc pas être privilégiée face aux approches plus avancées. Cependant, afin de permettre la comparaison des résultats avec d'autres études dans lesquelles elle est souvent utilisée en raison de sa simplicité, elle est présentée en analyse de sensibilité.

- L'approche attributionnelle avec typologie de consommation - moyenne des mix horaires (des périodes de consommation)⁴⁶

Cette approche considère que les moyens de production mis en œuvre varient en fonction des profils de consommation :

- certains sont plus aptes à produire en continu (comme le nucléaire) et ils se retrouvent dans le mix à toute heure mais ont une part plus élevée aux moments de basse consommation ;
- d'autres sont utilisés spécifiquement pour répondre à des pics de consommation (comme le fuel, en hiver et/ou en milieu de journée) et n'apparaissent que dans les mix des heures de pointe

Sur base des données de production fournies par les gestionnaires de réseau en Belgique (Elia) et en France (RTE), il est possible de déterminer ce mix électrique.

- L'approche attributionnelle avec typologie de consommation - attribution par type de centrale⁴⁷ (moyenne pondérée des mix horaires)

En pratique, le calcul des mix électriques attributionnels avec typologie de consommation respecte le principe suivant : les moyens de production mis en œuvre varient en fonction du moment de consommation

- certains modes de production sont plus aptes à produire en continu (comme le nucléaire)
- d'autres sont utilisés spécifiquement pour répondre à des pics de consommation (comme le fuel, en hiver et/ou en milieu de journée).
- si un consommateur avec un certain profil de consommation augmente (ou réduit) sa consommation, c'est le même mix que celui attribué à ce profil qui va répondre à

⁴⁶ Approche verticale

⁴⁷ Approche horizontale

cette modification de consommation, pour autant que les modes de production ne soient pas saturés ou non-corrélés à la demande.

La différence avec l'attributionnel – moyenne des mix horaires, c'est qu'on attribue les moyens de production à 1 typologie et pas à une heure de la journée. Si on ajoute une consommation continue, le producteur répond en utilisant plus de centrales de base. Si on ajoute une consommation en période de pointe, le producteur répond en utilisant plus de centrales de pointe.

VIII.1.2. L'APPROCHE CONSEQUENTIELLE

Contrairement à l'approche attributionnelle qui décrit une situation figée (les moyens de production permettant de produire aujourd'hui l'électricité souhaitée), l'approche conséquentielle modélise les conséquences sur les moyens de production d'électricité d'un accroissement (ou d'une diminution) de la demande. Elle modélise la différence entre une situation future projetée suite à la décision prise en faveur ou en défaveur du système étudié et la situation actuelle. En ce sens, elle modélise les effets de la décision envisagée (de consommer davantage ou moins d'électricité).

On peut raisonner sur une approche court-terme ou long-terme selon l'échelle de temps considérée et les impacts de la décision.

En pratique, le calcul des mix électriques conséquentiels respecte les principes suivants :

- Moyens de production mis en œuvre varient en fonction du moment de consommation : cf. ci-dessus
- Exclusion des sources d'énergie dont la production est indépendante de la variation de la demande
 - On exclut du mix les sources d'énergie à saturation
 - L'hydraulique est exclue car à saturation, sauf pour les pays pour lesquels il est prouvé que ce mode de production n'est pas à saturation (par exemple : Pays scandinaves)
 - La géothermie peut être exclue si son utilisation est à saturation (ce n'est pas forcément toujours le cas)
 - On exclut du mix les sources d'énergie fatales⁴⁸
 - La production des incinérateurs de déchets est exclue car fatale
 - La production des centrales de cogénération est exclue car essentiellement dépendante d'une demande d'énergie thermique.

⁴⁸ C'est l'énergie inéluctablement présente ou piégée dans un processus ou un produit, qui parfois et pour partie peut être facilement récupérée et valorisée; Exemple : Le pouvoir calorifique de ces déchets est une forme d'énergie fatale. Sans récupération (récupération de chaleur, méthane, hydrogène et/ou électricité, etc., éventuellement avec co-ou tri-génération, cette énergie serait perdue dans l'environnement (dans les décharges) ou rejetée dans l'atmosphère. La combustion de déchets peut produire de la vapeur qui peut alimenter des serres, des usines ou un réseau urbain de chaleur. La méthanisation des déchets organiques peut produire de substantielles quantités de méthane, et un compost valorisable en agriculture

VIII.2 Annexe 2 : Situations de marché

VIII.2.1. SITUATIONS DE MARCHÉ

A. Introduction

Le "choix" de la règle d'allocation n'est pas un choix arbitraire mais le reflet des conséquences en réponse à la collecte sélective et/ou à l'incorporation de matière recyclée dans le produit. Il s'agit donc d'identifier les changements réellement attendus

B. Cas du PET

Le recyclage du PET nécessite à la fois :

- Une **fourniture de PET à recycler** : via la collecte sélective et le recyclage, caractérisé par le taux de recyclage
- Une **utilisation du PET recyclé** : via son incorporation dans une nouvelle bouteille ou dans la fibre, en substitution de PET vierge.

Grâce au recyclage, on ne produit et on n'élimine qu'une fois le PET pour deux (ou plus) utilisations consécutives. Lors de l'évaluation environnementale d'une bouteille à recycler ou d'une bouteille qui incorpore du PET recyclé, il faut donc tenir compte du fait que ces deux systèmes appartiennent à une chaîne commune et déterminer dans quelles proportions chacun est responsable de ces impacts.

Il s'agit d'identifier les changements réellement attendus en réponse à la collecte sélective et/ou à l'incorporation d'un % de RPET dans la bouteille.

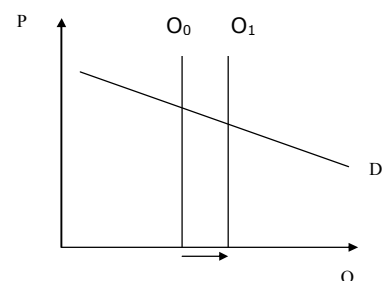
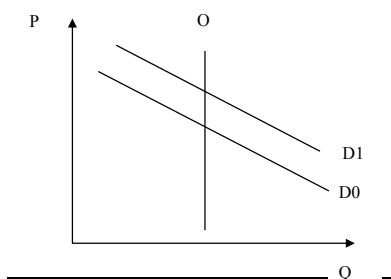
L'illustration des différentes situations de marché présentées ci-dessous n'existent évidemment pas de façon aussi extrême mais peuvent être une bonne approche aux alentours du point d'équilibre entre l'offre et la demande.

B.1 L'élasticité⁴⁹ de l'offre est nulle ($\epsilon_o=0$) et la demande est relativement élastique ($\epsilon_d \approx -1$)

Sur le marché des matières premières recyclées, l'offre est parfaitement inélastique ($\epsilon_o=0$) lorsque la mise à disposition de cette matière est prévue par la loi pour un certain quota Q , mais qu'il n'est pas rentable de produire plus de cette matière. A des prix raisonnables (inférieurs au prix de la matière première vierge), l'offre est donc limitée à la quantité Q .

Une augmentation de l'offre, qui correspond à une augmentation de la quantité offerte ΔQ_o sur le marché, se traduit par une augmentation égale de quantité échangée.

Par conséquent, les effets du recyclage sont à attribuer au processus qui fournit des matières recyclées (**fournisseur**).



⁴⁹ L'élasticité-prix de la demande est la variation en pourcent de la quantité demandée suite à une variation du prix de 1%. L'élasticité-prix de l'offre est la variation en pourcent de quantité offerte suite à une variation du prix de 1%.

Une augmentation de la demande se traduit par une variation nulle de quantité échangée.

Par conséquent, les effets du recyclage sont à attribuer au processus qui fournit des matières recyclées (**fournisseur**).

B.2 L'élasticité de la demande est nulle⁵⁰ ($\epsilon_d=0$) et l'offre est relativement élastique ($\epsilon_o \approx 1$)

Si la demande est parfaitement inélastique, parce que les demandeurs ont besoin d'une quantité fixe de matière première recyclée à tout prix, alors une augmentation de l'offre se traduira uniquement par une baisse de prix, et non de matière recyclée échangée.

Si l'offre de matières à recycler augmente, alors que la demande pour ce matériau recyclé n'augmente pas, d'autres flux de matières à recycler sont détournés vers l'élimination (incinération/enfouissement).

Par conséquent, les effets du recyclage sont à attribuer au processus qui consomme des matières recyclées (**incorporateur**).

B.3 L'élasticité de la demande est infinie ($\epsilon_d=\infty$) et l'offre est relativement élastique ($\epsilon_o \approx 1$)

La demande est parfaitement élastique lorsqu'une augmentation de prix chasse tous les demandeurs du marché, parce que soit ils n'ont pas vraiment besoin du produit, soit il y a un autre produit qui correspond exactement au premier. La quantité demandée à ce prix n'est limitée que par l'offre.

Par conséquent, les effets du recyclage sont à attribuer au processus qui fournit des matières recyclées (**fournisseur**).

B.4 L'élasticité de l'offre est infinie ($\epsilon_o=\infty$) et la demande est relativement élastique ($\epsilon_o \approx -1$)

La matière est disponible en quantité infinie à un prix donné.

Dans ce cas, une augmentation de la quantité demandée à un certain prix se traduit par une augmentation égale de la quantité échangée.

Par conséquent, les effets du recyclage sont à attribuer au processus qui consomme des matières recyclées (**incorporateur**).

B.5 Les élasticités de l'offre et la demande sont égales en valeur absolue autour du prix d'équilibre

Dans ce cas, si la demande (offre) pour la matière recyclée augmente (diminue) de 1% autour du prix d'équilibre, la consommation de matières recyclées augmente (diminue) de 0,5%. L'augmentation (diminution) de la quantité n'est pas de 1% car l'augmentation (diminution) du prix a pour effet que certains demandeurs (offreurs) renoncent.

Cette simplification (élasticités égales) du cas le plus courant, (élasticités non-nulles et non-infinies) est souvent considérée comme la meilleure approximation par défaut en absence de données plus précises sur les élasticités.

Par conséquent, les effets du recyclage sont à attribuer à la fois au processus qui fournit des matières recyclées (**fournisseur**) et au processus qui consomme des matières recyclées (**incorporateur**).

⁵⁰ Parfaitement inélastique

C. Application dans le cadre de cette étude - Recyclage du PET

Conformément aux recommandations du document BP X 30-323, la position de départ adoptée concernant le recyclage des plastiques consiste en une allocation dite « 50-50 », répartissant également le bénéfice entre le fournisseur et l'incorporateur de matière recyclée. Le bénéfice du recyclage de la bouteille en plastique est donc réparti pour moitié entre la filière amont de création du matériau recyclé (première vie de l'emballage) et la filière aval d'utilisation de ce matériau (seconde vie du matériau d'emballage). Cette position de départ résulte de la position du secteur des plastiques en France.

Sur base de l'analyse du marché du PET recyclé en Europe réalisée dans le cadre de l'étude pour le MEEDDAT⁵¹ en France : « Monétarisation du bénéfice du recyclage des plastiques et des papiers/cartons », RDC a clairement établi que **l'offre en R-PET est complètement inélastique** et le restera assurément lors des prochaines années et que la demande est infinie.

Ceci s'explique essentiellement :

- par le fait que, comme seul le flux des bouteilles est collecté sélectivement (pas les fibres), le marché de collecte concerne 4 Mt (bouteilles) et le marché d'incorporation 17 Mt (4 Mt bouteilles + 13 Mt fibres)
- et que, même si à terme on cherchait également à recycler les fibres, comme le PET recyclé a des caractéristiques très proches du PET vierge, son marché de substitution est donc à peu près celui de la matière vierge; il ne peut donc y avoir d'excédent.

C'est pourquoi **RDC recommande l'application d'une allocation des bénéfices du recyclage à la bouteille qui fournit la matière recyclée.** Ceci implique également qu'aucun bénéfice n'est alloué à l'action d'incorporation de PET recyclé dans la bouteille ou dans les fibres.

Précisions techniques :

- La situation du marché est évaluée sur le long terme, de façon structurelle. Il se peut que la situation passe par de courtes périodes où la situation s'inverse (fermeture des frontières chinoises...). S'il y a une baisse brusque et durable de la demande extra-européenne dans la fibre, il faudrait de l'ordre de 6 mois au marché pour rétablir un excès de demande (investissements des recycleurs et des incorporateurs). **La localisation en Europe des activités de recyclage et l'incorporation de PET recyclé dans les bouteilles sont des facteurs stabilisateurs du marché.**

Dans le cadre de cette étude, il s'agit d'un aspect méthodologique d'une importance majeure, compte tenu de l'influence de ce choix sur les résultats. Nous présenterons donc les situations suivantes :

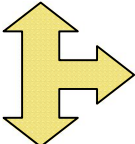

- la méthode d'allocation qui considère que 50 % des bénéfices vont au système qui incorpore la matière recyclée et 50 % des bénéfices vont au système qui fournit la matière recyclée (allocation **50 :50**)
- la méthode d'allocation des bénéfices du recyclage au système qui fournit la matière recyclée (allocation au **fournisseur** de matière recyclée) ;
- la méthode d'allocation des bénéfices du recyclage au système qui incorpore la matière recyclée (allocation à **l'incorporateur** de matière recyclée).

Cet aspect méthodologique est le premier point abordé dans les résultats (cf. point 0 p. 12) **étant donné son importance.**

⁵¹ Aujourd'hui MEEDDeM

VIII.2.2. TABLEAU RECAPITULATIF

Le tableau ci-dessous illustre les différents cas et plus particulièrement le cas spécifique du PET.

Cas	ϵ_O	ϵ_D	Allocation	
c1	0	≈ -1	Fournisseur	 RDC
c2	≈ 1	0	Incorporateur	
c3	≈ 1	∞	Fournisseur	
c4	∞	≈ -1	Incorporateur	
c5	$\epsilon_O \approx -\epsilon_D$		50% Fournisseur - 50% Incorporateur	 Secteur des plastiques Document BP X 30 323

VIII.3 Annexe 3 : Normalisation

Comme indiqué dans la norme ISO14044, la normalisation a pour but de faire mieux percevoir l'amplitude relative des résultats obtenus pour les différentes catégories d'impact en les exprimant par rapport à des données de référence. La norme ISO définit la normalisation comme une procédure qui transforme un résultat d'indicateur en le divisant par une valeur de référence choisie. Cette valeur peut correspondre aux émissions ou consommations totales pour une zone définie et être exprimée par *habitant et par an*. A titre d'information, les valeurs d'équivalents habitants (EH) associées à l'unité de référence de chacune des catégories sont reprises au tableau suivant ainsi que les valeurs en EH qui en découlent par unité de référence de chaque catégorie. Les données sont basées d'une part sur les émissions et consommations en France et d'autre part sur celle en Europe.

Tableau VIII-1 : Valeurs des émissions et consommations annuelles d'un habitant moyen en France et en Europe permettant la normalisation xx

Indicateur	Emissions annuelles Eq. Européen source : <i>Study on external environmental effects related to life cycle of products and services (février 2003)</i>	Unité
Effet de serre	9 300	kg CO ₂ équivalent
Eutrophisation	7 000	g PO ₄ équivalent
Acidification	45 000	g SO ₂ équivalent
Consommation d'énergie non renouvelable	170 000	MJ
Dommages liés à l'extraction de minéraux	Normalisé sur base de la consommation d'énergie non renouvelable : 170 000	MJ
Consommation d'eau	59	m ³

VIII.4 Annexe 4 : Facteurs de caractérisation

VIII.4.1. CONTRIBUTION A L'EFFET DE SERRE

Name of elementary flows	g eq. CO2/g	Name of elementary flows	g eq. CO2/g
Bromomethane (CH3Br)	5	Methane (CH4)	25
Carbon Dioxide (CO2)	1	Methyl Chloride (CH3Cl)	13
Carbon Tetrachloride (CCl4)	1 400	Methyl Chloroform (CH3CCl3, HC-140a)	146
Carbon Tetrafluoride (CF4)	7 390	Methylene Bromide (CH2Br2)	1
CFC 11 (CFC13)	4 750	Methylene Chloride (CH2Cl2)	9
CFC 113 (CFC12CFC12)	6 130	Nitrous Oxide (N2O)	298
CFC 114 (CF2ClCF2Cl)	10 000	Perfluorocyclo-butane (c-C4F8)	10 300
CFC 115 (CF3CF2Cl)	7 370	Perfluorohexane (C6F14)	9 300
CFC 12 (CCl2F2)	10 900	Sulphur Hexafluoride (SF6)	22 800
CFC 13 (CF3Cl)	14 400	Carbon Dioxide (CO2, biomass)	1
Chloroform (CHCl3)	30	HFC 41 (CH3F)	97
Halon 1201 (CHF2Br)	470	Perfluorobutane (C4F10)	8 860
Halon 1211 (CF2ClBr)	1 890	Perfluoropentane (C5F12)	9 160
Halon 1301 (CF3Br)	7 140	Perfluoropropane (C3F8)	8 830
Halon 2402 (CF2ClBr)	1 640	HFE 125 (CF3OCHF2)	14 900
HCFC 123 (CHCl2CF3)	77	HFE 134 (CHF2OCHF2)	6 320
HCFC 124 (CHClCF3)	609	HFE 143a (CH3OCF3)	756
HCFC 141b (CFC12CH3)	725	HCFE 235da2 (C3H2ClF5O)	350
HCFC 142b (CF2ClCH3)	2 310	HFE 245fa2 (C3H3F5O)	659
HCFC 22 (CHF2Cl)	1 810	HFE 254cb (C3H4F4O)	359
HCFC 225ca (C3HF5Cl2)	122	HFE 7100 (C4F9OCH3)	390
HCFC 225cb (C3HF5Cl2)	595	HFE 7200 (C4F9OC2H5)	55
HCFC 43-10 mee	1 640	HFC 152 (CH2FCH2F)	43
Hexafluoroethane (C2F6, FC116)	12 200	HFC 236cb (CH2FCF2CF3)	1 300
HFC 125 (CF3CHF2)	3 500	HFC 236ea (CHF2CHFCF3)	1 200
HFC 134 (C2H2F4)	1 100	HFC 365mfc (C4H5F5)	794

HFC 134a (CF ₃ CH ₂ F)	1 430	HFC 161 (CH ₃ CH ₂ F)	12
HFC 143 (C ₂ H ₃ F ₃)	330	HCFC 21 (CHCl ₂ F)	210
HFC 143a (CF ₃ CH ₃)	4 470	Methan (biomass)	25
HFC 152a (CHF ₂ CH ₃)	124	Carbon Dioxide (CO ₂ from air) Encoded in positive	-1
HFC 227ea (CF ₃ CF ₂ CHF ₂)	3 220		
HFC 23 (CHF ₃)	14 800		
HFC 236fa (CF ₃ CF ₂ CH ₂ F)	9 810		
HFC 245ca (CF ₃ CF ₂ CH ₃)	640		
HFC 32 (CH ₂ F ₂)	675		

Source: IPCC 2007

VIII.4.2. CONTRIBUTION A L'EUTROPHISATION

Medium	Name of elementary flows	g eq. PO ₄ /g
(a)	Ammonia (NH ₃)	0.115
(a)	Nitrogen Dioxide (NO ₂)	0.051
(a)	Nitrogen Oxides (NO _x as NO ₂)	0.051
(a)	Ammonia (NH ₄ ⁺ , as N)	0.35
(a)	COD (Chemical Oxygen Demand)	0.022
(w)	Nitrate (NO ₃ ⁻)	0.1
(w)	Nitrite (NO ₂ ⁻)	0.1
(w)	Nitrogen (N, total)	0.42
(w)	Nitrogenous Matter (Kjeldahl, as N)	0.42
(w)	Nitrogenous Matter (unspecified, as N)	0.42
(w)	Phosphates (PO ₄ ³⁻ , HPO ₄ ²⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ , H ₃ PO ₄)	1
(w)	Phosphorous Matter (unspecified, as P)	3.06
(w)	Phosphorus (P)	3.06
(w)	Phosphorus Pentoxide (P ₂ O ₅)	1.34

(a)= air ; (w) = water –

Source: CML (update 2008) + Huijbregts & Seppala (2000 and 2001)

VIII.4.3. CONTRIBUTION A L'ACIDIFICATION

Name of elementary flows	g eq. SO ₂ /g
Ammonia (NH ₃)	1.88
Hydrogen Chloride (HCl)	0.88
Hydrogen Fluoride (HF)	1.6
Hydrogen Sulphide (H ₂ S)	1.88
Nitrogen Dioxide (NO ₂)	0.7
Nitrogen Monoxide (NO)	1.07
Nitrogen Oxides (NO _x as NO ₂)	0.7
Sulphuric Acid (H ₂ SO ₄)	0.65
Sulphur Trioxide (SO ₃)	0.8
Sulphur Dioxide (SO ₂)	1

Source: Hauschild & Wenzel (1998). (in CML update 2008)

VIII.4.4. CONSOMMATION D'ENERGIE NON RENOUVELABLE

Name of elementary flows	MJ/kg
Coal (in ground)	19
E Unspecified Fuel Energy	1
Lignite (in ground)	9.5
Natural Gas (in ground)	48.1
Oil (in ground)	45.6
Peat	9.9
Uranium (U, ore)	45100

Source: Buwal (ETH, 1996), except for peat for which the source is the impact category 'cumulated energy demand' (Authors: Niels Jungbluth ESU-Services Ltd and Rolf Frischknecht (formerly) ecoinvent center, Empa; Review: Hans-Jörg Althaus, Gabor Doka, Roberto Dones, Gerald Rebitzer and Olivier Joliet; Last changes: 2007).

VIII.4.5. DOMMAGES LIES A L'EXTRACTION DE MINERAUX

Name of elementary flows	MJ surplus
Bauxite (Al ₂ O ₃ .2 H ₂ O, ore)	2.38
Chromium (Cr, ore)	0.9165
Copper (Cu, ore)	36.7
Iron (Fe, ore)	0.051
Lead (Pb, ore)	7.35
Manganese (Mn, ore)	0.313
Mercury (Hg, ore)	165.5
Molybdenum (Mo, ore)	41
Nickel (Ni, ore)	23.75
Tin (Sn, ore)	600
Zinc (Zn, ore)	4.09

Source : Eco99 Resources, Mineral extraction damage, hierarchist

VIII.4.6. CONSOMMATION D'EAU

Name of elementary flows	litres
Water : lake	1
Water : salted, sole	1
Water : Public Network	1
Water : River	1
Water : Sea	1
Water : Unspecified origin	1
Water : Well	1

VIII.4.7. PRODUCTION DE DECHETS FINAUX

Cette catégorie ne se réfère pas à un indicateur défini de façon spécifique. Du fait de la non homogénéité des informations pour les différents procédés, seuls les flux de déchets identifiés sont pris en compte. Il s'agit des pertes dans les différentes étapes et des déchets postconsommateur (emballage, accessoires, packaging primaire, secondaire et tertiaire).

La comptabilisation de ces déchets est réalisée de la manière suivante :

- Déchets envoyés en CSDU⁵² : quelle que soit la nature du déchet, 1 kg de déchets vaut 1 kg, indépendamment de son éventuelle dégradation future
- Déchets envoyés en incinération : seuls les scories et les résidus sont comptabilisés. Les procédés d'incinération utilisés (EcoInvent) indiquent ces valeurs pour chaque matériau considéré.

⁵² Centre de stockage de déchets ultimes

VIII.5 Annexe 5 : Influence des choix méthodologiques - Mix électrique

En cas de base, la modélisation prend en compte les mix attributionnels en moyenne annuelle publiés officiellement par chaque pays ou zone géographique. Ces mix sont les plus souvent utilisés dans les études ACV antérieures et sont présentés pour assurer la comparaison des résultats avec d'autres études.

En analyse de sensibilité, un autre mix électrique est étudié : le mix électrique conséquentiel des pays ou zone géographiques adaptés au profil de consommation des différents acteurs, à savoir :

- soit un mix adapté à une consommation continue (cas des usines de productions des matières premières et de recyclage)
- soit un mix adapté à une consommation 5 jours sur 7 de jour (cas des usines de production des bouteilles).

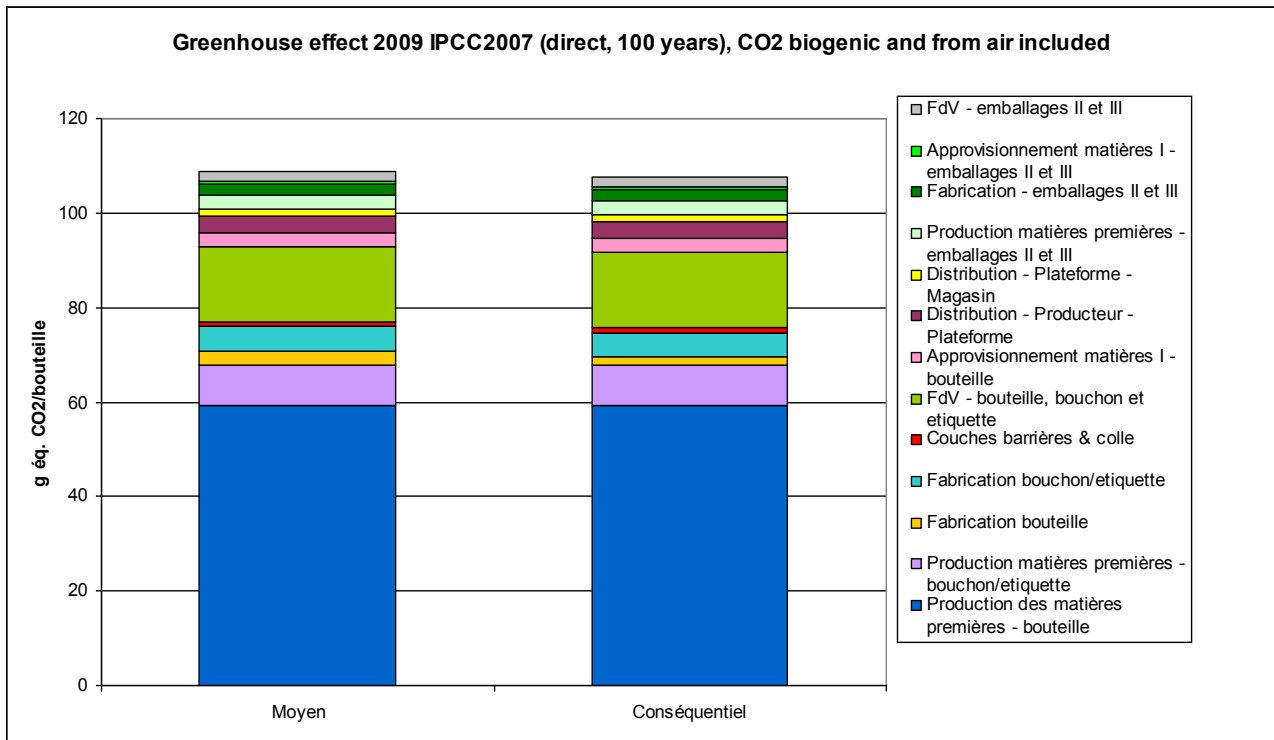
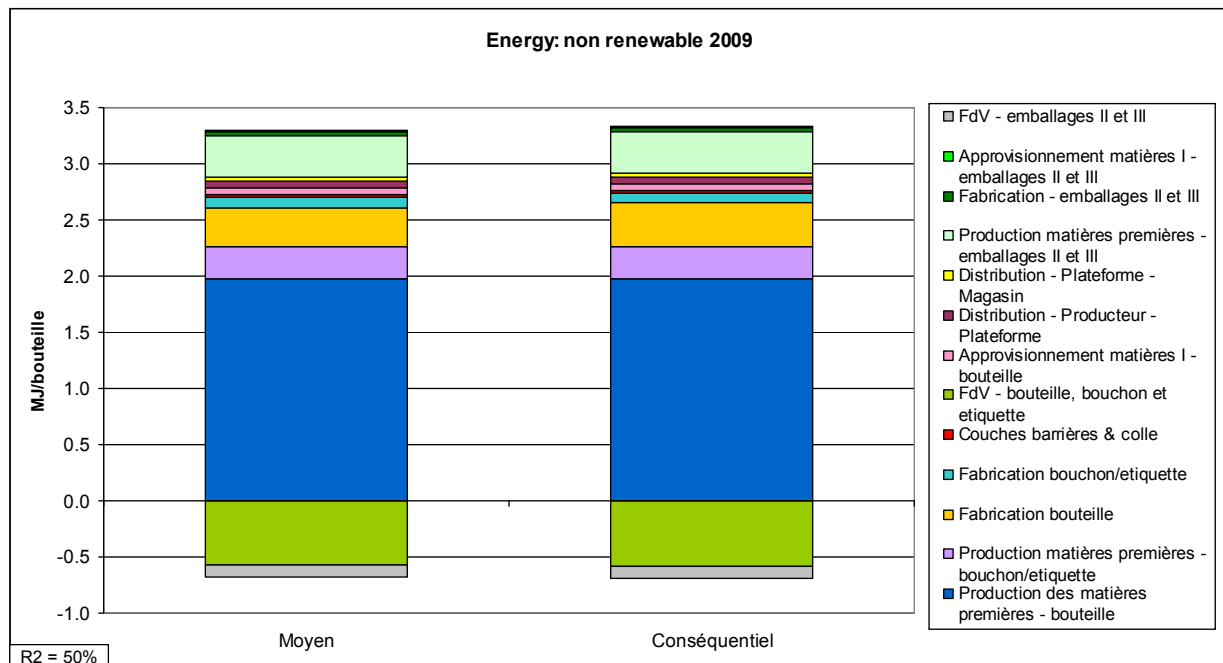
En pratique, l'utilisation de mix électrique conséquentiel pour tous les procédés n'est pas réalisable étant donné qu'il n'est pas possible d'isoler les consommations électriques de différents procédés notamment les éco-profils provenant de PlasticsEurope. En effet, les procédés sont agrégés et de plus les consommations d'électricité utilisées correspondent à une moyenne pondérée des différents moyens de production utilisés pour chacune des installations étudiées pour élaborer le LCI.

Procédés	Mix attributionnel en moyenne annuelle		Mix conséquentiel adapté au profil	
	France	Europe	France	Europe
Composition du mix	Nucléaire : 78.08% Gaz : 3.16% Charbon : 4.89% Pétrole : 1.77% Hydraulique : 11.1% Eolien : 0.4% Biomasse : 0.21% Déchets : 0.39%	Nucléaire : 30.12% Gaz : 22.49% Charbon : 28.94% Pétrole : 5.73% Renouvelables non spécifiées : 1.49% Hydraulique : 8.45% Eolien : 2.78%	Nucléaire : 91.44% Gaz : 2.68% Charbon : 1.68% Pétrole : 1.14% Renouvelables non spécifiées : 3.06%	Nucléaire : 40.73% Gaz : 20.56% Charbon : 32.79% Pétrole : 0.42% Renouvelables non spécifiées : 5.50%

Les paramètres du modèle ayant permis de construire ces graphes sont :

- Allocation des bénéfices du recyclage : 50/50
- $R_1 = 25\%$
- $R_2 = 50\%$

Cela n'implique en aucun cas que ce scénario est celui privilégié par RDC pour l'allocation des bénéfices du recyclage du PET (cf. chapitre VIII.2.1.C).

Figure 29 : Contribution à l'augmentation de l'effet de serre – Sensibilité aux mix électriques

Figure 30 : Consommation de ressources énergétiques non-renouvelables – Sensibilité aux mix électriques


La sensibilité faible au mix électrique provient de plusieurs phénomènes :

- Seules les phases où les procédés pour lesquelles on a pu isoler les consommations d'électricité varient à savoir :
 - Fabrication de la bouteille
 - Récupération d'électricité à l'incinération

- Consommation d'électricité au centre de tri

Ces postes n'ont qu'une influence limitée sur le bilan global. La sensibilité des résultats globaux au choix des mix est donc faible.

- Faible impact du mix électrique conséquentiel étant donné que le mix est composé à 91% de nucléaire.
- Faible différence entre le mix électrique moyen et conséquentiel

VIII.6 Annexe 6 : Comment sont déterminés les mix électriques (en anglais)?

VIII.6.1. ATTRIBUTIONAL MODELLING

VIII.6.1.1 Average mix

Description

It is characterised by a uniform way of distributing production modes among the consumers. In order to satisfy consumer demand, all production modes available in the country are used in the same proportions as the share of each production mode in the annual national electric production (or equivalently for the considered geographic area).

The same mix is used whatever the period of consumption.

How to determine this mix?

The mix is calculated on the basis of the annual productions of electricity by each of the means of production used in a country or in a geographic area (example of unit: GWh). The amount of electricity produced by one mode divided by the total amount produced gives the share of this means of production in the average mix.

These data (or the calculated mix itself) are published in nearly all countries by authorities or dedicated organisms. The average mix for the regional, continental or other area level can be calculated as long as the annual production data by type of production means are available or can be calculated for the corresponding area.

VIII.6.1.2 Attributional mix taking into account the period of consumption

Description

The fact that superseded electric mixes may differ in function of the period of time when electricity is produced as a consequence of waste treatment can be taken into account. This is a particular case of a more general assertion that modelling of the electric mix may differ in function of the period of consumption (or of decreased consumption as in the case of energy recovery):

- Period of the day (day/night/peak hours, etc.)
- Period of the week (week days/weekend)
- Period of the year (winter/spring/summer/fall)

For example, the power plants running during peak hours or at night are not necessarily the same.

The relevance of considering this aspect in a study has to be analysed in terms of time-related representativeness and according to the goal and scope of the study.

Two approaches can be adopted for taking the period of consumption into account:

- Mix calculated as the average mix within the specific period of consumption: in this case, production data are averaged for the specific period of time where electricity is consumed instead of for the whole year as for the average mix.
- Mix taking into account the operating characteristics of each type of power plant in view of linking these means of production to the consumption typologies. Motivation for such mixes is based on the different abilities of the production modes to adapt to varying demand: some production modes are designed to produce continuously (as with nuclear power) while others are specifically used to respond to peak-load consumption (as with oil plants used in the winter or in the middle of the day). The typologies are defined depending on whether the consumption is continuous or discontinuous, and in the latter case, depending on the period of consumption.

The various typologies impose different constraints on the grid managers, which result in the use of different means of production. For example, electricity for continuous consumers is preferentially produced with the "base production" modes, such as nuclear, while "peak" production modes are only used at the time of peak consumptions. In this approach, a continuous consumer is attributed more nuclear power but less oil than in the average mix, while the opposite is true for a peak consumer.

How to determine these mixes?

For both described attributional mixes based on the period of consumption, the determination of the mix values requires hourly production data for the considered geographic area and distinguishing the different means of production. Such data are only available for some countries, as for example France and Belgium.⁵³

- Mix calculated as the average mix within the specific period of consumption

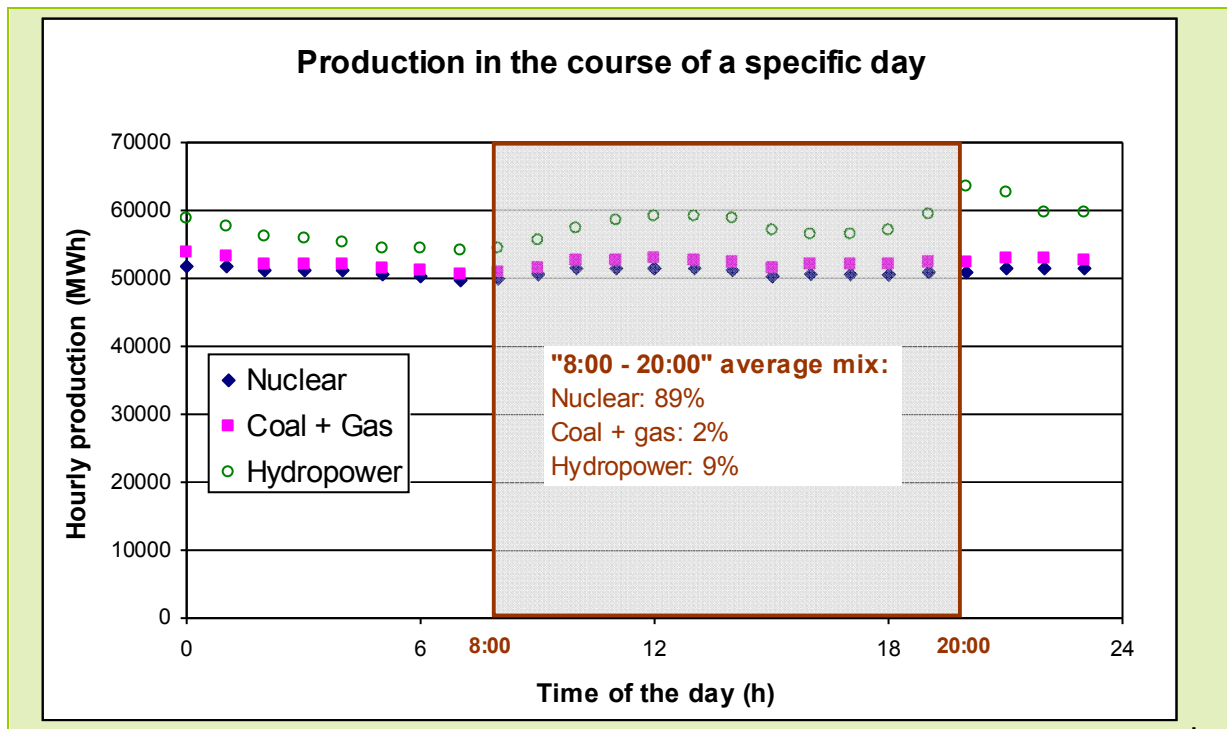
The amounts of electricity produced by each production mode have to be calculated for the specific period of consumption. The amount of electricity produced by one mode divided by the total amount produced for the period gives the share of this means of production in the calculated mix.

Example: Consumption during the day on a specific day of the year (Data source: France, 01/03/2009)

Hourly productions are represented on the graph for the various means of production as a function of time of day (in hours). If consumption takes place between 8:00 and 20:00, the hourly productions are added together for this interval of time for each mode (in the brown box). The amount of electricity produced for the specific period of time is hence obtained and is divided by the total corresponding production to give the mix. In the example, the resulting mix is provided in the brown box.

⁵³ France: RTE website (http://clients.rte-france.com/lang/fr/visiteurs/vie/prod/realisation_production.jsp)

Belgium: Elia website (<http://www.elia.be/repository/pages/465892cca4e349af8abb76414fa54f13.aspx>)



For a continuous consumer, the corresponding mix is equal to the annual average mix described in section VIII.6.1.

- Mix taking into account the consumption typology and the operating characteristics of each type of power plant.

The main typologies that can be differentiated are combinations of the following alternatives:

- Day/night/24h/24
- Week day/weekend/7d/7
- Winter/spring/summer/fall/all year

For each consumption typology, a particular mix can be determined. It reflects the production modes that can be more specifically attributed to this consumer. It is based on the characteristics of power plants that are more adapted to supply electricity for certain patterns of consumption.

Classical means of production can be split into three categories, as described in the table. A mode of production can be simultaneously classified in several categories. Furthermore, the classification depends upon the country, through the available means of production and the specific ways they are operated. A fourth category can be defined with the "must-run" modes of production that are not directly connected to demand.

Category of production modes	Description of production modes	Modes of production that can be typically included
Base-load	Operated continuously (except for stops such as maintenance); they often have low variable costs of operation	Nuclear power plants Coal plants - hard coal Coal plants - lignite Combined cycle gas turbines
Semi-base	Modulated in view of adjusting supply to the varying demand	Coal plants - hard coal Combined cycle gas turbines Sometimes nuclear (France) Sometimes Fuel-fired plants
Peak-load	Operated only during peaks of consumption when the base and semi-base modes are not sufficient to satisfy the whole demand	Fuel-fired power plant Gas-fired power plant
Must-run	Once installed, these capacities are best operated as continuously as possible, although constrained by external factors; they are hence decoupled from market demand	Hydropower – run-off Hydropower – pump storage ⁵⁴ Photovoltaic Wind power Combined heat & power Waste combustion

Steps in the determination of the mixes taking typology into account:

1. Calculate (in a similar way as that explained above) the amounts of electricity produced by each mode during the periods defined by the typologies (16) combining
 - Day/night
 - Week day/weekend
 - Winter/spring/summer/fall
2. Identify the base production for each mode of production. This is the minimum production values obtained for the various typologies. The minimum productions for the different modes of production define the base-load mix, i.e. the mix for a continuous consumer.
3. Subtract, for each mode of production, these base productions from production values for the various typologies. The remaining production values correspond to semi-base and peak productions.
4. Successively subtract from the remaining values the part of production that is common to the various alternatives, for example, day and night productions, in order to

⁵⁴ Pump-storage systems can be used during peak times but the maximum global annual production cannot be modulated in function of demand.

progressively extract the specificity of the typologies (for example, of daytime consumption). Seasonal, weekly and daily variations have to be successively extracted.

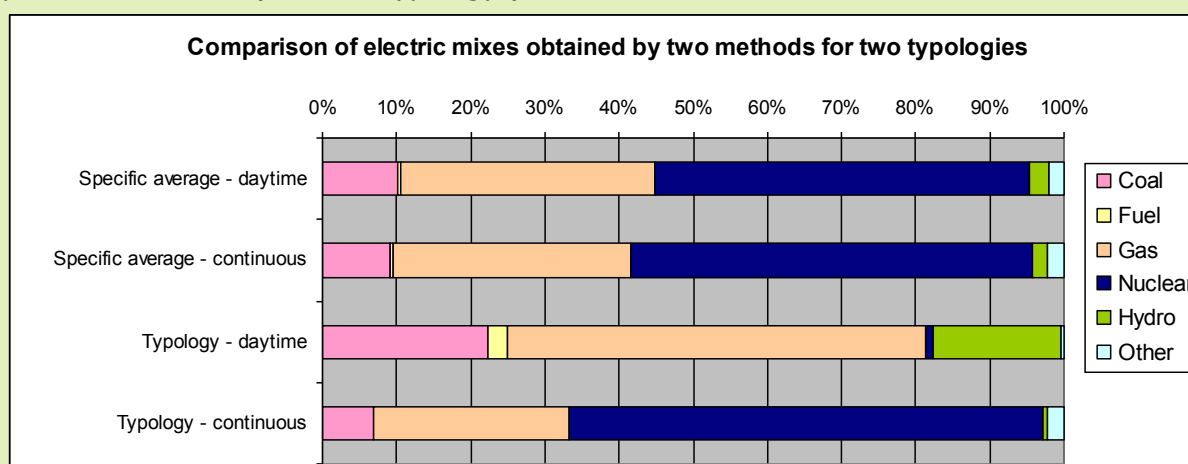
5. Calculate mixes from the remaining production values and recombining mixes to obtain mixes for typologies including "24h/24", "7 days/7" or "all year" features.

Both types of mixes taking the period of consumption into account are indeed attributional. The multiplication of these mixes with the amounts of electricity consumed by each type of consumer does indeed provide the total amounts produced by each mode of production in the country or geographic area of interest.

Both types of mixes can further be compared. The main difference is that base production modes are included in the first type of mixes while they are almost totally excluded from the second type of mixes. Indeed, in the latter case, the base modes are almost exclusively attributed to continuous use (see illustrative example in the box). The method based on typology and resulting grid operations better reflects the incentive for the grid operator to install appropriate types of power plants to satisfy a certain demand.

Example: Comparison of both types of mixes taking the period of consumption into account (Data source: Belgium, year 2007)

Mixes for two typologies are compared according to the first method of "specific average" mix and the second based on the consumption typology and the characteristics of the production modes (named "Typology").



The method "Typology" taking into account the way the production plants work results in the largest differences in the mixes in function of the consumption typology.

For countries where no hourly production data are available, mixes reflecting the consumption typology can be calculated by extrapolating the average mix. This transformation follows a model established on the basis of how power plants operate as observed in countries for which hourly data are available.

VIII.6.2. CONSEQUENTIAL MODELLING

The application of consequential modelling:

- Either ends up applying the attributional approach
- Or requires identification of the most cost-competitive processes of electricity production in the short- or long-term.

As indicated in the ILCD Handbook, General guide for Life Cycle Assessment (LCA) - Chapter 7.2.4.4, there is seldom a single most-competitive system to be modelled but rather a mix of the most likely marginal processes. This is especially true for electricity production namely for the following reasons:

- There are technical constraints: as specified in the preceding table, some modes of producing electricity are more adapted to specific patterns of consumption; but each category does include several modes
- For strategic reasons, various sources of power have to be used in order to avoid dependence on a single source
- There is considerable uncertainty regarding the political choices and constraints that will be imposed in the future.

Other constraints and the resulting mixes are presented successively for short- and long- term approaches.

VIII.6.2.1 Short-term

In the short term, little change in the installed capacity can be expected. The corresponding consequential mix can be considered equal to the attributional one (with typology, if possible) except that constraints may be taken into account.

How to determine this mix?

The mixes based on the typology of consumption may be used while taking into account the following constraints:

- Nuclear is fully attributed to base production except in countries where nuclear power can supply more than the continuous demand (in practice, only in France).
- Energy sources that cannot be modulated in function of demand are excluded, being "must-run" or because of non-scalability (modes that are close to saturation). In practice, hydropower is excluded from the mix except in countries where it can be proven that it is not saturated. Geothermal production is excluded if at saturation. Electricity from waste-to-energy and combined heat and power (which is mainly driven by heat valorisation) are also excluded.
- There are European political targets in terms of share of renewable energy (specific targets in terms of renewable electricity production will be fixed at the national level). It can be assumed that these objectives will be fulfilled using saturated (often the case of hydropower) and unsaturated renewable modes of production (solar, wind, geothermal, biomass, etc.). The targets expressed specifically for these non-saturated modes have to be calculated. These modes can then be included in the consequential mix proportionally to meet these specific targets. Shares of the different renewable non-saturated modes in the consequential mix can be taken as

being equal to the shares observed in the average mix. These production modes can be attributed to all types of typology.

VIII.6.2.2 Mid or long-term

In a mid- or long-term approach, the mix has to reflect the consequences of an increased or reduced consumption of electricity in terms of installed capacities.

In the mid term (within 5 years), the mix can be determined on the basis of the new projects currently being implemented and the existing installations.

In the long term (example: 2030), most current plants will need to be replaced by more recent ones, so that the consequential long-term mix corresponds to the mix of new capacities that will be set up by 2030 or by the considered time horizon.

How to determine this mix?

Remark: Transformation of power data into energies in "kWh"

Often, data are expressed in terms of installed power. They need to be converted into energies, i.e. production data, by multiplying the power by average annual working hours (from a few hundred hours for peak modes up to about 8,000 hours per year for base modes)

The mid-term consequential mix is calculated from the existing projects of new capacities.

The long-term mix can be estimated from dedicated studies published by specialised organisations (e.g. Planning Bureau).

However, excluded in both cases are:

- Investments that would not take place if they were not subsidised
- Investments in energy sources that have a limited potential for development, (examples: waste-to-energy and, most often, hydropower)

A l'attention des commanditaires de l'étude « Analyse de cycle de Vie d'une bouteille PET »

Rapport synthétique de Revue Critique du 22 juin 2010

Eco-emballages, Elipso et Valorplast ont demandé à PricewaterhouseCoopers (Emmanuelle Henry et Philippe Osset) de conduire un panel de revue critique impliquant trois experts supplémentaires issus d'EOP's (Catherine Moriot), de Coca-Cola (Geert Huysmans), et de Plastics Europe (Guy Castelan). Entre mars 2010 et juin 2010, ce panel de revue critique a revu le rapport de RDC « Analyse du Cycle de Vie d'une Bouteille PET », élaboré pour Eco-emballages, Elipso et Valorplast (les commanditaires).

RDC affirme avoir appliqué les normes ISO 14040 & 44 pour réaliser son rapport final. De ce fait, le panel de revue critique a de même travaillé en application de la liste de recommandations pour les revues critiques d'Analyses du Cycle de Vie (ACV) listées dans ISO 14044.

Nous avons ainsi examiné les procédures de calcul des données au regard de leur cohérence, pertinence, fiabilité, objectivité et leur caractère compréhensible, ainsi que leur conformité avec les normes ISO 14040 & 44.

Pour cela, nous avons conduit deux réunions avec RDC et les commanditaires, ainsi qu'une réunion chez RDC dont l'objectif était de :

- vérifier les hypothèses et règles de calcul prises en comptes par la détermination du périmètre,
- vérifier que les procédures en place permettent d'obtenir une représentativité suffisante,
- vérifier la correcte application des définitions des normes ISO 14040 & 44 relatives aux objectifs, contexte, terminologie, méthode d'ACV, affichage, rapport et données.

Nous avons mis en œuvre des procédures analytiques et vérifié, sur la base de sondages, les calculs des données, la cohérence des paramètres du bilan matière.

Le présent rapport est le « Rapport synthétique de Revue Critique » du panel, destiné à être ajouté systématiquement en annexe du rapport final de RDC du 14 juin 2010 lorsque ce dernier est communiqué au public. Un rapport complet de revue critique du panel a été remis aux commanditaires.

Les conclusions du rapport de RDC présentées dans le chapitre VII de son rapport sont supportées par les calculs et les analyses qui sont réalisés au sein du rapport final de RDC, dans le cadre des limites de validité qui sont aussi fournies dans ce rapport.

Différents commentaires ont été produits par le panel de revue critique, et ont été pris en compte de façon globalement satisfaisante par RDC au sein de son rapport final. Les commentaires ont concerné essentiellement les sources des données, les modes de calculs, la présentation graphique des résultats et la rédaction du rapport.

De façon plus spécifique, le panel note qu'il reste nécessaire de posséder une habitude de lecture des rapports d'ACV pour comprendre l'ensemble des points du raisonnement présenté dans le rapport final de RDC, ce qui est normal dans le cadre d'une application d'ISO 14040 et 44. Une synthèse orientée vers un public plus large est prévue selon les commanditaires ; elle sera utile pour les non-experts, le panel la recommande.

De plus, le panel tient à rappeler que le processus de revue fournit une assurance modérée concernant les données et les résultats, le travail de vérification de ces éléments ayant été mené par sondage.

Enfin, le panel rappelle que l'ensemble des choix réalisés par RDC dans le rapport a été conduit en liaison avec l'objectif de l'étude, dans le cadre du marché et des technologies actuels, et au vu des données disponibles. Par exemple, certains scénarii considérés dans l'étude sont représentatifs d'une pratique ponctuelle et non d'une pratique moyenne. De même, les taux de valorisation des palettes et des emballages tertiaires ont peu d'influence sur les résultats finaux : leur valeur approximée, issue d'une étude de l'ADEME, est discutable au vu de la réalité mais une évaluation plus fine de ces taux n'aurait rien changé aux conclusions du rapport. Les hypothèses du rapport de RDC ne sont *a priori* pas adaptées pour une utilisation au sein d'un autre rapport souhaitant remplir un autre objectif : un autre praticien devra démontrer que ces hypothèses sont adaptées à son étude s'il veut les utiliser.

En prenant en compte les éléments qui ont été montrés au panel, aucune erreur majeure n'a été détectée au sein du rapport final de RDC du point de vue des normes ISO 14040 & 44 ; ce rapport suit les recommandations des normes ISO 14040 & 44. Le panel souligne l'effort didactique réalisé par RDC au sein de son rapport.

« Distribution et utilisation du présent rapport :

Notre rapport est adressé à l'attention d'Eco-emballages, d'Elipso et de Valorplast dans le cadre de l'accord de mai 2010. Les commanditaires nous ont fait de part de leur intention de le diffuser à une large audience. Nous n'accepterons aucune responsabilité vis-à-vis de tout tiers à qui le rapport aurait été montré ou dans les mains desquels il serait parvenu, l'utilisation du rapport par leurs soins relevant de leur seule responsabilité.

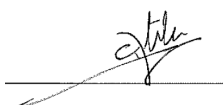
Nous avons réalisé une revue de la base de données ayant servi au calcul des résultats de l'étude. Les travaux de revue critique ne constituent pas un audit ou un examen au sens des normes d'audit généralement admises.

Par ailleurs, nous vous rappelons que seule la version papier fait foi. »

Thierry Raes
Associé PwC



Guy Castelan
Plastics Europe



Catherine Moriot
EOP's



Geert Huysmans
Coca-Cola

