



données de référence

## Bilan environnemental sur les filières de recyclage : l'état des connaissances ACV







# PRÉAMBULE

Parmi les différents modes de gestion des déchets, le recyclage tient une place toute particulière : considéré par les uns comme la voie royale de la valorisation des déchets, il est contesté par d'autres, qui remettent en cause son intérêt, en soulignant d'éventuels effets négatifs, notamment sur le plan environnemental.

Dans ce contexte, l'ADEME a souhaité dresser un état des connaissances environnementales au niveau international en matière de filières de recyclage. Réalisé avec le concours de BIO Intelligence Service, cet état des connaissances s'est focalisé sur l'étude et le bilan de résultats d'ACV (Analyses de Cycle de Vie). En effet, dans le domaine de l'évaluation globale et multicritère des impacts environnementaux des produits ou des procédés, l'ACV constitue aujourd'hui l'outil le plus abouti, permettant la réalisation et l'interprétation du bilan quantifié des flux de matières et d'énergies associés à un système. Analyse qualifiée d'expérimentale voire de partielle au début des années 90, sa pratique, sa diffusion et, surtout, sa normalisation au niveau international (série des ISO 14040), en font aujourd'hui un outil performant et reconnu. Dans le cadre de cette étude, il ne s'agissait pas de réaliser de nouvelles ACV spécifiques mais d'analyser et d'organiser un bilan international des connaissances aujourd'hui disponibles en matière d'ACV de filières de recyclage. Seules les études postérieures à 1996 et se déclarant conformes à la normalisation internationale actuelle ont été analysées.

Parmi les filières de recyclage de 11 matériaux ou produits étudiés, cet état des connaissances a permis de définir deux grands groupes. Le premier correspond aux filières de recyclage bien établies et qui présentent des connaissances environnementales relativement stabilisées. Le second groupe rassemble les filières non formalisées ou tout juste en cours de constitution, pour lesquelles les données environnementales sont encore trop éparpillées pour permettre de tirer des enseignements de portée générale.

En ce qui concerne les filières de recyclage présentant des connaissances environnementales relativement stabilisées, les résultats publiés, quelle que soit leur origine, sont globalement convergents : c'est cette convergence qui nous permet aujourd'hui de présenter une synthèse riche en enseignements.





# SOMMAIRE

Glossaire .....	6
Objectif et contexte de l'étude .....	7
Champ de l'étude .....	7
Résumé des principaux enseignements concernant l'état actuel des connaissances ACV des filières de recyclage .....	8
Guide de lecture .....	10
Recyclage des emballages en acier .....	14
Recyclage des emballages en aluminium .....	16
Recyclage des emballages en verre .....	18
Recyclage des emballages plastiques .....	20
Recyclage des emballages papier-carton .....	22
Recyclage des papiers graphiques .....	24
Recyclage des huiles usagées .....	26
Recyclage des emballages bois .....	28
Recyclage des véhicules hors d'usage (VHU) .....	30
Recyclage des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) .....	32
Recyclage des batteries au plomb .....	34
Recyclage des pneus usagés .....	35
Références bibliographiques .....	36
Liste des abréviations .....	38



# GLOSSAIRE

### Sur la méthode :

- **Analyse de Cycle de Vie :** L'Analyse de Cycle de Vie (ACV) est une méthode qui permet d'évaluer les impacts potentiels sur l'environnement d'un système comprenant l'ensemble des activités associées à un produit ou un service, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à l'élimination des déchets. Normalisée au niveau international (normes ISO 14040 à 14043), cette méthode consiste à réaliser les bilans des consommations de ressources naturelles, d'énergie et d'émissions dans l'environnement (air, eau, sol) du produit ou service étudié. Ces flux de matières et d'énergies sont ensuite agrégés pour quantifier les indicateurs d'impacts sur l'environnement.

### Sur les indicateurs d'impacts environnementaux :

- **Acidification de l'air :** Augmentation de la quantité de substances acides dans la basse atmosphère, à l'origine de "pluies acides", du dépérissement de certains écosystèmes forestiers et écosystèmes d'eau douce. L'unité retenue pour évaluer la contribution d'une substance à l'acidification est le potentiel de libération de protons ( $H^+$ ).
- **Effet de serre :** Augmentation de la température moyenne de l'atmosphère induite par l'augmentation de la concentration atmosphérique moyenne de diverses substances d'origine anthropique ( $CO_2$ ,  $CH_4$ , CFC, etc.). L'indicateur retenu pour évaluer l'impact potentiel sur l'effet de serre d'une substance est le GWP, exprimé en kg d'équivalent  $CO_2$ .
- **Eutrophisation des eaux :** Introduction de nutriments, notamment sous la forme de composés azotés et phosphatés, qui conduit à la prolifération d'algues. Ce phénomène peut conduire à la mort de la faune et la flore du milieu aquatique considéré. L'unité retenue pour évaluer l'eutrophisation est le kg d'équivalent phosphate ( $PO_4$ ).
- **Pollution photochimique (ou pollution photo-oxydante) :** Pollution qui résulte principalement de réactions chimiques entre les oxydes d'azote et composés organiques volatils (COV) sous l'effet de la lumière solaire. Elle se traduit par des niveaux élevés d'ozone et d'autres espèces chimiques toxiques pour l'homme et les végétaux. L'unité retenue pour évaluer la pollution photochimique est le kg d'équivalent éthylène ( $C_2H_4$ ).
- **Risque toxique (écotoxique) :** L'European Union System for the Evaluation of Substances (EUSES) est une méthode de caractérisation du risque toxique pour l'homme (risque écotoxique pour les écosystèmes) des émissions atmosphériques, des rejets liquides et des substances dispersées dans les sols. La nature réelle et l'ampleur du dommage subi ne sont pas quantifiés. Ce risque est évalué sur une échelle normée en ayant pris comme substance de référence le 1,4 dichlorobenzène. Les résultats expriment donc un risque équivalent à l'émission d'un gramme de cette substance choisie comme référence.

### Sur le recyclage :

- **Taux de recyclage :** Rapport entre les quantités de déchets collectés puis recyclés et les quantités totales de déchets générés, sur une période et une zone géographique données.
- **Taux de substitution :** Quantité (en kg) de matière vierge remplacée par 1 kg de matière recyclée dans un produit fini, permettant d'obtenir les mêmes caractéristiques d'usage.
- **Taux d'utilisation de matière secondaire :** Rapport entre la production réalisée à partir de matière secondaire et la production totale réalisée à partir de matière vierge et secondaire.



## OBJECTIF ET CONTEXTE DE L'ÉTUDE

**P**rès de dix ans après l'adoption de la loi sur les déchets visant à promouvoir une gestion réfléchie des déchets, en développant notamment le recyclage matière, les pouvoirs publics s'interrogent sur le bilan et les perspectives du recyclage en France.

Cette étude s'inscrit dans une série de travaux préparatoires conduits par l'ADEME en vue de contribuer à éclairer les orientations futures en termes de valorisation des déchets.

Suite à un appel d'offres européen (JOCE n°37 du 22 février 2001), la société BIO Intelligence Service a été missionnée par l'ADEME pour réaliser cette étude intitulée "Etude et bilan des connaissances ACV (Analyse de Cycle de Vie) des filières de recyclage".

Cette étude a pour objectif d'organiser un bilan international des connaissances aujourd'hui disponibles dans le domaine des Analyses de Cycle de Vie (au sens des normes internationales ISO 14040 à 14043) sur les filières de recyclage des produits et matériaux.

L'état de l'art attendu doit permettre de distinguer, par filière de matériaux et produits, les grandes tendances communes rencontrées dans la majorité des études, les points de divergence et leurs causes, ainsi que les domaines où les recherches ont pour l'instant été trop parcellaires pour pouvoir dégager des caractéristiques robustes.

## CHAMP DE L'ÉTUDE

Le champ de l'étude couvre, à l'échelle internationale, les travaux ACV relatifs au recyclage des onze filières de matériaux et produits suivantes :

Groupe 1 :	Groupe 2 :
Acier : emballage	Bois : emballage
Aluminium : emballage	DEEE (déchets d'équipements électriques et électroniques)
Papier-carton : emballage et papier d'impression	VHU (véhicules hors d'usage)
Verre : emballage	Plomb : batterie
Plastiques : emballage en PVC, PET, PP, PE, PS	Pneu
Huiles	

Les filières de recyclage des matériaux et produits ont été réparties en 2 groupes, selon la quantité d'études publiées : le groupe 1 étant consacré aux domaines les plus étudiés.

Le recueil des études ACV s'est concentré sur les ACV récentes, postérieures à 1996 pour être examinées au regard de la normalisation internationale actuelle des pratiques en matière d'ACV (publiée à partir de 1997, série ISO 14040).

## Avertissement sur le format de restitution du bilan des connaissances

Dans les fiches produit présentées ci-après, les caractéristiques environnementales du recyclage se rapportent au périmètre suivant :

- point initial : le produit ou l'emballage au moment où il devient un déchet (après usage par le dernier détenteur, et après collecte) ;
- point final : l'étape où il se substitue à de l'énergie ou de la matière vierge (selon les cas, immédiatement après le tri ou bien après traitement préalable).



# Résumé des principaux enseignements concernant l'état actuel des connaissances ACV des filières de recyclage

• Le nombre et la qualité des études ACV des filières de recyclage sont très variables selon le produit ou matériau considéré. On peut distinguer d'une part une série de produits ou matériaux ayant fait l'objet d'un nombre important d'études (emballages en acier, emballages en aluminium, emballages en verre, emballages plastiques, emballages papier-carton, papiers graphiques et huiles usagées) et d'autre part, une série ayant fait l'objet de moins d'études (emballages bois, véhicules hors d'usage, déchets d'équipements électriques et électroniques, batteries au plomb et pneus usagés).

## Caractéristiques des connaissances ACV des filières de recyclage

	Diversité des scénarios étudiés par les études			Fiabilité des connaissances ACV			Besoins complémentaires en ACV			Sensibilité aux spécificités nationales			Sensibilité aux choix technologiques		
	Très faible	Moyen	Très fort	Très faible	Moyen	Très fort	Très faible	Moyen	Très fort	Très faible	Moyen	Très fort	Très faible	Moyen	Très fort
Emballages en acier															
Emballages en aluminium															
Emballages en verre															
Emballages plastiques													?		
Emballages papier-carton															
Papiers graphiques															
Huiles usagées															
Emballages bois										?			?		
VHU															
DEEE										?			?		
Batteries au plomb										?			?		
Pneus usagés										?			?		

• Pour les produits et matériaux où l'ACV a atteint une certaine maturité, il ressort en général d'importantes convergences entre les tendances observées dans les différentes études (bien que dans le détail les résultats chiffrés peuvent être différents d'une étude à l'autre selon les données de base retenues pour décrire les systèmes).



Produit ou matériaux	Bilan environnemental du recyclage <i>(les déchets recyclés permettent d'éviter de recourir à de la matière vierge : il s'agit donc du bilan " impacts générés par le recyclage moins impacts évités grâce à l'économie de matières vierges ")</i>	Positionnement par rapport aux autres filières de traitement <i>(comparaison du recyclage et des autres solutions de gestion possibles)</i>
<b>Emballages en acier</b>	Bénéfice environnemental fort sur la plupart des indicateurs d'impact étudiés dans les ACV. Les meilleures performances sont atteintes lorsque le recyclage est pratiqué post-incinération.	Les scénarios avec recyclage de l'acier présentent un meilleur bilan environnemental pour l'énergie, l'effet de serre, l'acidification, et la pollution photochimique, mais un moins bon bilan en termes d'émissions toxiques que les scénarios sans recyclage.
<b>Emballages en aluminium</b>	Bénéfice fort sur l'ensemble des indicateurs étudiés dans les ACV. Les meilleures performances sont atteintes lorsque le recyclage est pratiqué post- incinération.	Le recyclage est la seule filière d'élimination des emballages en aluminium usagés qui apporte un bénéfice en termes d'impacts sur l'environnement, pour toutes les catégories d'impact étudiées.
<b>Emballages en verre</b>	Bénéfice fort sur l'ensemble des indicateurs d'impacts étudiés (à noter : certains rejets spécifiques peuvent augmenter (émissions atmosphériques d'acide fluorhydrique et de plomb)).	Dans les scénarios de gestion des déchets, le recyclage du verre apporte un bénéfice en termes d'impacts environnementaux quel que soit le mode de traitement des déchets non recyclés. L'incinération est l'option la moins favorable en termes d'impacts environnementaux.
<b>Emballages plastiques</b>	Bénéfice sur de nombreux indicateurs d'impact pour les différentes filières de recyclage si le recyclage vient en substitution de plastique vierge. Pour les autres indicateurs, le bilan dépend du type de plastique ou du procédé de recyclage. Bilan nuancé voire préjudice si le recyclage vient en substitution de bois ou béton.	Lorsque la matière recyclée se substitue à de la matière plastique vierge à des taux de substitution proche de 1, le recyclage est plus avantageux que la valorisation énergétique (tous les impacts sauf les déchets radioactifs). Lorsque les matières recyclées remplacent du bois ou du béton, la valorisation énergétique est plus avantageuse que le recyclage.
<b>Emballages papier-carton</b>	Bénéfice sur certains indicateurs d'impacts. Plusieurs paramètres influencent fortement les résultats (taux de substitution, devenir de la biomasse économisée, ...). Le recyclage des papiers graphiques est globalement plus bénéfique que le recyclage des emballages en papier-carton (notamment pour l'effet de serre).	Les impacts environnementaux de la mise en place du recyclage des papiers-cartons sont fortement dépendants du mode de traitement des fractions non recyclées (stockage ou valorisation énergétique). Le positionnement du recyclage par rapport à la valorisation énergétique est très dépendant des paramètres et performances de la valorisation énergétique (rendements, combustibles substitués,...).
<b>Papiers graphiques</b>		
<b>Huiles usagées</b>	Bénéfices sur la plupart des indicateurs d'impacts. Plusieurs paramètres influencent fortement les résultats (technologies de recyclage,...).	Entre le recyclage et la valorisation énergétique, aucune filière ne ressort meilleure que l'autre sur l'ensemble des indicateurs. Les impacts environnementaux du procédé substitué (par le recyclage ou la valorisation énergétique) sont les paramètres les plus déterminants.
<b>Emballages bois</b> <b>VHU</b> <b>DEEE</b> <b>Batteries plomb</b> <b>Pneus usagés</b>	Connaissances insuffisantes pour formuler des enseignements de portée générale sur le recyclage du produit considéré.	

## Principaux constats :

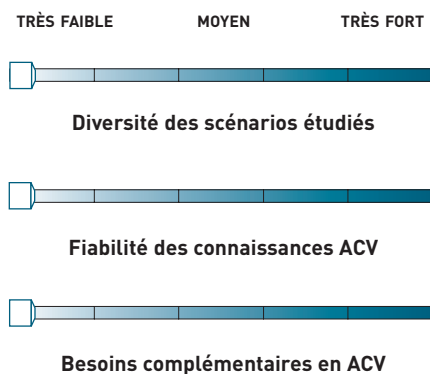
- Pour les filières pour lesquelles les connaissances ACV sont relativement stabilisées, le recyclage présente en général d'importants bénéfices environnementaux, mais ces bénéfices ne sont pas systématiquement supérieurs à ceux de la valorisation énergétique. L'avantage du recyclage par rapport à la valorisation énergétique apparaît ainsi plus marqué pour les plastiques que pour les papiers-cartons ou les huiles.
- Les transports apparaissent très rarement comme étant un facteur influent sur le bilan environnemental du recyclage (sauf dans le cas de la collecte sélective de l'acier par exemple, où la fréquence de collecte peut influencer de manière visible le bilan en termes d'émissions atmosphériques de particules).





## Niveau le plus synthétique : «Fiche produit»

- 1 3 indicateurs sur l'état des connaissances ACV font l'objet d'une estimation semi quantitative sur une échelle à 5 échelons (de très faible à très fort) :



**Diversité des scénarios étudiés** : plus les types de scénarios étudiés dans les ACV sont représentatifs de l'ensemble des filières de valorisation connues, plus le score est élevé. Le score est attribué en fonction du taux de remplissage du tableau «périmètre des études ACV disponibles» (cf. 2ème niveau, Synthèse des fiches de lecture).

**Fiabilité des connaissances** : plus les connaissances ACV sont robustes, complètes et cohérentes entre elles, plus le score est élevé. Le score est attribué après analyse de la cohérence des résultats issus d'études effectuées par des équipes distinctes. La richesse des analyses de sensibilité disponibles dans l'ensemble des études est aussi prise en compte dans la notation (cf. 3ème niveau, Fiches bibliographiques par étude).

**Besoins complémentaires en ACV** : le score traduit le besoin d'enrichir la base de connaissances actuelles. Il résulte d'une analyse des caractéristiques des études disponibles (cf. 1er niveau, section 4 de la Fiche produit), à la lumière des deux premiers indicateurs et des possibilités d'application des résultats disponibles au contexte national.

2 **Section 1 : caractéristiques environnementales intrinsèques du recyclage**

Par caractéristiques *intrinsèques*, on entend les caractéristiques du recyclage de 1000 kg de matières usagées **indépendamment du mode d'élimination auquel se substitue le recyclage**. Ceci revient à observer uniquement les caractéristiques propres au recyclage afin de pourvoir ensuite, et par ailleurs, comparer ces caractéristiques à celles des autres modes de valorisation ou d'élimination. Il s'agit donc des caractéristiques propres :

- au procédé de recyclage,
- aux procédés évités de production de matière vierge,
- et aux transports spécifiques associés à ces deux procédés.

Cette section résume les caractéristiques environnementales intrinsèques du recyclage pour les principales catégories d'impact sur l'environnement quantifiées dans les ACV sous la forme d'un tableau :

Thèmes	Indicateur	Bilan du recyclage
Ressources	énergie primaire (MJ)	
	combustibles fossiles (MJ ou Tep)	
	eau (m <sup>3</sup> )	
Rejets d'air	effet de serre (kg eq. CO <sub>2</sub> )	
	acidification de l'air (g eq. H <sup>+</sup> )	
	pollution photochimique (kg COV ou g eq. C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	
	métaux (g)	
	particules (g)	
Rejets eau	eau chimiquement polluée (l)	
	métaux (g)	
	eutrophisation (g eq. PO <sub>4</sub> )	
Déchets	déchets (kg)	
Homme	risque toxique (g eq. Dichlorobenzène ou g eq. As)	
Ecosystèmes	risque écotoxique (g eq. Dichlorobenzène)	

**Note importante** : dans le tableau sur les caractéristiques environnementales du recyclage, la rubrique « déchets » ne comprend pas le gisement initial de déchets à traiter : elle traduit la différence entre les déchets générés par le procédé de recyclage et les déchets évités par la production économisée d'énergie ou de matière première.



## Bilan environnemental sur les filières de recyclage : l'état des connaissances ACV

La colonne « bilan du recyclage » apporte une indication sur l'ampleur du bilan global du recyclage (impacts générés par le procédé de recyclage moins impacts évités) :

Bilan du recyclage	Interprétation
bénéfice	Lorsque le bilan est significativement négatif (impact évité > impact généré). Remarque : le qualificatif « significativement » est à considérer par rapport à la définition ci-dessous du « non significatif ».
bénéfice fort	Lorsque l'impact évité est plus de deux fois supérieur à l'impact généré (en valeur absolue).
préjudice	Lorsque le bilan est significativement positif (impact évité < impact généré).
préjudice fort	Lorsque l'impact généré est plus de deux fois supérieur à l'impact évité (en valeur absolue).
conditionnel	Lorsque le signe (positif ou négatif du bilan) varie en fonction de paramètres identifiés (ex. choix d'une technologie de recyclage, ...).
non significatif	La notion d'impact significatif est très difficile car elle doit reposer sur la définition d'un référentiel pertinent. Or la plupart des ACV relatives au recyclage sont basées sur des unités fonctionnelles qui ne rendent pas faciles ce choix (ex. : recycler ou éliminer 1000 kg de tel déchet). La règle retenue a été la suivante : le bilan est non significatif lorsque la valeur absolue de la différence entre l'impact généré et l'impact évité est au plus égale à 5% de la plus grande des deux valeurs absolues. La notion d'impact non significatif signifie donc un impact marginal très peu significatif par rapport ou bien au procédé de recyclage lui-même ou bien aux procédés évités. Dans certains cas, la différence entre l'impact généré et l'impact évité peut être supérieure à 5% de la plus grande des deux valeurs, et malgré tout avoir, à dire d'expert, une ampleur de second ordre par rapport aux problématiques environnementales. Dans ce dernier cas, les impacts sont aussi considérés comme non significatifs.
?	Lorsque le bilan est entaché d'un haut niveau d'incertitude (il s'agit le plus souvent d'un manque de données plutôt que de divergences entre les études).

**Remarque :** la collecte additionnelle générée par le recyclage n'est pas prise en compte dans le bilan du recyclage, à la section 1. Si ce paramètre peut influencer le bilan environnemental du recyclage, cela est signalé au niveau de la section 2.

### 3 Section 2 : paramètres influençant le bilan environnemental du recyclage

Sous la forme d'un tableau, cette section résume l'état des connaissances concernant :

- les paramètres influents sur le bilan environnemental du recyclage,
- les paramètres non influents sur le bilan environnemental du recyclage,
- et les paramètres dont l'influence n'a pas été suffisamment analysée.

Pour chaque paramètre identifié, le tableau précise les catégories d'impact sur l'environnement les plus sensibles à une variation du paramètre.

	Paramètre	Indicateurs sensibles
Paramètres influents		
Paramètres peu influents		
Incertain		



## 4 Section 3 : positionnement par rapport aux autres filières de valorisation

Cette section résume l'essentiel des connaissances sur les avantages et les inconvénients relatifs du recyclage par comparaison aux autres filières de valorisation étudiées dans les ACV (notamment valorisation énergétique).

## 5 Section 4 : Caractéristiques des études disponibles

Cette section désigne chaque type de filière de valorisation ayant fait l'objet d'au moins une étude ACV, et illustre la diversité des systèmes modélisés dans les études disponibles à l'aide de deux indicateurs (décrits de manière semi quantitative sur une échelle à cinq échelons, de faible à fort) :

### Sensibilité (des résultats) aux spécificités

**nationales** (ex. : composition du kWh électrique, distances de transport et organisation logistique des circuits de collecte, ...)

TRÈS FAIBLE      MOYEN      TRÈS FORT



Sensibilité aux spécificités nationales

### Sensibilité (des résultats) aux choix technologiques

(ex. type de procédé de recyclage, type de combustible économisé par la valorisation énergétique, ...).



Sensibilité aux choix technologiques

## 6 Pour finir, les principales limites des études disponibles sont résumées et un tableau présente les études ayant servi à élaborer la synthèse finale. Il indique:

- le titre de l'étude ACV,
- la date de publication,
- le(s) commanditaire(s) et la nationalité,
- le(s) réalisateur(s) et la nationalité,
- si une revue critique a été réalisée (ISO 14040).

Titre	Date	Commanditaire	Réalisateur	Revue critique
Étude 1				
Étude 2				

## Niveau de synthèse intermédiaire : «Synthèse des fiches de lecture»

Ces synthèses sont gratuitement téléchargeables sur le site Internet de l'ADEME :

[http://www.ademe.fr/htdocs/publications/publipdf/acv\\_recyclage.htm](http://www.ademe.fr/htdocs/publications/publipdf/acv_recyclage.htm)

Elles ont pour objectif principal de proposer un niveau de lecture intermédiaire entre la fiche produit telle que décrite ci-dessus et les fiches bibliographiques détaillées par étude telles que décrites ci-dessous.

Selon les filières étudiées, elles **apportent une justification détaillée de l'homogénéité ou de l'hétérogénéité des études ACV disponibles** (ex. huiles usagées et papiers-cartons, respectivement).

Lorsque les études sont suffisamment homogènes, les principaux résultats chiffrés sont présentés et discutés. Par contre lorsque les études paraissent trop hétérogènes, aucun résultat chiffré n'est présenté et l'objectif a été de structurer l'état de l'art afin de faciliter la consolidation des connaissances lorsque de nouveaux résultats seront rendus disponibles.

## Niveau le plus détaillé : Fiche bibliographique par étude ACV

Les fiches bibliographiques sont gratuitement téléchargeables sur le site Internet de l'ADEME :

[http://www.ademe.fr/htdocs/publications/publipdf/acv\\_recyclage.htm](http://www.ademe.fr/htdocs/publications/publipdf/acv_recyclage.htm)

Chaque fiche de lecture comprend généralement les rubriques suivantes :

- Référence : titre de l'étude, auteurs, date, nombre de pages.
- Présentation de l'étude, des objectifs et du champ d'investigation
- Méthodologie ACV
- Unité fonctionnelle
- Scénarios étudiés
- Principes de délimitation des systèmes à comparer
- Frontières des systèmes (processus inclus et exclus)
- Représentativité technologique, sources de données et hypothèses de substitution
- Qualité des données
- Catégories d'impact sur l'environnement
- Principaux résultats
- Analyses de sensibilité
- Principales conclusions des auteurs

# RECYCLAGE des emballages

# en ACIER

## 1 Caractéristiques environnementales du recyclage

TRÈS FAIBLE      MOYEN      TRÈS FORT



Diversité des scénarios étudiés



Fiabilité des connaissances ACV



Besoins complémentaires en ACV

Thèmes	Indicateur	Bilan du recyclage
Ressources	énergie primaire (MJ)	bénéfice fort
	combustibles fossiles (MJ ou Tep)	bénéfice fort
	eau (m <sup>3</sup> )	bénéfice fort
Rejets d'air	effet de serre (kg eq. CO <sub>2</sub> )	bénéfice fort
	acidification de l'air (g eq. H <sup>+</sup> )	bénéfice fort
	pollution photochimique (kg COV ou g eq. C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	bénéfice fort
	métaux (g)	préjudice fort
	particules (g)	préjudice fort
Rejets eau	eau chimiquement polluée (l)	bénéfice fort
	métaux (g)	non significatif
	eutrophisation (g eq. PO <sub>4</sub> )	bénéfice fort
Déchets	déchets (kg)	nuancé <sup>(1)</sup>
Homme	risque toxique (g eq. Dichlorobenzène ou g eq. As)	préjudice (?)
Ecosystèmes	risque écotoxique (g eq. Dichlorobenzène)	?

[1] Bénéfice pour la production de déchets classe 2 et préjudice pour les déchets classe 1 (déchets industriels spéciaux) et les déchets radioactifs.

## 2 Paramètres influençant le bilan environnemental du recyclage

	Paramètre	Indicateurs sensibles
Paramètres influents	type de recyclage : après collecte sélective ou post incinération	émission de métaux (air, eau) émissions de COV
	fréquence de collecte (en cas de collecte sélective)	effet de serre émissions de COV émissions de particules
	spécificités nationales (composition kwh électrique)	émissions de métaux (eau) déchets de classe 1
Paramètres peu influents	distance de transport vers le site de recyclage	aucun
Incertitude	transports évités (matières premières)	?
	variabilité inter-sites	

### 3 Positionnement du recyclage par rapport aux autres filières d'élimination

- Les caractéristiques environnementales du recyclage présentées dans le tableau de la section 1 ci-dessus portent sur des caractéristiques intrinsèques du recyclage (cf définition dans le guide de lecture). Dans le contexte de la gestion des déchets ménagers, le recyclage des emballages en acier présente le même profil de forces et faiblesses, en termes d'impacts sur l'environnement, que le bilan intrinsèque du recyclage de l'acier sauf pour les rejets atmosphériques de particules lorsque les emballages sont récupérés par collecte sélective en porte-à-porte ou en apport volontaire (du fait des transports additionnels générés).
- Le bilan environnemental du recyclage des emballages en acier est indépendant du mode de traitement auquel le recyclage se substitue (stockage ou incinération).
- Le recyclage est la filière d'élimination des emballages en acier usagés la plus bénéfique en termes d'impacts sur l'environnement, pour les catégories d'impact suivantes : énergie, effet de serre, acidification de l'air, pollution photochimique.
- Les points faibles du recyclage en termes d'impacts sur l'environnement sont les suivants : émissions atmosphériques de métaux, émissions atmosphériques de substances carcinogènes, production de déchets classe 1 et production de déchets radioactifs.
- Le recyclage post-incinération des ferrailles contenues dans les mâchefers est l'option qui permet d'atteindre le plus haut niveau de performance en termes de taux de récupération. Contrairement au recyclage après collecte sélective, cette option conserve le bénéfice du recyclage en termes de rejets de particules dans l'air.

### 4 Caractéristiques des études ACV disponibles

#### Les filières étudiées dans les ACV :

- Recyclage des emballages acier, en acier secondaire (en France, en Allemagne).
- Recyclage après collecte sélective des emballages, et recyclage des ferrailles issues de l'incinération des ordures ménagères.
- Stockage en CET et incinération en UIOM (avec ou recyclage post-incinération de l'aluminium des mâchefers).

TRÈS FAIBLE                      MOYEN                      TRÈS FORT



Sensibilité aux spécificités nationales



Sensibilité aux choix technologiques

A propos de la sensibilité aux choix technologiques : le bilan environnemental du recyclage des emballages acier issus des centres de tri est significativement différent du bilan du recyclage des ferrailles issues de l'incinération.

#### Les limites des études :

- Il faut en premier lieu souligner la grande homogénéité des données d'inventaire issues de sources distinctes. Dans le détail, certains résultats chiffrés peuvent être différents en raison du modèle électrique retenu, variable selon le contexte géographique.
- Besoin d'améliorer les connaissances relatives à l'impact potentiel sur la santé humaine (et les écosystèmes) des rejets atmosphériques de métaux et de substances carcinogènes associés à la filière de recyclage de l'acier.

Titre	Date	Commanditaire	Réalisateur	Revue critique
Eco-balances for policy-making in the domain of packaging and packaging waste	1997	Commission européenne (DG Environnement)	RDC Environment et Coopers & Lybrand (BEL)	OUI
Life Cycle Assessment of Packaging Systems for Beer and Soft Drinks	1998	Danish Environmental Protection Agency (DAN)	Chalmers CIT (SUE) + Danish Technical university	OUI
Inventaires écologiques relatifs aux emballages (chapitre sur l'acier)	1998	Office Fédéral de l'Environnement (OFEFP) + Institut Suisse de l'Emballage (SVI) (Suisse)	Ecole Polytechnique Zurich (EPFZ)	NON
Is Recycling worth the effort ? Life Cycle Assessment of Packaging Waste Management in Victoria	1999	EcoRecycle Victoria (Australie)	UNSW + RMIT + VUT (AUS)	NON
Base de données ACV du logiciel WISARD d'Eco-Emballages (modules recyclage acier)	2001	Eco-Emballages (France)	Ecobilan SA à partir données IISI (FRA)	OUI
Evaluation of costs and benefits for the achievement of reuse and recycling targets for the different packaging materials in the frame of the Packaging and Packaging Waste Directive 94/62/EC	2001	Commission européenne (DG Environnement)	RDC Environment + Pira Group (BEL)	NON

# RECYCLAGE des emballages

# en ALUMINIUM

## 1 Caractéristiques environnementales du recyclage

TRÈS FAIBLE      MOYEN      TRÈS FORT



Diversité des scénarios étudiés



Fiabilité des connaissances ACV



Besoins complémentaires en ACV

Thèmes	Indicateur	Bilan du recyclage
Ressources	énergie primaire (MJ)	bénéfice fort
	combustibles fossiles (MJ ou Tep)	bénéfice fort
	eau (m <sup>3</sup> )	bénéfice fort
Rejets d'air	effet de serre (kg eq. CO <sub>2</sub> )	bénéfice fort
	acidification de l'air (g eq. H <sup>+</sup> )	bénéfice fort
	pollution photochimique (kg COV ou g eq. C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	bénéfice fort
	métaux (g)	bénéfice fort
	particules (g)	bénéfice fort
Rejets eau	eau chimiquement polluée (l)	bénéfice fort
	métaux (g)	bénéfice fort
	eutrophisation (g eq. PO <sub>4</sub> )	bénéfice fort
Déchets	déchets (kg)	bénéfice fort
Homme	risque toxique (g eq. Dichlorobenzène ou g eq. As)	bénéfice fort (?)
Ecosystèmes	risque écotoxique (g eq. Dichlorobenzène)	?

## 2 Paramètres influençant le bilan environnemental du recyclage

	Paramètre	Indicateurs sensibles
Paramètres influents		?
Paramètres peu influents	type de recyclage : après collecte sélective ou post-incinération	aucun
	type d'emballage (canette versus rigide ou semi-rigide)	
	distance de transport et fréquence de collecte sélective	
	distance de transports vers le site de recyclage	
Incertitude	règle d'allocation pour la production du chlore utilisé	?
	transports (matières premières)	
	spécificités nationales (composition kwh électrique), variabilité inter-sites	

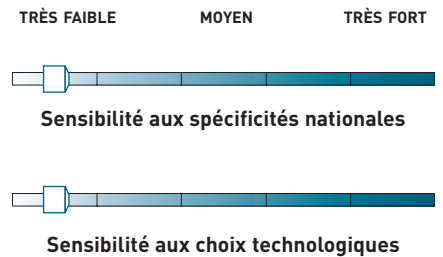
### 3 Positionnement du recyclage par rapport aux autres filières d'élimination

- Le recyclage des emballages en aluminium est bénéfique en termes d'impacts sur l'environnement.
- Le bilan environnemental du recyclage des emballages en aluminium est indépendant du mode de traitement auquel le recyclage se substitue (stockage ou incinération).
- Le recyclage post-incinération de l'aluminium contenu dans les mâchefers est l'option qui permet d'atteindre le plus haut de niveau de performance en termes de taux de récupération.
- Le recyclage est la seule filière d'élimination des emballages en aluminium usagés qui apporte un bénéfice en termes d'impacts sur l'environnement, pour toutes les catégories d'impact étudiées.

### 4 Caractéristiques des études ACV disponibles

#### Les filières étudiées dans les ACV :

- Recyclage des cannettes et des emballages rigides ou semi-rigides, en aluminium secondaire.
- Recyclage après collecte sélective des emballages, et recyclage après incinération des ordures ménagères.
- Stockage en CET et incinération en UIOM avec valorisation énergétique (avec ou sans recyclage post-incinération de l'aluminium des mâchefers).



#### Les limites des études :

- Une seule source de données primaires pour toutes les études : l'European Aluminium Association qui regroupe l'ensemble des fabricants européens d'aluminium.

Titre	Date	Commanditaire	Réalisateur	Revue critique
Eco-balances for policy-making in the domain of packaging and packaging waste	1997	Commission européenne (DG Environnement)	RDC Environment et Coopers & Lybrand (BEL)	OUI
Life Cycle Assessment of Packaging Systems for Beer and Soft Drinks	1998	Danish Environmental Protection Agency	Chalmers CIT (SUE) + Danish Technical university (DAN)	OUI
Inventaires écologiques relatifs aux emballages (chapitre sur l'aluminium)	1998	Office Fédéral de l'Environnement (OFEFP) + Institut Suisse de l'Emballage (SVI) (Suisse)	Ecole Polytechnique Zurich (EPFZ) à partir des données EAAA	NON
Is Recycling worth the effort ? Life Cycle Assessment of Packaging Waste Management in Victoria	1999	EcoRecycle Victoria (Australie)	UNSW + RMIT + VUT (AUS)	NON
Environmental Profile Report for the European Aluminium Industry	2000	EAA (European Aluminium Association)	EAA (EUR)	OUI
Base de données ACV du logiciel WISARD d'Eco-Emballages (modules recyclage alu.)	2001	Eco-Emballages (France)	Ecobitan SA (FRA) à partir de données EAA	OUI
Evaluation of costs and benefits for the achievement of reuse and recycling targets for the different packaging materials in the frame of the Packaging and Packaging Waste Directive 94/62/EC	2001	Commission européenne (DG Environnement)	RDC Environment + Pira Group (BEL)	NON

# RECYCLAGE des emballages

# en VERRE

## 1 Caractéristiques environnementales du recyclage

TRÈS FAIBLE      MOYEN      TRÈS FORT



Diversité des scénarios étudiés



Fiabilité des connaissances ACV



Besoins complémentaires en ACV

Thèmes	Indicateur	Bilan du recyclage
Ressources	énergie primaire (MJ)	bénéfice fort
	combustibles fossiles (MJ ou Tep)	bénéfice fort
	eau (m <sup>3</sup> )	bénéfice fort
Rejets d'air	effet de serre (kg eq. CO <sub>2</sub> )	bénéfice fort
	acidification de l'air (g eq. H <sup>+</sup> )	bénéfice fort
	pollution photochimique (kg COV ou g eq. C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	bénéfice fort
	métaux (g)	bénéfice fort
	particules (g)	(?)
Rejets eau	eau chimiquement polluée (l)	bénéfice fort
	métaux (g)	bénéfice fort
	eutrophisation (g eq. PO <sub>4</sub> )	bénéfice
Déchets	déchets (kg)	bénéfice fort
Homme	risque toxique (g eq. Dichlorobenzène ou g eq. As)	bénéfice fort (?)
Ecosystèmes	risque écotoxique (g eq. Dichlorobenzène)	?

## 2 Paramètres influençant le bilan environnemental du recyclage

	Paramètre	Indicateurs sensibles
Paramètres influents	taux de substitution	tous
	taux d'incorporation du calcin recyclé dans le produit final	énergie et rejets associés
	géométrie et âge du four	énergie et rejets associés
	type d'énergie consommée sur le site verrier (spécificité nationale)	émissions dans l'air
Paramètres peu influents	distance de transport vers le site de recyclage	aucun
Incertitude	couleur du verre	?
	transports (matières premières)	

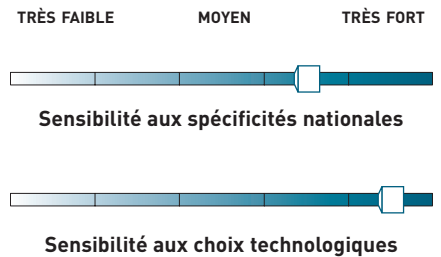
### 3 Positionnement du recyclage par rapport aux autres filières d'élimination

- Le recyclage des emballages en verre est bénéfique en termes d'impacts sur l'environnement, pour toutes les catégories d'impact étudiées mais certains rejets spécifiques peuvent être augmentés avec le recyclage (notamment les émissions atmosphériques d'acide fluorhydrique et de plomb), selon le procédé utilisé.
- Le bilan environnemental du recyclage des emballages en verre est indépendant du mode de traitement auquel le recyclage se substitue (stockage ou incinération).
- L'incinération est l'option la moins favorable d'un point de vue environnemental (résultat lié aux règles d'allocations retenues pour répartir les impacts environnementaux de l'incinération des ordures ménagères en mélange, par type d'intrant).

### 4 Caractéristiques des études ACV disponibles

#### Les filières étudiées dans les ACV :

- Recyclage des bouteilles en verre en four verrier (collecte par apport volontaire).
- Stockage en CET et incinération en UIOM.



#### Les limites des études :

- Il faut en premier lieu souligner la grande homogénéité des tendances issues de sources de données d'inventaire distinctes (mais dans le détail, les données sont parfois très différentes).
- Les études ne tiennent pas compte de la couleur du verre à recycler (certains colorants étant à base de métaux lourds tels que chrome ou cobalt) et du verre produit.
- Les résultats sont représentatifs d'une situation moyenne (au niveau national) ; les écarts pouvant exister entre différentes installations n'ont pas été étudiés.
- Les données sur les émissions atmosphériques de poussières et d'oxydes d'azote (NOx) ne sont pas complètes.

Titre	Date	Commanditaire	Réalisateur	Revue critique
Eco-balances for policy-making in the domain of packaging and packaging waste	1997	Commission européenne (DG Environnement)	RDC Environment et Coopers & Lybrand (BEL)	OUI
Life Cycle Assessment of Packaging Systems for Beer and Soft Drinks	1998	Danish Environmental Protection Agency (DAN)	Chalmers CIT (SUE) + Danish Technical university	OUI
Inventaires écologiques relatifs aux emballages (chapitre sur le verre)	1998	Office Fédéral de l'Environnement (OFEFP) + Institut Suisse de l'Emballage (SVI) (Suisse)	Ecole Polytechnique Zurich (EPFZ)	NON
Is Recycling worth the effort ? Life Cycle Assessment of Packaging Waste Management in Victoria	1999	EcoRecycle Victoria (Australie)	UNSW + RMIT + VUT (AUS)	NON
Base de données ACV du logiciel WISARD d'Eco-Emballages (modules recyclage verre)	2001	Eco-Emballages (France)	Ecobilan SA (FRA)	OUI
Evaluation of costs and benefits for the achievement of reuse and recycling targets for the different packaging materials in the frame of the Packaging and Packaging Waste Directive 94/62/EC	2001	Commission européenne (DG Environnement)	RDC Environment + Pira Group (BEL)	NON

# RECYCLAGE des emballages

# PLASTIQUES

## 1 Caractéristiques environnementales du recyclage

TRÈS FAIBLE MOYEN TRÈS FORT



Diversité des scénarios étudiés



Fiabilité des connaissances ACV



Besoins complémentaires en ACV

Thèmes	Indicateur	Bilan du recyclage	
		substitution à des plastiques vierges	substitution à du bois ou du béton
Ressources	énergie primaire (MJ)	bénéfice fort	conditionnel <sup>(5)</sup>
	combustibles fossiles (MJ ou Tep)	bénéfice fort	conditionnel
	eau (m <sup>3</sup> )	bénéfice	préjudice
Rejets d'air	effet de serre (kg eq. CO <sub>2</sub> )	bénéfice fort	conditionnel
	acidification de l'air (g eq. H <sup>+</sup> )	bénéfice fort	bénéfice
	pollution photochimique (kg COV ou g eq. C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	bénéfice fort	?
	métaux (g)	conditionnel <sup>(1)</sup>	?
Rejets eau	particules (g)	bénéfice fort	?
	eau chimiquement polluée (l)	préjudice fort	?
	métaux (g)	conditionnel <sup>(2)</sup>	?
Déchets	eutrophisation (g eq. PO <sub>4</sub> )	conditionnel <sup>(3)</sup>	bénéfice
	déchets (kg)	conditionnel <sup>(4)</sup>	conditionnel <sup>(6)</sup>
Homme	risque toxique (g eq. Dichlorobenzene ou g eq. As)	?	?
Ecosystèmes	risque écotoxique (g eq. Dichlorobenzene)	?	?

(1) rejets air de métaux : selon la nature des matériaux à recycler et/ou le procédé de recyclage, le bilan du recyclage peut générer ou bien un préjudice (ex. PET mécanique, PEhd, mélange) ou bien un bénéfice (ex. : PVC, film PEbd, recyclage chimique du PET).

(2) rejets eau de métaux : bilan bénéfique sauf pour le recyclage des plastiques mélangés.

(3) eutrophisation : bilan bénéfique pour les emballages PET et PVC, préjudiciable pour le PEbd, PEhd et les plastiques mélangés.

(4) déchets : seul le recyclage chimique du PET présente un bilan bénéfique à la fois pour les déchets classe 1 et classe 2 ; a contrario, seul le recyclage mécanique des films PEbd présente un bilan préjudiciable à la fois pour les déchets classe 1 et classe 2 ; pour les autres matériaux plastiques, le bilan est généralement bénéfique pour les déchets classe 1 et préjudiciable pour les déchets classe 2 (tendance inversée pour le recyclage des plastiques en mélange).

(5) selon le taux de substitution considéré.

(6) : bilan bénéfique pour les déchets classe 2, mais préjudiciable pour les déchets classe 1 et les déchets radioactifs.

## 2 Paramètres influençant le bilan environnemental du recyclage

	Paramètre	Indicateurs sensibles
Paramètres influents	type de matière économisée : plastique ou autre (bois, béton) <sup>(1)</sup>	tous
	taux de substitution de la matière vierge par de la résine recyclée <sup>(2)</sup>	tous
	type de résine à recycler (PET, PE, PVC, mélange...)	tous
	recyclage mécanique versus chimique <sup>(3)</sup>	tous
Paramètres peu influents	type de recyclage mécanique (par résine) <sup>(4)</sup>	faible influence (<10%) sur l'ensemble des indicateurs quantifiés
	distance de transports vers le site de recyclage	
Incertitude	transports évités de matières premières	?
	spécificités nationales (composition kWh), variabilité inter-sites	

(1) Concerne uniquement le recyclage des plastiques mélangés.

(2) Dans le tableau de la section 1, le bilan du recyclage correspond à taux de substitution élevé (1 kg de résine recyclée se substitue généralement à 1 kg de matière vierge). Pour des taux plus faibles, le bilan du recyclage est fortement dégradé.

(3) Concerne uniquement les emballages PET.

(4) Pour le PEhd : fabrication de granulés ou de palettes ; pour le PET : recyclage en fibres, supercycle ou flacon tricouche.

### 3 Positionnement du recyclage par rapport aux autres filières d'élimination

• Les paramètres les plus déterminants sont le type de matière vierge économisée et le taux de substitution (quantité de matière vierge / quantité de matière recyclée) – ce dernier est directement fonction du type de produit fini fabriqué à partir de la matière recyclée.

• **Recyclage versus Décharge :** le recyclage ressort meilleur pour les catégories d'impact suivantes : énergie primaire, combustibles fossiles, consommation d'eau, effet de serre, acidification de l'air, pollution photochimique. Pour les autres catégories, le positionnement des deux filières dépend du type de plastique et de recyclage.

• **Recyclage versus Valorisation énergétique :**

Lorsque la matière recyclée se substitue à du plastique vierge avec un taux de substitution proche de 1, le recyclage est plus avantageux que la valorisation énergétique (incinération avec valorisation énergétique, feedstock recycling ou gazéification) pour tous les impacts quantifiés dans les ACV sauf les déchets radioactifs.

Par contre, lorsque les matières plastiques recyclées remplacent d'autres types de matériaux (ex. bois des piquets de jardin ou béton des palissades de jardin), la valorisation énergétique présente généralement un bilan plus avantageux que

le recyclage, mais les résultats dépendent des hypothèses retenues pour la durée de vie des produits finis (donc le taux de substitution).

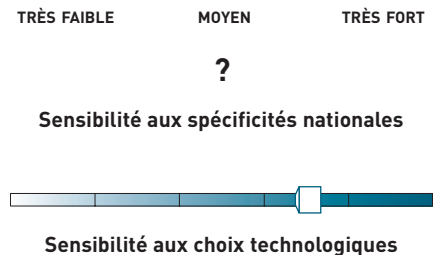
Le positionnement du recyclage par rapport à la valorisation énergétique ne paraît pas dépendre des performances de valorisation énergétique.

*Les tendances ci-dessus sont valables quel que soit le contexte national (France, Allemagne, moyenne européenne).*

### 4 Caractéristiques des études ACV disponibles

#### Les filières étudiées dans les ACV :

- Recyclage des corps creux PEhd en flacons tri-couche à partir de paillettes ou à partir de granulés.
- Recyclage des films plastiques PEbd, en sacs plastiques.
- Recyclage des emballages PET en fibres de rembourrage (couettes et pulls).
- Recyclage des emballages PET en résine Supercycle.
- Recyclage des emballages PET en emballages tri-couche.
- Recyclage chimique du PET en polyols polyesters entrant dans la fabrication des mousses polyuréthanes.
- Recyclage des emballages PVC en tubes d'assainissement.
- Recyclage des plastiques mélangés en piquets de jardin.
- Recyclage des plastiques mélangés en palissades pour jardin.
- Feedstock recycling, thermolyse et gazéification des emballages plastiques (Allemagne).
- Incinération avec valorisation énergétique des emballages plastiques.



#### Les limites des études :

- Toutes les filières de recyclage n'ont pas fait l'objet d'études ACV.
- Le bilan en termes de risque toxique pour l'homme doit être approfondi.

Titre	Date	Commanditaire	Réalisateur	Revue critique
Eco-balances for policy-making in the domain of packaging and packaging waste	1997	Commission européenne (DG Environnement)	RDC Environment et Coopers & Lybrand (BEL)	OUI
Recycling and Recovery of Plastics from Packagings in Domestic Waste. LCA-type Analysis of Different Strategies	1999	APME + DSD + VCI +VKE + GKV (Allemagne)	Fraunhofer Institute + Forschungs institut Kunststoff und Recycling GmbH (FKuR) (ALL)	OUI
Assessment of Plastic Recovery Options [analyse critique de 10 études publiées]	2000	European Environmental Bureau	Öko-Institut e.V. (ALL)	NON
ACV des caisses (en bois, carton ondulé et plastique) (PP) pour pommes	2000	ADEME (France)	Ecobilan SA (FRA)	OUI
Base de données ACV du logiciel WISARD d'Eco-Emballages (PE, PEhd, PET, PVC, mélange)	2001	Eco-Emballages (France)	Ecobilan SA, BIO Intelligence Service (FRA)	OUI
Evaluation of costs and benefits for the achievement of reuse and recycling targets for the different packaging materials in the frame of the Packaging and Packaging Waste Directive 94/62/EC	2001	Commission Européenne (DG environnement)	RDC Environment + Pira Group (BEL)	NON
Eco-efficiency of recovery scenarios of plastics packaging	2001	APME	TNO (NL)	OUI

# RECYCLAGE

## des emballages

# PAPIER-CARTON

## 1 Caractéristiques environnementales du recyclage

TRÈS FAIBLE MOYEN TRÈS FORT



Diversité des scénarios étudiés



Fiabilité des connaissances ACV



Besoins complémentaires en ACV

Thèmes	Indicateur	Bilan du recyclage
Ressources	énergie primaire (MJ)	bénéfice
	combustibles fossiles (MJ ou Tep)	non significatif
	eau (m <sup>3</sup> )	conditionnel <sup>(1)</sup>
Rejets d'air	effet de serre (kg eq. CO <sub>2</sub> )	non significatif
	acidification de l'air (g eq. H <sup>+</sup> )	bénéfice
	pollution photochimique (kg COV ou g eq. C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	bénéfice
	particules (g)	bénéfice
Rejets eau	eau chimiquement polluée (l)	bénéfice
	eutrophisation (g eq. PO <sub>4</sub> )	non significatif
Déchets	déchets (kg)	préjudice
Homme	risque toxique (g eq. Dichlorobenzène ou g eq. As)	? (bénéfice)
Ecosystèmes	risque écotoxique (g eq. Dichlorobenzène)	?

(1) consommation d'eau : selon la nature des matériaux à recycler, le bilan du recyclage peut générer ou bien un préjudice (ex. : recyclage des caisses en carton ondulé) ou bien un bénéfice (ex. : recyclage des emballages papier - carton en mélange).

## 2 Paramètres influençant le bilan environnemental du recyclage

	Paramètre	Indicateurs sensibles
Paramètres influents	taux de substitution (de la pâte vierge par la pâte recyclée) <sup>(1)</sup>	tous
	conditions du marché et taux effectif d'augmentation du recyclage <sup>(2)</sup>	tous
	devenir de la biomasse économisée (bois énergie vs bois-matière) <sup>(3)</sup>	tous
Paramètres non influents	transports générés (collecte et consommables)	aucun
	transports évités (matières premières)	aucun
Incertitude	émissions dans l'eau de l'étape de production de pâte vierge <sup>(4)</sup>	rejets eau

(1) Dans le tableau de la section 1, le bilan du recyclage correspond à taux de substitution élevé [1 kg de pâte recyclée se substitue à plus de 850 g de pâte à papier vierge]. Pour des taux plus faibles, le bilan du recyclage est fortement dégradé.

(2) Si les fibres recyclées issues d'emballages PC se substituent à des fibres recyclées issues d'autres produits (journaux-magazines par ex.), le bilan du recyclage se trouve fortement dégradé.

(3) Si le bois continue d'être coupé même en cas de recyclage, il peut être utilisé comme source d'énergie ou comme matière. Dans les ACV actuelles, le bois économisé par le recyclage est utilisé comme matière sans impact ni substitution. Si au contraire il se substitue à des combustibles fossiles, le bilan du recyclage serait fortement amélioré, et l'impact sur l'effet de serre deviendrait fortement bénéfique.

(4) Ces émissions ne sont pas prises en compte dans la plupart des ACV, faute de données disponibles.

# 3 Positionnement du recyclage par rapport aux autres filières d'élimination

- Les impacts environnementaux de la mise en place du recyclage des emballages papier-carton dépendent fortement du mode de traitement auquel le recyclage se substitue.

Catégorie	Indicateur	recyclage versus CET classe 2	recyclage versus UIOM
Ressources	énergie primaire (MJ)	bénéfice	bénéfice
	combustibles fossiles (MJ ou Tep)	bénéfice	non significatif
	eau (m3)	non significatif	non significatif
Rejets air	effet de serre (kg eq. CO <sub>2</sub> )	bénéfice	préjudice conditionnel <sup>(1)</sup>
	acidification de l'air (g eq. H <sup>+</sup> )	bénéfice	conditionnel <sup>(2)</sup>
Rejets eau	eutrophisation (g eq. PO <sub>4</sub> )	non significatif	non significatif
Déchets	déchets classe 1 (kg)	préjudice	non significatif
	déchets classe 2 (kg)	bénéfice	non significatif
Homme	risque toxique (g eq. Dichlorobenzene)	?	?
Ecosystèmes	risque écotoxique (g eq. Dichlorobenzene)	?	?

(1) L'impact sur l'effet de serre de la collecte et du recyclage des emballages papier-carton dépend des performances de l'incinération avec valorisation énergétique des emballages papier-carton :

- Dans le cas où le recyclage se substitue à une incinération avec des performances de valorisation énergétique moyenne (France, cogénération), l'impact sur l'effet de serre est dégradé. L'énergie produite par valorisation énergétique des emballages papier-carton (dont la combustion ne contribue pas à l'augmentation de l'effet de serre) se substitue à une même quantité d'énergie produite à partir de ressources émettrices de gaz à effet de serre. Avec le recyclage, les bénéfices environnementaux de cette substitution sont perdus.
- Dans le cas où le recyclage se substitue à une incinération avec valorisation électrique seule, l'impact sur l'effet de serre n'est pas affecté. L'électricité produite par valorisation énergétique des emballages papier-carton (pas de contribution à l'augmentation de l'effet de serre) se substitue à la même quantité d'électricité du réseau électrique français (faible contribution aux émissions de gaz à effet de serre).

(2) L'impact sur l'acidification de l'air du recyclage des emballages papier-carton est inversement corrélée aux performances de l'incinération avec valorisation énergétique des emballages papier-carton (bénéfice du recyclage en cas de valorisation électrique seule, impact neutre du recyclage en cas de valorisation énergétique de performance moyenne, et préjudice du recyclage en cas de valorisation énergétique optimisée).

- Les impacts environnementaux du recyclage sont dépendants du contexte local / national

Pour la plupart des indicateurs (notamment énergie, effet de serre, eutrophisation), les résultats du tableau de la section 3 ci-dessus sont valables quel que soit le contexte national.

Mais les spécificités locales en matière de valorisation énergétique (nature des énergies substituées et mix électricité, respectivement) peuvent affecter certains indicateurs (ex. : acidification, rejets de particules, pollution photochimique, ...).

- Recyclage versus Valorisation énergétique :** aucune filière ne ressort meilleure qu'une autre sur tous les critères :

- Énergie primaire et consommation d'électricité : recyclage meilleur que valorisation énergétique.
- Effet de serre : valorisation énergétique meilleure ou équivalente au recyclage.
- Acidification : hiérarchie dépendant des performances de valorisation énergétique.

Les impacts environnementaux de l'énergie économisée sont les paramètres les plus déterminants pour la comparaison des bilans

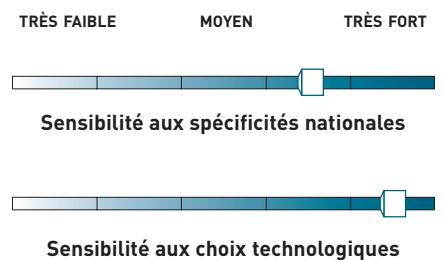
environnementaux des filières de valorisation des emballages papier-carton (plus l'énergie économisée grâce à la valorisation énergétique est polluante, plus la valorisation énergétique des emballages papier-carton est avantageuse, donc moins le recyclage est bénéfique).

- Recyclage versus Compostage :** les résultats ressortent à l'avantage du recyclage pour tous les indicateurs excepté pour la production de déchets industriels spéciaux.

## 4 Caractéristiques des études ACV disponibles

### Les filières étudiées dans les ACV :

- Recyclage des emballages papier carton mêlés, en papier pour ondulé.
- Recyclage des caisses carton ondulé, en papier pour ondulé
- Recyclage des sacs papier en papier pour ondulé.
- Recyclage des briques alimentaires en ouate de cellulose (données non disponibles)
- Incinération avec valorisation énergétique.
- Compostage des journaux magazines et papiers-cartons mêlés.



### Les limites des études :

- Toutes les filières de recyclage n'ont pas fait l'objet d'études ACV (ex : fabrication de cellulose moulée).
- Pas d'étude ACV dans le cas où le bois économisé par le recyclage se substitue à des combustibles fossiles.
- Âge moyen des données : 1996.
- Les résultats présentés sont valables si l'on admet qu'un accroissement du gisement de fibres recyclées issues des emballages papier-carton ne se fait pas au détriment des autres filières de recyclage (notamment papier graphique).
- Représentativité réelle des résultats difficile à estimer (taux de substitution réel au niveau macroéconomique de la pâte vierge par de la pâte recyclée ?)
- Le bilan en termes de risque toxique pour l'homme doit être approfondi.

Titre	Date	Commanditaire	Réalisateur	Revue critique
On the Usefulness of LCA in Decision-Making - the Case of Recycling vs Incineration of Paper	1997	Swedish Waste Research Council (AFR)	Chalmers Univ. of Techn. (SUE)	OUI
Eco-balances for policy-making in the domain of packaging and packaging waste	1997	Commission européenne (DG Environnement)	RDC Environment et Coopers & Lybrand (BEL)	OUI
ACV des caisses (en bois, carton ondulé et plastique) pour pommes	2000	ADEME	Ecobitan SA (FRA)	OUI
Base de données ACV du logiciel WISARD d'Eco-Emballages (modules emballages PC)	2001	Eco-Emballages (France)	Ecobitan SA (FRA)	OUI
Analyse environnementale de systèmes de gestion de déchets ménagers	2001	Eco-Emballages et ADEME	BIO Intelligence Service + Ecobitan SA (FRA)	OUI
Evaluation of costs and benefits for the achievement of reuse and recycling targets for the different packaging materials in the frame of the Packaging and Packaging Waste Directive 94/62/EC	2001	Commission européenne (DG Environnement)	RDC Environment + Pira Group (BEL)	NON

# RECYCLAGE des

# PAPIERS GRAPHIQUES

## 1 Caractéristiques environnementales du recyclage

TRÈS FAIBLE MOYEN TRÈS FORT



Diversité des scénarios étudiés



Fiabilité des connaissances ACV



Besoins complémentaires en ACV

Thèmes	Indicateur	Bilan du recyclage
Ressources	énergie primaire (MJ)	bénéfice fort
	combustibles fossiles (MJ ou Tep)	bénéfice fort
	eau (m <sup>3</sup> )	bénéfice fort
Rejets d'air	effet de serre (kg eq. CO <sub>2</sub> )	bénéfice
	acidification de l'air (g eq. H <sup>+</sup> )	bénéfice fort
	pollution photochimique (kg COV ou g eq. C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	bénéfice
	particules (g)	bénéfice
Rejets eau	eutrophisation (g eq. PO <sub>4</sub> )	bénéfice
	eau chimiquement polluée (l)	bénéfice fort
Déchets	déchets (kg)	conditionnel <sup>(1)</sup>
Homme	risque toxique (g eq. Dichlorobenzène ou g eq. As)	? (préjudice)
Ecosystèmes	risque écotoxique (g eq. Dichlorobenzène)	?

(1) Préjudice du recyclage des papiers graphiques pour les déchets totaux et déchets de classe 1, et bénéfice pour les déchets de classe 2.

## 2 Paramètres influençant le bilan environnemental du recyclage

	Paramètre	Indicateurs sensibles
Paramètres influents	Taux d'utilisation de matière secondaire (quantité de vieux papiers utilisés)	tous
	Type de papier graphique fabriqué et taux de vieux papiers dans le produit fini	tous
	Devenir de la biomasse économisée (bois-énergie versus bois-matière)	tous
Paramètres non influents	Transports des matières premières non importées	aucun
Incertitude	Transports pour la collecte des vieux papiers	rejets air
	Taux de substitution de la pâte vierge par des fibres recyclées	tous ?
	Type de blanchiment (cas du papier à copier)	rejets eau ?
	Transports des matières premières importées	rejets air ?

### 3 Positionnement du recyclage par rapport aux autres filières d'élimination

- Les impacts environnementaux du recyclage devraient être fortement dépendants du mode de traitement de la fraction non recyclée des vieux papiers graphiques.

Cette hypothèse est une extension de la conclusion tirée dans le cas des emballages en papier-carton (cf fiche correspondante), les enjeux de la valorisation énergétique et du stockage en décharge étant analogues.

- **Recyclage versus Valorisation énergétique :**

La comparaison du recyclage et de la valorisation énergétique, en termes d'impacts sur l'environnement, aboutit à des résultats nuancés qui dépendent de plusieurs paramètres :

- type de valorisation énergétique (UIOM ou centrale thermique),
- la performance de valorisation énergétique (rendement, cogénération),

- la performance de l'installation de valorisation énergétique en termes de rejets,
- type de combustible économisé par l'incinération des vieux papiers (charbon ou gaz).

Il n'est pas possible d'affirmer qu'un mode de valorisation (matière ou énergie) est meilleur qu'un autre dans tous les cas, sur tous les indicateurs d'impact étudiés.

Les scénarios avec valorisation énergétique des vieux papiers ont un bilan environnemental d'autant plus bénéfique que l'incinération des vieux papiers évite la combustion d'une énergie plus polluante (ex. : le charbon plutôt que le gaz).

Configuration la plus favorable au recyclage dans le contexte de l'Allemagne (pas de données équivalentes pour la France) : lorsque

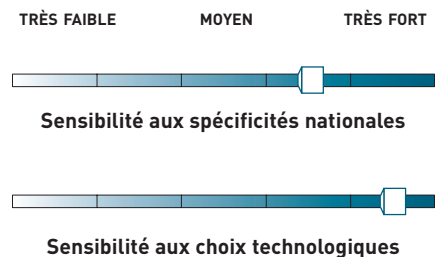
la valorisation énergétique des vieux papiers en UIOM évite la combustion de gaz pour la production de chaleur, la valorisation énergétique est sensiblement plus néfaste du point de vue environnemental que le recyclage des vieux papiers, pour tous les indicateurs excepté pour l'eutrophisation des eaux (NB : dans le cas d'une valorisation en centrale thermique performante ou bien dans le cas d'une valorisation en UIOM où l'énergie économisée est du charbon, les résultats sont nettement plus contrastés).

- **Recyclage versus Compostage :** les résultats ressortent à l'avantage du recyclage pour tous les indicateurs excepté pour la production de déchets industriels spéciaux.

### 4 Caractéristiques des études ACV disponibles

#### Les filières étudiées dans les ACV :

- Recyclage des vieux papiers graphiques en : papier journal, papier supercalandré (SC) pour magazines, papier couché (LWC) pour magazines, papier à photocopier.
- Incinération avec valorisation énergétique, en UIOM ou en centrale thermique.
- Compostage des journaux magazines et papiers-cartons mêlés.



#### Les limites des études :

- La seule étude complète sur le sujet est représentative de la situation en Allemagne. L'approche utilisée ne permet pas d'extrapoler les résultats au contexte de la France.
- Les seules données françaises disponibles concernent le procédé de recyclage des journaux magazines en papier journal.

Titre	Date	Commanditaire	Réalisateur	Revue critique
Newsprint, A Life Cycle study : an independent assessment of the environmental benefits or recycling at Aylesford Newsprint compared with incineration	1998	Aylesford Newsprint Ltd (UK)	Ecobalance (UK)	NON
Life cycle Analysis of the Newspaper Le Monde	1998	ANRT, Le Monde, Univ. P7	Thèse de doctorat Univ. P7 (FRA)	OUI
Life Cycle Assessment for Graphical Paper	2000	Agence Fédérale de l'Environnement (UBA) (ALL)	IFEU + BaWÖ + IFU + INFU (ALL)	OUI
Base de données ACV du logiciel WISARD (module Journaux-magazines)	2001	Eco-Emballages (France)	Ecobilan SA (FRA)	OUI
Analyse environnementale de systèmes de gestion de déchets ménagers	2001	Eco-Emballages et ADEME	BIO Intelligence Service + Ecobilan SA (FRA)	NON

# RECYCLAGE des

# HUILES USAGÉES

## 1 Caractéristiques environnementales du recyclage

TRÈS FAIBLE MOYEN TRÈS FORT



Diversité des scénarios étudiés



Fiabilité des connaissances ACV



Besoins complémentaires en ACV

Thèmes	Indicateur	Bilan du recyclage
Ressources	énergie primaire (MJ)	bénéfice fort
	combustibles fossiles (MJ ou Tep)	bénéfice fort
	eau (m <sup>3</sup> )	bénéfice
Rejets d'air	effet de serre (kg eq. CO <sub>2</sub> )	conditionnel <sup>(2)</sup>
	acidification de l'air (g eq. H <sup>+</sup> )	conditionnel <sup>(3)</sup>
	pollution photochimique (kg COV ou g eq. C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	bénéfice fort
	particules (g)	bénéfice fort
Rejets eau	eutrophisation (g eq. PO <sub>4</sub> )	non significatif
Déchets	déchets (kg)	non significatif
Homme	risque toxique (g eq. Dichlorobenzène ou g eq. As)	?
Ecosystèmes	risque écotoxique (g eq. Dichlorobenzène)	?

(1) Concerne les procédés les plus courants de recyclage (régénération en huile de base), non les procédés en développement (ex : recyclage en raffinerie).

(2) Effet de serre : selon le type de recyclage (nature du produit fini) et la technologie, le recyclage peut générer ou bien un bénéfice (ex : régénération en huile de base et technologies les plus récentes) ou bien un préjudice (ex : régénération et technologie actuelle en France ; recyclage en méthanol).

(3) Acidification de l'air : la majorité des procédés étudiés a un bilan bénéfique ou neutre, mais pour certaines filières le bilan peut être dégradé.

## 2 Paramètres influençant le bilan environnemental du recyclage

	Paramètre	Indicateurs sensibles
Paramètres influents	choix de la technologie de valorisation matière	combustibles fossiles effet de serre acidification
	traitement des fumées sur site	acidification
	qualité des produits finis (issus de la valorisation des huiles usagées)	combustibles fossiles effet de serre acidification
	type de combustible utilisé en raffinerie	acidification
Paramètres non influents	transports générés (collecte et consommables)	aucun
	transports évités (matières premières)	aucun
Incertitude	composition des huiles usagées	?

### 3 Positionnement du recyclage par rapport aux autres filières d'élimination

• **Recyclage ou régénération versus valorisation énergétique : les résultats sont contrastés et aucune filière ne ressort meilleure qu'une autre sur tous les critères.**

- Energie primaire : bénéfices comparables des deux types de filières de traitement.

- Combustibles fossiles : hiérarchie dépendant du choix de la méthode d'évaluation de l'épuisement des combustibles fossiles et du type de combustible économisé par la valorisation énergétique.

- Effet de serre : avantage significatif et robuste de la valorisation énergétique en cimenterie.

- Acidification : hiérarchie dépendant des choix technologiques et des règles d'allocation retenues.

- Déchets : avantage fort de la valorisation énergétique en cimenterie sur le recyclage lorsque les combustibles substitués en cimenterie comprennent du charbon. Sinon, impacts comparables.

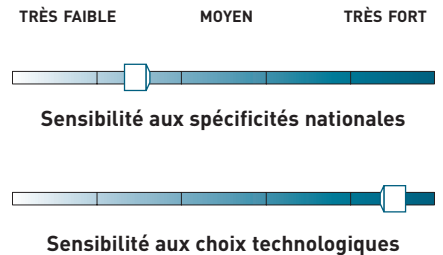
• **Recyclage ou régénération versus traitement d'huiles usagées pour produire un combustible : les résultats sont contrastés et aucune filière ne ressort meilleure qu'une autre sur tous les critères.**

• **Les impacts environnementaux du procédé substitué sont les paramètres les plus déterminants pour la comparaison des bilans environnementaux des filières de traitement des huiles usagées (le bilan de la valorisation énergétique étant fortement dépendant de la nature des combustibles substitués).**

### 4 Caractéristiques des études ACV disponibles

#### Les filières étudiées dans les ACV :

- Régénération en huile de base.
- Traitement d'huiles usagées pour produire un combustible ou du méthanol.
- Recyclage en produit de raffinerie (distillat sous vide).
- Valorisation énergétique en cimenterie.



#### Les limites des études :

- Toutes les filières de traitement n'ont pas fait l'objet d'études ACV.
- Âge moyen des données : 1996.
- Résultats spécifiques aux sites étudiés pour la régénération et le traitement d'huiles usagées pour produire un combustible.
- Influence de la qualité et de la composition des huiles usagées non étudiée (à la fois pour la régénération en huile de base et pour le traitement d'huiles usagées pour produire un combustible).
- Résultats sensibles à la règle d'imputation retenue pour allouer les impacts de la raffinerie aux différents co-produits.
- Pas de bilan en termes de risque toxique pour l'homme.

Titre	Date	Commanditaire	Réalisateur	Revue critique
Waste oil - Fuel or Lubricant ? Examination for precedence in accordance with the waste recycling act	1997	Lower Saxony Minister of Environment (ALL)	Ökopol GmbH (ALL)	NON
Environmental and Economic impact of re-refined products : a life cycle analysis	1998	FIAT (ITA)	Centre Ricerche FIAT (ITA)	NON
Recyclage et valorisation énergétique des huiles usagées - Atouts et faiblesses	2000	ADEME (FRA)	Ecobilan (FRA)	OUI
Ökologische Bilanzierung von Altölverwertungswegen - Ökologischer Vergleich von vier wichtigen Altölwertungsverfahren [Comparaison écologique des quatre plus importants procédés de valorisation des huiles usagées]	2000	German Federal Environment Agency (ALL)	IFEU (ALL)	OUI

# RECYCLAGE des emballages

# BOIS

## 1 Caractéristiques environnementales du recyclage

TRÈS FAIBLE MOYEN TRÈS FORT



Diversité des scénarios étudiés



Fiabilité des connaissances ACV



Besoins complémentaires en ACV

- Les rares études ACV disponibles sur les emballages bois avaient pour objectif d'étudier le cycle de vie complet des palettes (pour quantifier les bénéfices environnementaux de la réutilisation des palettes) ou des cagettes (pour comparer différents types de matériaux constitutifs des cagettes). Malgré une lecture attentive de ces études, il n'a pas été possible d'en déduire les caractéristiques générales du recyclage des emballages en bois.
- Les quelques enseignements ci-après ont été tirés des quelques analyses de sensibilité effectuées en modifiant l'étape de fin de vie dans les études susmentionnées.

## 2 Paramètres influençant le bilan environnemental du recyclage

	Paramètre	Indicateurs sensibles
Paramètres influents	Pas de conclusion documentée. L'analyse des études réalisées sur la filière bois laisse supposer que les paramètres les plus déterminants devraient être associés aux <u>transports</u> (collecte des emballages usagés, transport jusqu'au site de recyclage, et transports évités).	
Paramètres non influents		
Incertitude		

### 3 Positionnement du recyclage par rapport aux autres filières d'élimination

Par rapport à la filière d'élimination des ordures ménagères, le recyclage des cagettes en panneaux de particules semble améliorer certains impacts environnementaux (consommation d'électricité et d'eau, effet de serre, rejets liquides de DCO) et en dégrader d'autres (émissions atmosphériques de SOx, consommation de combustibles fossiles), mais la qualité de ces résultats (les seuls disponibles) n'est pas assurée.

### 4 Caractéristiques des études ACV disponibles

#### Les filières étudiées dans les ACV :

- Recyclage des cagettes bois en panneaux de particules.
- Elimination des cagettes bois avec les ordures ménagères.
- Valorisation des cagettes en UIOM, en chaufferie industrielle ou brûlage en cheminée.
- Réutilisation des palettes bois.

TRÈS FAIBLE                      MOYEN                      TRÈS FORT

?

**Sensibilité aux spécificités nationales**

?

**Sensibilité aux choix technologiques**

#### Les limites des études :

- Nous ne disposons aujourd'hui d'aucune base de connaissances approfondie sur les caractéristiques environnementales du recyclage des emballages bois.

Titre	Date	Commanditaire	Réalisateur	Revue critique
ACV de la cagette en bois	1998	ADEME et SIEL (FRA)	Ecobilan SA (FRA)	NON
ACV des caisses (en bois, carton ondulé et plastique) pour pommes	2000	ADEME (FRA)	Ecobilan SA (FRA)	OUI
Eco-balances for policy-making in the domain of packaging and packaging waste (volet sur la réutilisation des palettes bois)	1997	Commission européenne (DG Environnement)	RDC Environment et Coopers & Lybrand (BEL)	OUI
ACV de la palette bois Europe (volet sur la réutilisation)	1997	ADEME et Ministère Agriculture (France)	Ecobilan SA et CTBA (FRA)	NON

# RECYCLAGE des

# VÉHICULES HORS D'USAGE (VHU)

## 1 Caractéristiques environnementales du recyclage

TRÈS FAIBLE      MOYEN      TRÈS FORT



Diversité des scénarios étudiés



Fiabilité des connaissances ACV



Besoins complémentaires en ACV

Thèmes	Indicateur	Bilan du recyclage
Ressources	énergie primaire (MJ)	bénéfice
	combustibles fossiles (MJ ou Tep)	bénéfice
	eau (m <sup>3</sup> )	?
Rejets d'air	effet de serre (kg eq. CO <sub>2</sub> )	bénéfice
	acidification de l'air (g eq. H <sup>+</sup> )	bénéfice
	pollution photochimique (kg COV ou g eq. C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	?
	métaux (g)	?
	particules (g)	?
Rejets eau	eau chimiquement polluée (l)	?
	métaux (g)	?
	eutrophisation (g eq. PO <sub>4</sub> )	bénéfice
Déchets	déchets (kg)	?
Homme	risque toxique (g eq. Dichlorobenzene ou g eq. As)	?
Ecosystèmes	risque écotoxique (g eq. Dichlorobenzene)	?

## 2 Paramètres influençant le bilan environnemental du recyclage

- Les études disponibles ne sont pas encore assez complètes (dans cette filière, le débat porte surtout sur la place de la fin de vie dans le cycle de vie total des véhicules car les impacts environnementaux des véhicules sont dominés par l'étape d'utilisation des véhicules).

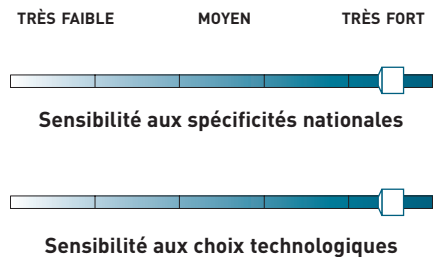
### 3 Positionnement du recyclage par rapport aux autres filières d'élimination

Le recyclage semble préférable à la valorisation énergétique des VHU (tous matériaux constitutifs confondus) mais les écarts entre les deux filières ne sont pas forcément très significatifs par rapport au cycle de vie complet des véhicules. D'autres études sont nécessaires pour confirmer les premiers résultats disponibles.

### 4 Caractéristiques des études ACV disponibles

#### Les filières étudiées dans les ACV :

- Filière actuelle de traitement des VHU en France (hors filières de recyclage).
- Recyclage versus valorisation énergétique des thermoplastiques des VHU.
- Divers scénarios de traitement des VHU au Royaume-Uni (y compris incidence de la proposition de directive européenne).



#### Les limites des études :

- Grande hétérogénéité des études : aucune étude n'aborde la question des VHU selon un même angle de vue.
- Manque d'approche structurante :
  - faut-il raisonner par matériau constitutif ou bien de manière globale pour l'ensemble des matériaux d'un VHU générique ?
  - l'ampleur des impacts associés à l'étape d'utilisation des véhicules doit-elle justifier que les impacts associés au traitement des VHU sont négligeables ?
- Manque de données fiables notamment sur la valorisation énergétique des résidus de broyage automobile.
- Manque de données sur de nombreuses filières potentielles de recyclage : verre, caoutchouc, mousses en polyuréthane, etc.
- Absence d'étude sur la situation française.

Titre	Date	Commanditaire	Réalisateur	Revue critique
Life Cycle Assessment of Different Recycling Scenarios of Aluminium Car Body Sheet	1998	Alusuisse	IKP (Université Stuttgart, ALL)	NON
Environmental Aspects of Plastics from ELVs	1998	Auto Recycling Nederland [ARN, NL]	PWC + Préconsultants [NL]	NON
Bilan matière-énergie de la filière de traitement des VHU	2000	INDRA [FRA] <sup>[1]</sup>	INDRA et INSA de Lyon [FRA]	NON
A Life Cycle Assessment of the Implications of Implementing the Proposed End of Life Vehicles Directive in the United Kingdom	2000	Dep. of Trade and Industry [UK]	Ecobalance [UK]	NON
Total Energy Balance of Recycling and Recovery from Automotive Shredder Residues Vehicles	2001		Zurich Univ. of Applied Sciences [SUI]	NON
End-of-Life of a Polypropylene Bumper Skin	2001	PSA [FRA]	Interne PSA [FRA]	NON

[1] L'étude INDRA ne rentre pas dans le cadre de l'étude car les étapes de valorisation matière et valorisation énergétique sont exclues du système

# RECYCLAGE

des

## DÉCHETS

## D'ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES ET

# ÉLECTRONIQUES

## (DEEE)

### 1 Caractéristiques environnementales du recyclage

TRÈS FAIBLE      MOYEN      TRÈS FORT



Diversité des scénarios étudiés



Fiabilité des connaissances ACV



Besoins complémentaires en ACV

Le bilan du recyclage dépend fortement du type de DEEE :

Thèmes	Indicateur	Bilan du recyclage		
		Téléviseur	Réfrigérateur	Autres PEEE (machine à laver, PC, aspirateur...)
Ressources	énergie primaire (MJ)	non significatif	bénéfice fort	bénéfice
	combustibles fossiles (MJ ou Tep)	?	?	?
	eau (m <sup>3</sup> )	?	?	?
Rejets d'air	effet de serre (kg eq. CO <sub>2</sub> )	préjudice	bénéfice fort	bénéfice conditionnel
	acidification de l'air (g eq. H <sup>+</sup> )	préjudice	bénéfice fort	bénéfice
	pollution photochimique (kg COV ou g eq. C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	?	?	?
	métaux (g)	?	?	?
	particules (g)	?	?	?
Rejets eau	eau chimiquement polluée (m <sup>3</sup> eau critique)	préjudice	bénéfice	bénéfice
	métaux (g)	?	?	?
	eutrophisation (g eq. PO <sub>4</sub> )	bénéfice fort	bénéfice	bénéfice fort
Déchets	déchets (kg)	bénéfice fort	conditionnel	bénéfice conditionnel
Homme	risque toxique (g eq. Dichlorobenzène ou g eq. As)	?	?	?
Ecosystèmes	risque écotoxique (g eq. Dichlorobenzène)	?	?	?

## 2 Paramètres influençant le bilan environnemental du recyclage

	Paramètre	Indicateurs sensibles
Paramètres influents	type de DEEE (composition matière)	tous
	teneur en substances dangereuses du DEEE (réfrigérateurs et téléviseurs)	couche d'ozone déchets dangereux effet de serre rejets dans l'eau
	taux de recyclage par matériaux	selon matériaux
	taux de recyclage global DEEE	épuisement des ressources eutrophisation autres indicateurs moindres
	taux de substitution de la matière respectivement du composant) vierge par la matière (respectivement du composant) recyclée	selon matériaux
Paramètres peu influents	distance de collecte	aucun
	recyclage du circuit électronique	
Incertitude	spécificités nationales	?

## 3 Positionnement du recyclage par rapport aux autres filières d'élimination

Le bilan du recyclage présenté ci-dessus est tiré d'une comparaison avec un scénario de stockage en décharge.

## 4 Caractéristiques des études ACV disponibles

### Les filières étudiées dans les ACV :

- Filière actuelle de traitement des DEEE au Royaume-Uni, pour huit types de produits.
- Mise en décharge des DEEE.
- Augmentation du taux de recyclage des DEEE au Royaume-Uni (conformément à la proposition de directive européenne).

TRÈS FAIBLE      MOYEN      TRÈS FORT

?

Sensibilité aux spécificités nationales

?

Sensibilité aux choix technologiques

### Les limites des études :

- Une seule étude, sans revue critique et représentative de la situation au Royaume-Uni (composition des produits, taux de recyclage par type de matériaux et de produit).

Titre	Date	Commanditaire	Réalisateur	Revue critique
Life Cycle Assessment and Life Cycle Financial analysis of the Proposal for a Directive on Waste from Electrical and Electronic Equipment	1999	Department of Trade and Industry (UK)	Ecobalance (UK)	NON
Ecological balances in waste management (étude non publique)	1999	Agence Fédérale de l'Environnement UBA (ALL)	FEU (ALL)	?
ACV des filières de traitement des batteries et des piles usagées (étude non disponible)	2001	ADEME (FRA)	TNO (NL)	?

# RECYCLAGE des

# BATTERIES AU PLOMB

## Caractéristiques des études ACV disponibles

### Les filières étudiées dans les ACV :

- L'étude ADEME ne traite pas des batteries au plomb.
- La publication de l'Université suédoise de Chalmers, citée dans le tableau ci-dessous, apporte quelques données utiles sur les flux de plomb associés au procédé de recyclage mais il ne s'agit pas d'une ACV.
- Une troisième étude (ACV du véhicule électrique, AVERE 1999) a été publiée sur la valorisation fin de vie des batteries, mais il s'agit des batteries au nickel-cadmium.

TRÈS FAIBLE      MOYEN      TRÈS FORT

?

Sensibilité aux spécificités nationales

?

Sensibilité aux choix technologiques

### Les limites des études :

- Pas de résultats disponibles fin 2001.

Titre	Date	Commanditaire	Réalisateur	Revue critique
Closing the Technospheric Flows of Toxic Metals-Modeling Lead Losses from a Lead-Acid Battery System for Sweden	1999	Agence de l'Environnement Suédoise (Waste Research Council)	Chalmers Univ. (SUE)	NON
ACV des filières de traitement des batteries en fin de vie	En cours	ADEME (FRA)	TNO (NL)	?



# RECYCLAGE des

# PNEUS USAGÉS

## Caractéristiques environnementales du recyclage

TRÈS FAIBLE      MOYEN      TRÈS FORT



Diversité des scénarios étudiés



Fiabilité des connaissances ACV



Besoins complémentaires en ACV

L'agence de l'environnement du Royaume-Uni vient de lancer (début 2002) une consultation en vue de réaliser l'ACV comparative des différentes filières d'élimination et de valorisation des pneus usagés. La durée prévisionnelle de l'étude est de 12 mois.

Le bureau de liaison des industries du caoutchouc de l'UE (BLIC) annonce sur son site Internet qu'une étude ACV est en cours sur le sujet ([www.blic.be](http://www.blic.be)). Aucune précision n'a pu être obtenue en interrogeant le BLIC.

## Caractéristiques des études ACV disponibles

TRÈS FAIBLE      MOYEN      TRÈS FORT

?

Sensibilité aux spécificités nationales

?

Sensibilité aux choix technologiques

### Les limites des études :

- Pas d'étude disponible fin 2001.

Titre	Date	Commanditaire	Réalisateur	Revue critique
Life Cycle Assessment of the Management Options for Waste Tyres	Fin 2002	Environment Agency (UK)	Appel d'offres en cours de lancement	Prévue
A Life Cycle Assessment study for a model european car tyre	En cours	BLIC (EU)	?	?

BLIC : Bureau de liaison des industries du caoutchouc de l'UE (Bruxelles)



## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**13th Discussion Forum on LCA : Environmental Impact of Telecommunication System and Services**, EPFL et ETHZ, Actes du congrès du 25 avril 2001 (80 pages).

**A Dynamic Life-Cycle Energy Model of Mobile Phone Take-back and Recycling**, ECTEL, International Journal of Ecology, n°1, volume 3, pp 77 - 91, 1999 [Centre for Environmental Strategy, University Surrey et Cleaner Electronics Research Group].

**A Life Cycle Assessment of the Implications of Implementing the Proposed End of Life Vehicles Directive in the United Kingdom**, Department of Trade and Industry (UK), SAE Technical Paper Series n°2000-01-1468, 2000 (Ecobalance UK - communication congrès SAE, 6 pages).

**A Life Cycle Assessment of the production of a daily newspaper and weekly magazine**, Axel Springer Verlag AG, Stora et Canfor, 1998 (INFRAS - rapport de synthèse 60 pages).

**A Life Cycle Assessment study for a model european car tyre**, BLIC, en cours (site Internet www. blic.be).

**ACV de la cagette en bois**, ADEME, octobre 1998 (Ecobilan et CTBA - rapport final 112 pages).

**ACV de la palette bois Europe**, ADEME et Ministère de l'Agriculture (France), février 1997 (Ecobilan SA et CTBA - rapport de synthèse 20 pages).

**ACV des caisses en bois, carton ondulé et plastique pour pommes**, ADEME, août 2000 (Ecobilan SA - rapport final 203 pages).

**ACV des filières de traitement des batteries en fin de vie**, ADEME (TNO - rapport final prévu fin 2001 début 2002).

**ACV du véhicule électrique**, AVERE France et ADEME, 1999 (BIO Intelligence Service, rapport non public).

**Analyse environnementale de systèmes de gestion des déchets ménagers**, ADEME et Eco-Emballages, janvier 2001 (Ecobilan SA et BIO Intelligence Service SA - rapport phase 2, 101 pages).

**Assessment of Plastic Recovery Options**, European Environmental Bureau (Bruxelles), avril 2001 (Öko Institut e.V. - rapport complet 59 pages).

**Base de données ACV du logiciel WISARD**, Eco-Emballages, juillet 2001 (Ecobilan SA).

**Bilan matière-énergie de la filière de traitement des VHU**, Industrielle Nationale de Réemploi Automobiles (INDRA), Déchets - Sciences et Techniques, n°17, pp 25-33, 1er trimestre 2000 (INDRA, INSA de Lyon).

**Closing the Technospheric Flows of Toxic Metals - Modeling Lead Losses from a Lead-Acid Battery System for Sweden**, Agence de l'Environnement Suédoise (Waste Research Council), International Journal of Ecology, n°1, volume 3, pp 23-40, 1999 (Chalmers University).

**Eco-balances for policy-making in the domain of packaging and packaging waste**, Commission Européenne (DG Environnement), mai 1997 (RDC Environment et Coopers & Lybrand - rapport final 107 pages, annexes environ 300 pages).

**Eco-efficiency of recovery scenarios of plastics packaging**, APME, juillet 2001 (TNO - rapport complet 139 pages, annexes 127 pages).

**Ecological balances in waste management**, Agence Fédérale de l'Environnement (UBA), 1999 (IFEU)

**End-of-Life of a Polypropylene Bumper Skin**, PSA Peugeot-Citroën, International Journal of LCA, n°6, volume 3, pages 167 à 176, 2001 (R. Le Borgne and P. Feillard, PSA Peugeot-Citroën).

**Environmental and Economic impact of re-refined products : a life cycle analysis**, FIAT (Centro Ricerche FIAT - rapport de synthèse sans date et après 1997, 20 pages).

**Environmental aspects of Plastics from ELVs**, Auto Recycling Nederland, octobre 1998 (PricewaterhouseCoopers N.V. - rapport n°98.034, 20 pages).

**Evaluation of costs and benefits for the achievement of reuse and recycling targets for the different packaging materials in the frame of the Packaging and Packaging Waste Directive 94/62/EC**, Commission Européenne (DG Environnement), mai 2001 (RDC Environment et Pira International - 341 pages).

**Environmental Profile Report for the European Aluminium Industry**, European Aluminium Association, avril 2000 (European Aluminium Association - 56 pages).



**Inventaires écologiques relatifs aux emballages**, Office Fédéral de l'Environnement (OFEFP) et Institut Suisse de l'Emballage (SVI), Cahier de l'environnement, BUWAL n° 250, 1998 (Ecole Polytechnique Zurich et Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche - rapports complets 564 pages).

**Is recycling worth the effort? Life Cycle Assessment of Packaging Waste Management in Victoria**, EcoRecycle Victoria, 1999 (University of New South Wales, Royal Melbourne Institute of Technology et Victoria University of Technology - rapport 124 pages, annexes 78 pages).

**LCA Graphic Paper and Print Products**, Part 1 & Part 2, Axel Springer Verlag AG, Stora et Canfor, 1998 (INFRAS - rapport et annexes 154 pages).

**Life Cycle Activities Analysis Applied to the Portuguese Used Tire Market**, SAE Technical Paper Series n°2000-01-1507, 2000 (Universidade Coimbra - communication congrès SAE, 9 pages).

**Life Cycle Analysis of the Newspaper Le Monde**, Association Nationale pour la Recherche Technologique, Le Monde, Université Paris 7 - International Journal of LCA, n°3, volume 3, pp 131-144, 1998 (résumé de thèse de doctorat menée au sein de l'U.F. Environnement de l'Université Paris 7 (Jussieu)).

**Life Cycle Assessment and Life Cycle Financial analysis of the Proposal for a Directive on Waste from Electrical and Electronic Equipment**, Department of Trade and Industry (UK), juillet 1999 (Ecobalance - rapport 281 pages).

**Life Cycle Assessment for Graphical Paper**, Agence Fédérale de l'Environnement (UBA), août 2000 (IFEU, BaWÖ de Duvensee, IFU de Hambourg, INFU de l'Université de Dortmund, Dr Rainer Stern de Fribourg - rapport de synthèse traduit, 194 pages - rapport complet disponible en allemand sur CD-Rom avec base de données).

**Life Cycle Assessment of Different Recycling Scenarios of Aluminium Car Body Sheet**, Alusuisse, SAE Technical Paper Series n°982176, décembre 1998 (Université de Stuttgart (IKP) - communication congrès SAE, 6 pages).

**Life Cycle Assessment of Packaging Systems for Beer and Soft Drinks**, Danish Environmental Protection Agency, 1998 (Chalmers Industriteknik et Institute for Product Development - rapport complet 270 pages, annexes 118 pages).

**Life Cycle Assessment of the Management Options for Waste Tyres**, Environment Agency (UK), fin 2002 (Appel d'offres en cours de lancement - communication personnelle).

**Newsprint, A Life Cycle Study : an independent assessment of the environmental benefits of recycling at Aylesford Newsprint compared with incineration**, Aylesford Newsprint Ltd, juin 1998 (Ecobalance - synthèse 12 pages).

**Ökologischer Vergleich von vier wichtigen Altölverwertungswegen - Ökologischer Vergleich von vier wichtigen Altölwertungsverfahren** [Comparaison écologique des quatre plus importants procédés de valorisation des huiles usagées], Agence Allemande de l'Environnement (UBA), 2000 (IFEU - rapport complet 169 pages).

**On the Usefulness of LCA in Decision-Making - The Case of Recycling vs Incineration of Paper**, Swedish Waste Research Council, 5th LCA Case Studies symposium SETAC-Europe, 1997 (Stockholm University et Chalmers University of Technology - 17 pages).

**Recyclage et valorisation énergétique des huiles usagées - Atouts et faiblesses**, ADEME, 2000 (Ecobilan SA - rapport complet 147 pages, annexes 150 pages, synthèse 68 pages).

**Recycling and Recovery of Plastics from Packagings in Domestic Waste - LCA type Analysis of Different Strategies**, APME, DSD, VCI, VKE et GKV, LCA Documents, Ecomed publishers, volume 5, 1999 (Fraunhofer Institut Verfahrenstechnik und Verpackung - rapport complet 194 pages, annexes 219 pages).

**Total Energy Balance of Recycling and Recovery from Automotive Shredder Residues Vehicles**, publication extraite de l'International Automobile Recycling Congress, Genève, 5-7 mars 2001 (Zurich University of Applied Sciences - 7 pages).

**Waste Oil - Fuel or Lubricant ? - Examination for Precedence in Accordance with the Waste Recycling Act**, Lower Saxony Minister of Environment, mai 1997 (Ökopool GmbH - synthèse 31 pages).



# LISTE DES ABRÉVIATIONS

<b>ACV</b>	Analyse de Cycle de Vie	<b>MR</b>	Recyclage mécanique
<b>As</b>	Arsenic	<b>OM</b>	Ordures Ménagères
<b>AV</b>	Collecte par apport volontaire	<b>NOX</b>	Oxydes d'azote
<b>Cd</b>	Cadmium	<b>PAP</b>	Collecte au porte à porte
<b>CET (K1, K2)</b>	Centre d'Enfouissement Technique (de classe 1, classe 2)	<b>Pb</b>	Plomb
<b>CFC</b>	Chlorofluorocarbures	<b>PC</b>	Papier-carton
<b>CH<sub>4</sub></b>	Méthane	<b>PCI</b>	Pouvoir Calorifique Inférieur
<b>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b>	Éthylène	<b>PE</b>	Polyéthylène
<b>CO</b>	Monoxyde de carbone	<b>PEbd / hd</b>	PE basse densité / haute densité
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de carbone	<b>PET</b>	Polyéthylène téréphtalate
<b>COV</b>	Composés Organiques Volatils	<b>PG</b>	Papiers graphiques
<b>COV NM</b>	COV non méthaniques	<b>PM 10</b>	Particule de matière de diamètre ≤ 10 µm
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours	<b>PO<sub>4</sub></b>	Phosphate
<b>DCO</b>	Demande Chimique en Oxygène	<b>PP</b>	Polypropylène
<b>DEEE</b>	Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques	<b>PS</b>	Polystyrène
<b>EMB</b>	Emballages	<b>PTM</b>	Prescriptions Techniques Minimales
<b>ER</b>	Valorisation énergétique	<b>SO<sub>x</sub></b>	Oxydes de soufre
<b>FR</b>	Feedstock recycling	<b>UCPTE</b>	Union pour la Coordination de la Production et du Transport de l'Electricité
<b>GWP</b>	Global Warming Potential	<b>UF</b>	Unité Fonctionnelle
<b>H<sup>+</sup></b>	Proton	<b>UIOM</b>	Usine d'Incinération des Ordures Ménagères
<b>HCl</b>	Chlorure d'hydrogène	<b>USES</b>	Union System for the Evaluation of Substances
<b>HF</b>	Fluorure d'hydrogène	<b>VHU</b>	Véhicules Hors d'Usage
<b>HFC</b>	Hydro fluorocarbure ou hydrofluorocarbure	<b>Zn</b>	Zinc
<b>JM</b>	Journaux Magazines		



© Co-édition ADEME / BIO Intelligence Service, mai 2002  
ISBN 2-86817-663-1

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants-droits ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (Art. L122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (Art. L122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L122-10 et L122-12 du même code, relatives à la reproduction par reprographie.

# Bilan environnemental sur les filières de recyclage : l'état des connaissances ACV



## ADEME

Direction de la Stratégie  
et de la Communication  
27, rue Louis Vicat  
75737 Paris cedex 15  
Tél. : 01 47 65 20 00  
Fax : 01 46 45 52 36

Direction Déchets Municipaux  
et Direction de l'Industrie  
2, square La Fayette - BP 406  
49004 Angers cedex 1  
Tél. : 02 41 20 41 20  
Fax : 02 41 20 42 00

[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)



## BIO Intelligence Service S.A.

1, rue Berthelot  
94200 Ivry sur Seine  
Tél. : 01 56 20 28 98  
Fax : 01 58 46 09 95

