

Evaluation de la qualité des données d'inventaire dans les Analyses du Cycle de Vie





ETUDE N° 96-1002//1003/1A

**EVALUATION DE LA QUALITE DES DONNEES D'INVENTAIRE
DANS LES ANALYSES DU CYCLE DE VIE**

RAPPORT FINAL

mars 1998

E. LABOUZE - Bio Intelligence Services
P. ROUSSEAU - LAEPSI - INSA de Lyon

Créée en 1989 à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD – REseau COopératif de Recherche sur les Déchets et l'Environnement – est le fruit d'une triple coopération entre industriels, pouvoirs publics et chercheurs. L'objectif principal de RECORD est le financement et la réalisation d'études et de recherches dans le domaine des déchets et des pollutions industrielles.

Les membres de ce réseau (groupes industriels et organismes publics) définissent collégialement des programmes d'études et de recherche adaptés à leurs besoins. Ces programmes sont ensuite confiés à des laboratoires publics ou privés.

Avertissement :

Les rapports ont été établis au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

Ces documents comprennent des propositions ou des recommandations qui n'engagent que leurs auteurs. Sauf mention contraire, ils n'ont pas vocation à représenter l'avis des membres de RECORD.

- ✓ Pour toute reprise d'informations contenues dans ce document, l'utilisateur aura l'obligation de citer le rapport sous la référence :
RECORD, Evaluation de la qualité des données d'inventaire dans les Analyses du Cycle de Vie, 1998, 133 p, n°96-1002//1003/1A.
- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)
www.ademe.fr

© RECORD, 1998

Partie 1 : Synthèse Bibliographique

Avis au lecteur :

Cette partie repose essentiellement sur divers rapports et articles bibliographiques (dont la liste figure à la dernière page). De ce fait, l'ensemble des théories et des exemples exposés trouvent leurs sources dans ces documents et ne sont, en aucun cas, de notre ressort. Le nom des auteurs est systématiquement rappelé à cet effet.

Ces théories sont rapportées tel un constat, de manière à permettre au lecteur de prendre la mesure de "l'existant".

Parfois exposé dans le cours du texte (en caractère gras), notre avis critique est majoritairement développé dans la conclusion.

Notre méthode, développée dans la partie 2 de ce tome et dans le tome 2, conserve les éléments les plus pertinents identifiés dans la bibliographie.

Sommaire de la partie Bibliographique

INTRODUCTION	4
CHAPITRE I REVUE DETAILLEE DES FACTEURS QUALIFICATIFS DES DONNÉES D'INVENTAIRE	8
I.1 Sources des données	8
I.2 Méthode d'acquisition	8
I.3 Vérification	8
I.4 Facteurs temporels	9
I.5 Facteurs géographiques	9
I.6 Facteurs technologiques	9
I.7 Représentativité	10
I.8 Caractère complet	11
I.9 Incertitude	11
CHAPITRE II PRESENTATION DES APPROCHES MÉTHODOLOGIQUES EXISTANTES CONCERNANT L'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES DONNÉES D'ICV	17
II.1 Travaux de B.P.Weidema & al.	17
II.1.1 "Paramètres qualitatifs et quantitatifs dans l'évaluation de l'impact des produits" (B.P.Weidema – 1994)	17
II.1.2 "Gestion de la qualité des données d'ICV – Un exemple d'utilisation d'indicateurs de qualité" (B.P.Weidema, M. Suhr Wesnoes – 1995)	17
II.1.2.1 <i>Objectifs de qualité des données</i>	19
II.1.2.2 <i>Indicateurs de qualité des données</i>	20
II.1.2.3 <i>Modifications des indicateurs de qualité des données en combinaison avec l'incertitude</i>	21
II.2 "Système de notation destiné à évaluer la qualité des données dans le cadre des études ACV " (BIO I.S. / RENAULT S.A. – 1996)	24
II.3 "Approche semi-quantitative pour l'évaluation de la qualité des données des ACV" (Nicoline Wrisberg & al. - 1997)	25
CONCLUSION	28
Liste Bibliographique	30

Introduction

Contexte :

Il est important d'apprécier la qualité des données de l'ICV dans la confiance que l'on peut accorder aux résultats finaux d'une ACV. En effet, assurer une bonne qualité des données d'inventaire est l'une des conditions à remplir afin d'assurer une bonne qualité des résultats de l'ACV. La SETAC énonce le concept par cette illustration :

Qualité des données* de l'ICV	X	Qualité de la méthode ACV	=	Qualité des résultats de l'ACV
--	----------	--	----------	---

* Données se rapportant aux échanges de matière et d'énergie (énergie, matières premières, émissions (gaz, liquides, déchets))

Aussi, le fait de pouvoir évaluer la qualité même des données d'ICV apparaît comme indispensable. Tout comme l'application d'une méthodologie d'évaluation de la qualité des données formelle qui permettrait, en employant le même langage, de comparer notamment la qualité des données d'études ACV provenant de sources différentes.

De plus, au-delà de l'évaluation "binaire" de la qualité des données (bon ou pas bon), cette évaluation permettrait également l'identification des données qui contribuent à abaisser la qualité globale des données et de remédier à ces lacunes. Ceci ne pourrait être que bénéfique pour la qualité des résultats de l'étude ACV elle-même.

Principaux acteurs dans le domaine des ACV :

A l'heure actuelle, la mise au point de méthodologies d'évaluation de la qualité des données fait partie des thèmes de recherche en forte évolution, faisant l'objet de travaux de recherche (via des industriels, des bureaux d'études, des centres de recherche) et se concrétisant par des publications (souvent des actes de colloques).

Dans cette partie, nous présentons les travaux des principaux acteurs internationaux spécialistes des ACV. Seront cités au cours du texte :

- **SETAC** (Society of Environmental Toxicology and Chemistry, Etats-Unis)
La SETAC, société professionnelle multidisciplinaire, est le chef de file dans le domaine de la réalisation d'ACV.
- **SPOLD** (Society for the Promotion of LCA Development, Belgique)
SPOLD a récemment abouti à une première étape de recherche concernant la définition d'un format spécifique pour les données d'inventaire des ACV.
- **Nordic Council** (Coopération du Danemark, de l'Islande, de la Norvège, de la Suède et de la Finlande)
- **A.Braunschweig & al.** (Swiss National Science Foundation, Suisse)

Ces acteurs seront cités essentiellement au premier chapitre.

- **B.P.Weidema & al.** (Danemark)
- **BIO I.S. / RENAULT S.A.** (France)
- **Nicoline Wrisberg & al.** (CML, Centre d'Etudes Environnementales de Leiden, Pays-Bas)

Ces acteurs seront cités essentiellement au second chapitre.

Le point sur l'avancé de la recherche :

A ce jour, deux niveaux apparaissent dans la démarche générale observée auprès des acteurs recensés :

- Phase 1 : - l'identification et la caractérisation de facteurs qualitatifs des données,
Phase 2 : - la prise en compte de ces facteurs dans une méthode d'évaluation de la qualité des données.

Détaillons ces deux phases :

PHASE 1 :

Les acteurs définissent certaines caractéristiques des données comme ayant une influence sur la qualité de celles-ci. Ces caractéristiques, aussi appelées paramètres, facteurs, indicateurs ou critères sont les suivants :

- sources des données,
- méthodes d'acquisition,
- vérification,
- facteurs temporels,
- facteurs géographiques,
- facteurs technologiques,
- représentativité,
- caractère complet,
- incertitude.

Ces facteurs sont parfois classés en groupes distincts :

- la SETAC distingue des facteurs (Data Quality Indicators, DQIs) **qualitatifs** et **quantitatifs** :
 - DQIs qualitatifs : sources, méthodes d'acquisition, représentativité...
 - DQIs quantitatifs : précision, caractère complet, incertitude...
- SPOLD décrit divers indicateurs de qualité, **absolus** et **relatifs** :
 - les indicateurs absolus : reflètent la qualité inhérente à la série de données, se détachant complètement de son application. De tels indicateurs sont :
 - les références consultées,
 - la méthode de collecte,
 - la vérification de la méthode,
 - les indicateurs relatifs : décrivent le degré de fidélité du système, en ce qui concerne :
 - le contenu,
 - le domaine,
 - le temps,
 - la géographie,
 - le niveau de la technologie.

Par ailleurs, ces facteurs ne se rapportent pas systématiquement à toutes les étapes de réalisation de l'inventaire :

- aux données individuelles,
- et/ou • aux séries de données ou échantillons,
- et/ou • au système global.

exemple : le caractère complet ne se rapporte pas aux données individuelles

Les différents facteurs qualitatifs sont traités individuellement dans le chapitre 1.

Le tableau ci-dessous présente de manière synthétique la prise en compte des facteurs par les acteurs internationaux recensés dans cette étude.

Matrice synthétique des facteurs qualitatifs recensés

FACTEURS QUALIFICATIFS DES DONNÉES	SETAC	SPOLD	NORDIC C.	SWISS NATIO.
SOURCES DES DONNÉES	■	■	■	■
MÉTHODES D'ACQUISITION	■	■	■	
VÉRIFICATION	■	■		
FACTEURS TEMPORELS	■	■		
FACTEURS GÉOGRAPHIQUES	■	■	■	■
FACTEURS TECHNOLOGIQUES	■	■	■	■
REPRÉSENTATIVITÉ	■	■		
CARACTÈRE COMPLET	■		■	
INCERTITUDE	■	■	■	■

Légende :



facteur cité par l'auteur



facteur cité et explicité par l'auteur

PHASE 2 :

D'une manière générale, les méthodologies existantes reposent sur un système de notation des données (subjectif, mais transparent) selon des paramètres qualitatifs choisis.

En guise de "synthèse de l'existant", nous présentons dans le tableau ci-après les supports méthodologiques utilisés par certains acteurs recensés dans cette étude. Il s'agit notamment des matrices de qualité : nombre de matrice et paramètres.

Chacun des travaux fait l'objet d'un développement au chapitre 2.

Méthodologie d'évaluation de la qualité des données d'ICV

- Synthèse des supports méthodologiques -

	Matrice	Paramètres	Traitement des données
B.P. Weidema 1994	1 matrice (score de 1 à 5 ; 1 étant le meilleur)	6 paramètres : - Méthodes d'acquisition - Indépendance du fournisseur de données - Représentativité de l'échantillon - Age des données - Corrélation géographique - Corrélation technologique	Traitement simple Conservation de toutes les notes sous la forme d'un index de qualité à 6 chiffres, du type : (2,1,3,5,4,2)
B.P. Weidema, M. Suhr Wesnoës 1995	1 matrice (score de 1 à 5 ; 1 étant le meilleur)	5 paramètres : - Fiabilité - Complétude - Corrélation temporelle - Corrélation géographique - Corrélation technologique	Modification de l'index de qualité simple en prenant en compte l'incertitude des données Après calcul, une donnée exprimée de la sorte : 2kg ; 5.5% ; (2,1,1,2,4) s'écrira : 2kg ; 38% ; (m, 1, 1, m, m) (= augmentation du coefficient de variation)
BIO I.S. / RENAULT S.A. 1996	1 matrice (idem Weidema 1994)	6 paramètres (idem Weidema 1994)	- Qualification des données : traitement simple : Conservation de toutes les notes sous la forme d'un index de qualité à 6 chiffres, du type : (2,1,3,5,4,2) - Qualification des processus : non explicite - Qualification du système : considération des notes minimales et maximales attribuées aux données sur l'ensemble des étapes du système Exemple : (2-3,1-5,5-1,1-3,1-3)
N. Wrisberg 1997	4 matrices (scores de 1 à 5 ; 5 étant le meilleur)	- 3 indicateurs de qualité : • fiabilité • complétude • représentativité - 13 paramètres de qualité relatifs aux flux, processus et système	Traitement simple

CHAPITRE I REVUE DETAILLEE DES FACTEURS QUALIFICATIFS DES DONNEES

I.1 Sources des données

Le terme "source" est cité par tous les acteurs recensés dans la bibliographie. En fonction du sujet de l'étude ACV, les données utilisées dans les ICV proviennent de sources disparates (SETAC). Il s'agit des sources suivantes :

- rapports industriels,
- société,
- syndicat professionnel,
- publication scientifique,
- agence régionale, nationale ou internationale,
- journaux, livres, brevets,
- livres de référence,
- ...

SPOLD insiste sur la nécessité de citer la source de la donnée et préconise de citer pour :

- les **process unitaires** : les sources primaires et secondaires d'où proviennent les données,
*exemple : source primaire: matériaux input (questionnaire),
source secondaire : énergie consommée [référence],*
- les **systèmes** : seulement une description générale des sources, non les sources elles-mêmes,
exemple : données primaires.

Mais au-delà de la simple citation des sources, la SETAC et SPOLD procèdent à la vérification des données (voir paragraphe I-3).

|| L'information concernant la source des données semble, certes, indispensable. Mais, il apparaît qu'elle ne peut être scindée du facteur "vérification".

I.2 Méthodes d'acquisition

Trois méthodes principales d'acquisition des données sont citées dans la bibliographie. Il s'agit : de mesures, de calculs et d'estimations (SETAC, SPOLD). La SETAC considère également les données issues de la réglementation.

SPOLD estime que la méthode de collecte des données pour les **procédés unitaires** est qualifiée par sa précision.

- par exemple :*
- concentrations d'émissions gazeuses mesurées continuellement
 - masses totales calculées à partir d'une moyenne de valeurs mesurées grâce à l'estimation de flux gazeux

Pour les **systèmes**, la méthode générale de collecte est donnée autant que possible dans le rapport : *exemple, données input mesurées, méthode inconnue ; données output estimées, méthode inconnue.*

Aucun outil concret n'est communiqué pour évaluer la "précision" citée par SPOLD.

I.3 Vérification

L'idée de "vérification" est identifiée dans la bibliographie de manière conjointe au facteur "source des données" ou au facteur "méthode d'acquisition".

SPOLD s'attache à savoir si oui, et comment, le collecteur de données a-t-il vérifié les données. Plusieurs moyens sont préconisés :

- vérification sur site,

- recalcul,
- recoupements avec la littérature,
- remplacements,
- ajustements,
- additions (exemple : bilan massique du process).

La **SETAC** préconise deux types de procédures de vérification :

- comparaison des données internes, primaires avec d'autres données publiées ou détenues par les Syndicats professionnels,
- comparaison des données estimées ou mesurées avec des valeurs théoriques.

Lorsque la série de données comporte un nombre de mesures suffisant, des outils statistiques peuvent être employés (exactitude, précision). *Ces outils ne sont pas détaillés.*

1.4 Facteurs temporels

SPOLD définit le facteur de temps comme la durée à partir de laquelle les données (process unitaire/système) sont collectées.

Il peut s'agir d'une période de référence seulement (habituellement un an, mais d'autres périodes sont aussi valables), à moins que les données soient valides sur toute période comprise dans un espace de temps donné.

exemple : 1980-1990 : moyenne réalisée sur 10 ans, toutefois, les données sont valides pour chaque année comprise dans cette période

Il peut s'agir d'un éventail de périodes dans le cas où les données sont moyennées à partir de plusieurs exploitations (plusieurs process unitaires ou plusieurs systèmes). Quoi qu'il en soit, une seule période doit figurer dans l'étude dans le but de disposer d'une référence concrète.

Il est important de rappeler que le choix du facteur temps est directement lié au sujet de l'étude (**NORDIC C.**).

1.5 Facteurs géographiques

SPOLD définit le facteur géographique comme la zone à partir de laquelle les données (process unitaire/système) sont collectées.

Il peut s'agir d'un éventail de zones dans le cas où les données sont moyennées à partir de plusieurs exploitations. Quoi qu'il en soit, une seule zone (par exemple, la zone utilisée en définitif) doit figurer dans l'étude dans le but de disposer d'une référence concrète.

exemple :

- Danemark
- pas de limites géographiques pour le système : les données concernant l'extraction du charbon proviennent de sources mondiales

1.6 Facteurs technologiques

Le terme "facteur technologique" rassemble à la fois la technologie et le niveau technologique (**SPOLD**).

Le premier terme est défini par SPOLD comme étant la technologie actuelle du process unitaire.

exemple : incinération de déchets hors déchets hospitaliers et déchets dangereux ; exploitations équipées d'un traitement des fumées (45% humide et 55% sec)

Cette donnée n'est pas valide pour les systèmes, à moins qu'ils ne soient caractérisés par une technique générale.

Quant au deuxième terme, il s'agit du niveau technologique de l'ensemble des données du process unitaire ou du système.

- exemple :
- *actuel*
 - *meilleure technologie disponible*
 - *moderne*
 - *ancienne...*

Il peut s'agir d'un éventail de niveaux technologiques dans le cas où les données sont moyennées à partir de plusieurs exploitations. Quoi qu'il en soit, un seul niveau technologique doit figurer dans l'étude dans le but de disposer d'une référence concrète.

De même, le **NORDIC C.** distingue divers niveaux technologiques :

- mauvaise technologie utilisée
- meilleure technologie commercialement disponible
- technologie avancée

I.7 Représentativité

SPOLD énonce de manière détaillée et concrète le facteur de représentativité :

① **La représentativité des données de process** dépend du nombre d'exploitations pris en compte dans l'ensemble des données relatives aux facteurs de temps, de géographie et de technologie.

Si toutes les exploitations sont présentées dans la série de données, alors il y a 100% de représentativité.

Si une partie seulement des exploitations est représentée dans la série, alors la représentativité est donnée par :

- le pourcentage de volume inclu : *exemple : 80% de l'ensemble des output ont été inclus,*
- et/ou le nombre d'exploitations incluses : *exemple : 10 des 13 exploitants ont été inclus,*
- une information concernant la méthodologie d'échantillonnage et le biais possible : *exemple : la série de données couvre 50% de toutes les exploitations, ces 50% représentent les unités modernes, aucune donnée n'est transmise pour les 50% autres unités anciennes, ainsi, les données ne peuvent être appliquées uniquement dans le cas où l'étude se rapporte à une unité moderne, ou alors la série de donnée couvre au hasard 30% de toutes les exploitations.*

Il peut être indiqué les cas où les moyennes ont été pondérées, *exemple : moyenne pondérée par la quantité de matériau produit.*

Des détails chiffrés totaux peuvent aussi être donnés, *exemple : la production totale incluse est de 1,3 million de tonnes et couvre 10 exploitants.*

② **La représentativité des données du système** dépend :

- de la manière dont un process unitaire peut être assimilé à une partie d'un système réel.
exemple : des données relatives à un avion (pour passagers) utilisées pour un autre transport par air en raison du manque de données
- de la manière dont les process unitaires considérés sont égaux en ce qui concerne les facteurs de temps, de géographie et de technologie. Ceci peut être documenté en détail pour chacun des process pris en compte.
exemple : les données d'extraction du pétrole datent de 5 ans, mais les techniques n'ont pas changées

Par ailleurs, la **SETAC** définit l'idée de représentativité comme le degré avec lequel les données reflètent une réelle population. Ce facteur est généralement jugé par la comparaison des valeurs déterminées dans l'étude à d'autres valeurs existantes dans d'autres ACV ou d'autres sources de données.

I.8 Caractère complet

Le terme "caractère complet" (ou complétude) est la traduction du mot "completeness" en anglais.

Dans le cadre des séries de données recueillies pour l'ICV, la **SETAC** définit ce terme comme le pourcentage de données disponibles par rapport à l'ensemble des données existantes.

exemple : 25 sites mettent en œuvre un process étudié dans l'ACV. 5 d'entre eux ont fourni des données.

La complétude est alors de 20% (5 divisé par 25).

Ce facteur s'applique également au système global et est défini par la notion de bilan massique ou énergétique (**NORDIC C.**).

I.9 Incertitude

SPOLD s'interroge sur la manière de caractériser et de prendre en compte l'incertitude : quel type d'incertitude, d'où provient-elle ?

D'après **SPOLD**, il n'existe pas aujourd'hui de méthode convainquante visant à cerner l'information au sujet de l'incertitude et encore moins de l'inclure dans des calculs.

Les données de l'inventaire sont rarement précises et, à l'inverse, elles couvrent un large domaine. Ainsi, l'application des statistiques classiques n'a pas toujours de sens.

Dans certains cas, il est préférable de connaître la distribution des données (les critères correspondants restent à définir).

Par ailleurs, **A. Braunschweig & al.** tentent de répondre à plusieurs questions :

- quelles sortes d'imprécisions et d'incertitudes sont rencontrées dans les ACV ?
- où sont-elles localisées ?
- comment peuvent-elles être incluses et prises en compte ?

Pour cela, ils développent diverses méthodes mathématiques qu'ils définissent comme des outils permettant de traiter à la fois des données statistiques et des estimations.

① Sources d'imprécision dans les données d'inventaire d'une ACV

A. Braunschweig & al. décrivent les imprécisions rencontrées à trois niveaux :

- les limites du système,
- les procédés, les émissions et les ressources,
- les différentes sources de données.

a) Les limites du système

La sélection des limites du système d'une ACV consiste à séparer le système étudié du "reste du monde". Des erreurs systématiques interviennent lorsque des procédés pertinents sont exclus, rendant alors la structure du modèle incomplète.

Par exemple, la question des bouteilles jetables moins polluantes que des bouteilles consignées ne peut trouver de réponse sans prendre en compte le transport. C'est un problème très commun dans le domaine des ACV, car les limites du système sont en partie définies par rapport aux données disponibles, qui peuvent être considérées comme incomplètes dans de nombreux cas.

b) Procédés, émissions et ressources

Les ressources et les émissions dans le domaine des ACV sont utilisées pour les données "input" et "output" pour les procédés pouvant être mesurés. Les erreurs, avec ce type de données quantitatives, sont alors des erreurs typiques sur les mesures.

Les quantités relatives aux procédés sont, comme la plupart des quantités économiques, plus ou moins bien connues et l'erreur correspondante est relativement faible.

L'erreur sur les quantités d'émission dépend des substances émises. Par exemple, l'erreur est relativement faible pour le CO₂, depuis que la quantité de CO₂ peut être calculée à partir des données d'entrée de procédés de combustion connus. Dans le cas de l'émission des NO_x, l'erreur est généralement moyenne. Elle est relativement large pour les métaux lourds et les COV, car les quantités d'émission dépendent d'un grand nombre de paramètres.

c) Différentes sources de données

Un problème très commun rencontré au cours de la collecte des données d'inventaire réside dans l'utilisation de différentes sources de données. Ces données peuvent différer en divers aspects, par exemple :

- règles d'allocation,
- procédés technologiques,
- modèles énergétiques.

Si ces aspects ne sont pas considérés au moment de la constitution de l'inventaire, des erreurs systématiques larges sont à prendre en compte. Un exemple présente les effets pour différents procédés technologiques et règles d'allocation.

Deux études indépendantes ont été menées sur l'impact environnemental d'une production de plastique. Chez BUWAL (1991), les données de base proviennent de producteurs de plastique allemand (technologie allemande) et chez PWMI (1992), celles-ci proviennent de producteurs de toute l'Europe (technologie européenne). Les résultats bruts des deux études sont présentés dans le tableau suivant :

Comparaison des émissions pour la production d'un kg de polyéthylène

Polluant	Technologie allemande		Technologie européenne	
	g	%	g	%
Particules	0,11	4	3	100
NO _x	1,3	11	12	100
SO ₂	1,7	19	9	100

A première vue, les différences entre les deux technologies semblent très importantes (supérieures à un facteur 25). En utilisant les mêmes règles d'allocation pour les deux technologies (en traitant les émissions de manière séparée) et des données sur l'énergie plus récente, les différences diminuent de manière significative (tableau suivant).

Comparaison des émissions pour la production d'un kg de polyéthylène (pour BUWAL 1991, les règles d'allocation de PWMI 1992 et des données sur l'énergie plus récentes (ESU - 1994))

Polluant	Technologie allemande (+ corrections)		Technologie européenne	
	g	%	g	%
Particules	1,4	47	3	100
NO _x	4,4	37	12	100
SO ₂	5,1	57	9	100

Les différences résiduelles peuvent être expliquées par les technologies de production, les modèles énergétiques (par exemple le type de ressource ou de réserve, l'utilisation de sous-produits) et les limites du système.

Si la technologie du produit est inconnue, toutes les connaissances concernant l'incertitude doivent être incluses dans les données d'inventaire par l'expression d'intervalles d'erreur. Dans l'exemple précédent, cela implique d'effectuer des calculs sur les émissions minima et maxima et de déterminer des valeurs d'impact correspondantes.

② Caractérisation des imprécisions et incertitudes

A. Braunschweig & al. distinguent cinq types d'imprécisions :

- les erreurs sur les quantités :
 - erreurs stochastiques (statistiques),
 - intervalles d'erreurs exacts,
 - intervalles d'erreurs vagues (intervalle flou),
- autres erreurs :
 - erreurs systématiques,
 - données vagues intrinsèques.

a) Erreurs stochastiques

Un exemple typique d'erreurs stochastiques réside dans les erreurs de mesure. Lorsqu'il y a répétition d'une mesure, les valeurs oscillent autour d'une "valeur vraie".

La valeur moyenne approche la valeur vraie avec un nombre croissant de mesures et une distribution de probabilité peut être établie. La distribution de probabilité la plus commune est la distribution de Gauss, avec deux paramètres caractéristiques :

- μ valeur moyenne,
- s déviation standard (paramètre d'erreur).

Pour une distribution de Gauss, les erreurs décrites de la sorte : " $\pm 25\%$ " se réfèrent à la déviation standard. La probabilité d'une mesure étant sans limites déterminées, elle est respectivement de 68% pour $\mu \pm s$ et 95% pour $\mu \pm 2s$. L'inconvénient de ce modèle est le besoin d'un grand nombre de données : pour les distributions de Gauss, au moins 30 valeurs sont nécessaires, une exigence qui, en écologie, est parfois difficile à remplir, que ce soit pour un manque d'argent ou de temps.

b) Intervalles d'erreur exacte

Quand rien n'est connu au sujet du type de distribution, une erreur spécifique telle que " $\pm 25\%$ " définit uniquement les limites d'un intervalle. Toutes les valeurs possibles sont comprises dans cet intervalle et les probabilités sont inconnues.

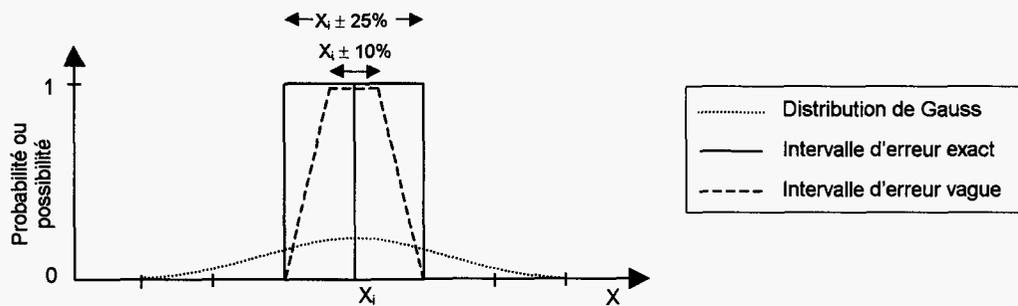
La valeur moyenne ou la valeur médiane est applicable comme une valeur centrale. Des intervalles spécifiques sont utilisés seulement lorsque les valeurs maxima et minima sont connues, ou bien quand les données en question représentent un intervalle.

c) Intervalles d'erreur vagues (intervalles flous)

Parmi les différentes sortes d'intervalles exacts, les intervalles d'erreur vagues représentent une vue pessimiste des données : les limites de l'intervalle doivent être relativement larges pour inclure les valeurs absolues minima et maxima, et les calculs subséquents seront plutôt moins informants.

Si une estimation plus exacte ("optimiste") peut être réalisée, les intervalles flous sont une représentation des données imprécises dans la mesure où ils incluent à la fois l'estimation pessimiste et optimiste.

Dans la figure suivante, l'intervalle flou représente une quantité qui est estimée à $X_i \pm$ environ 10 % (optimiste) sans courir le risque que les valeurs délimitées se trouvent au-delà de l'intervalle d'erreur maximum $X_i \pm 25%$ (pessimiste).



L'approche floue rend compte de la nécessité d'un investissement en temps et en argent afin d'obtenir des valeurs plus exactes. Ce type de flou est appelé **flou informel**. Si l'approximation est satisfaisante et réalisable, les intervalles flous peuvent être traités par une arithmétique floue.

d) Erreur systématique

Les erreurs systématiques peuvent intervenir :

- quand la calibration du modèle de calcul est incorrect,
- quand la structure du système n'est pas complètement incluse dans le modèle de calcul.

Le premier type d'erreur systématique (par exemple une montre qui avance constamment dix minutes) peut être identifié et corrigé en comparant le système avec un système calibré de référence. En écologie, un tel système de référence (par exemple un état idéal d'un écosystème) est souvent difficile à définir.

Le second type d'erreur systématique intervient dans les ACV, par exemple lors de la définition des limites d'un système, ou bien au cours du choix des paramètres d'évaluation.

e) Données intrinsèques floues

En écologie, les données sont quelquefois utilisées même quand les données significatives ne peuvent pas être ramenées à des nombres précis. En particulier, cela peut arriver quand on définit des "valeurs cibles", des "valeurs seuils" ou des "valeurs politiques", ce qui est très courant.

La définition de telles valeurs est basée sur des propositions de linguistique (par exemple par les lois) et de ce fait nécessite d'être interprétée. Ce type de donnée est appelé **flou intrinsèque**.

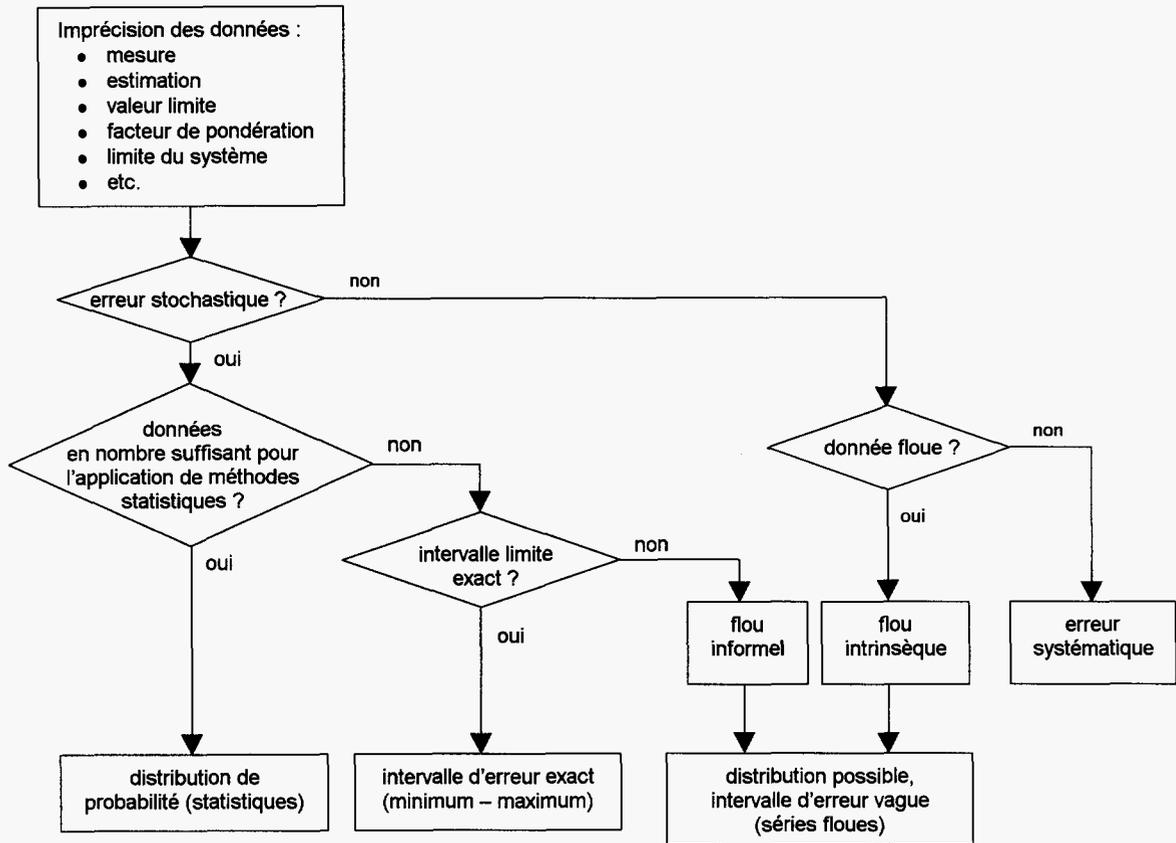
La qualité des valeurs seuils, qui décrit la transition entre les concentrations anodines et nocives des polluants est, compte tenu des définitions dans la loi suisse, intrinsèquement floue. Des termes comme "grand", "petit" ou "très nocif" sont également intrinsèquement flous.

L'utilisation de valeurs précises pour des quantités intrinsèquement floues est une modélisation inadéquate qui peut résulter d'un mauvais jugement.

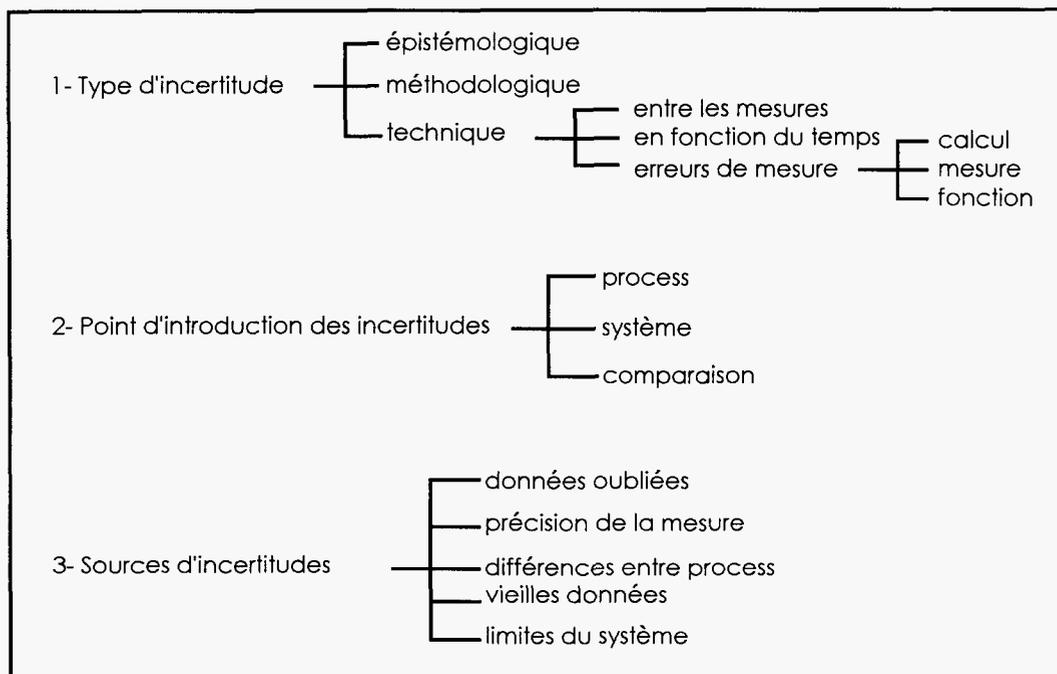
f) Données manquantes

Pour de nombreuses substances, aucune donnée n'est disponible et des estimations doivent donc être faites (par exemple l'estimation d'émissions basée sur la consommation d'énergie). Les erreurs de ces estimations peuvent être très larges. Si les données manquantes sont omises, une erreur systématique intervient dans l'ACV.

**Arbre de décision sur la classification
et la modélisation des données imprécises**



La réflexion menée par le **Nordic C.** concerne, quant à elle, l'identification des incertitudes dans les ACV, détaillée dans la figure suivante :



Les points cités dans la figure sont détaillés ci-après :

① Type d'incertitude (Funtowicz et Ravetz, 1990)

Type d'incertitude	Exemple (valeurs de DL ₅₀)	Commentaires
Technique - correspond à l'inexactitude, - par exemple : erreurs de mesure	DL ₅₀ = 100 mg/kg bdw, ± 10 %	10 % d'incertitude sur la mesure (± coefficient de variation). L'incertitude sur les mesures suit généralement une distribution normale ou log normale.
Méthodologique - correspond à la non fiabilité, - par exemple : biais à partir du design de l'expérience, du choix du modèle, des limites du système.	DL ₅₀ = 100 mg/kg bdw ; 80-150 mg/kg bdw	Biais dans le design expérimental dû à l'intervalle de confiance asymétrique. L'incertitude méthodologique suite souvent une distribution non continue.
Epistémologique - correspond à l'ignorance, - par exemple : erreurs dues au manque de connaissance sur le comportement du système.	DL ₅₀ = 100 mg/kg bdw ; facteur de sécurité de 10	Ce facteur est appliqué dans le cas où il y a eu extrapolation à d'autres espèces sans que les expérimentations n'aient été faites. La moyenne est multipliée par 1/10 en raison du manque de connaissance sur l'effet de la substance sur des espèces plus sensibles.

② Points d'introduction des incertitudes

Process	<ul style="list-style-type: none"> Spécification des données pour le process p sur une certaine durée exemple : kg CO₂/an/process p
	<ul style="list-style-type: none"> Rapporter les données à un composant x du process p exemple : kg CO₂/kg composant x
Système	<ul style="list-style-type: none"> Rapporter les données à un composant x du produit P exemple : (kg CO₂/kg composant x) (kg composant x/kg produit P) = kg CO₂/kg Px
	<ul style="list-style-type: none"> Addition des données des différents composants du produit P exemple : $\sum (x = 1 \text{ à } y) \text{ kg CO}_2/\text{kg Px} = \text{kg CO}_2/\text{kg P}$
Comparaison	<ul style="list-style-type: none"> Rapporter les valeurs pour le produit P à l'unité fonctionnelle UF (pour comparer A et B). exemple : kg CO₂/UFp

③ Sources d'incertitudes

Les différentes sources ont été introduites par van Hess (1994), mais aucune méthode spécifique de calcul d'incertitude n'a été présentée.

Le texte précédent met en avant l'existence d'une importante réflexion autour du facteur "incertitude", mais aussi d'une grande complexité de caractérisation de ce paramètre due en particulier à ses origines multiples et à la difficulté de développer des outils mathématiques simples.

Le besoin de développer des outils de caractérisation des incertitudes semble évident, tout en gardant en mémoire le type de données utilisées dans les ICV (les statistiques sont rarement possibles !).

CHAPITRE II PRESENTATION DES APPROCHES MÉTHODOLOGIQUES EXISTANTES CONCERNANT L'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES DONNÉES D'ICV

II.1 Travaux de B.P.Weidema & al.

II.1.1 "Paramètres qualitatifs et quantitatifs dans l'évaluation de l'impact des produits" (B.P.Weidema – 1994)

B.P.Weidema suggère que les données de l'inventaire se présentent sous une forme spécifique de manière à la fois quantitative et qualitative, avec les informations suivantes (système de notation suggéré par Funtowicz & Ravetz en 1990) :

- 1- valeur de la donnée (expression numérique ou descriptive),
- 2- unité de base (unité standard et facteur multiplicateur, par exemple : kg 10⁶),
- 3- l'étendue de l'inexactitude de la donnée (par exemple, déviation standard),
- 4- l'évaluation de la fiabilité de la donnée (par exemple, intervalle de confiance ou description qualitative),
- 5- l'origine (certificat/pedigree) de la donnée et donc sa représentativité.

En ce qui concerne le cinquième point précité, B.P.Weidema propose, plutôt qu'une simple description verbale, une notation plus formelle basée sur des **indicateurs** ou critères génériques appliqués à la qualification des données d'inventaire des cycles de vie.

Ces indicateurs sont les suivants :

- méthode d'acquisition,
- degré d'indépendance du fournisseur de données,
- représentativité de l'échantillon,
- âge des données,
- corrélation géographique,
- corrélation technique.

B.P.Weidema formalise le système en édifant une matrice composée de six critères qualitatifs et d'une notation à cinq niveaux de qualité (subjective, mais transparente). Cette matrice, appelée **matrice de pedigree**, est présentée à la page suivante.

Un exemple d'application considéré par Weidema concerne la consommation d'énergie obtenue par une usine de fabrication de pain. La donnée est présentée de la manière suivante :

2,3 MJ ± 0,1 ; 95% (2, 2, 3, 1, 1, 1)

Le résultat (entre parenthèse) informe sur la bonne qualité générale de cette donnée, mais sur le manque de représentativité de la donnée en raison d'une méthode de mesure trop courte.

Grâce à cette matrice, basée sur le classement des informations existantes sur les données, le réalisateur peut se rendre compte de certaines lacunes qu'il peut ensuite rectifier.

II.1.2 "Gestion de la qualité des données d'ICV – Un exemple d'utilisation d'indicateurs de qualité" (B.P.Weidema, M. Suhr Wesnæs – 1995)

Par rapport à l'état d'avancement des travaux présentés au paragraphe précédent, les auteurs ont apporté les modifications suivantes (synthèse du document) :

- **Définition d'objectifs de qualité des données (Goals)** qui apparaissent comme des spécifications générales de préférences et des procédures à appliquer au cours de la collecte des données et de l'évaluation de la qualité des données.

**Matrice suggérée par B.P. Weidema (1994) pour formaliser
la présentation des données des ACV**

S c o r e	Méthodes d'acquisition	Indépendance du fournisseur de données	Représentativité de l'échantillon	Age des données (a)	Corrélation Géographique	Corrélation Technologique
1	données mesurées (b)	information vérifiée par une autorité publique ou une autre source indépendante (c)	données issues de mesures continues durant une période adéquate et sur un échantillon de sociétés suffisant pour niveler les fluctuations normales	récente : 5 ans maximum	données issues de la zone étudiée	données issues de l'entreprise étudiée
2	données calculées à partir de mesures (d)	information vérifiée par une entreprise ayant un intérêt avec l'étude	échantillon de données ou données issues de mesures continues durant une période adéquate mais sur un petit nombre de sociétés	moins de 10 ans	données moyennées sur une zone plus large que celle de l'étude mais incluant celle-ci	données issues de process / matériaux identiques mais d'entreprises différentes
3	données calculées, partiellement basées sur des suppositions (e)	source indépendante mais basée sur une information industrielle non vérifiée	données issues de périodes courtes mais à partir de mesures continues et sur un échantillon de sociétés suffisant	moins de 15 ans	données issues d'une zone ayant des conditions de production similaires à celles de l'étude	données issues de process / matériaux identiques mais de technologies différentes
4	données estimées par des experts issus de l'industriel	information industrielle non vérifiée	échantillon de données issues de périodes courtes mais sur un échantillon de sociétés suffisant	moins de 20 ans	données issues d'une zone ayant des conditions de production légèrement similaires	données issues de process / matériaux ressemblant et de technologies similaires
5	données estimées par des personnes non qualifiées	information non vérifiée issue d'une entreprise ayant un intérêt avec l'étude	représentativité inconnue ou donnée unique ou échantillon de données issues d'une seule entreprise sur une courte période	âge inconnu ou plus de 20 ans	données issues d'une zone inconnue ou d'une zone ayant des conditions de production très différentes	données issues de process / matériaux ressemblant et de technologies différentes

(a) exprimées à la date de la mesure initiale

(b) la méthode de mesure devrait être précisée ailleurs dans le rapport

(c) les données peuvent être vérifiées en contrôlant les documents originaux, en les comparant avec d'autres sources, en effectuant des bilans massiques et énergétiques, etc.

(d) la méthode de calcul des moyennes ou d'autres données calculées devrait être précisée ailleurs dans le rapport

(e) les suppositions destinées à estimer les données devraient être précisées ailleurs dans le rapport

- **Modification des indicateurs de qualité des données :**

---> disparition des critères :	---	---> apparition des critères :
"méthodes d'acquisition"		"fiabilité"
"indépendance du fournisseur de données"		"complétude"
"représentativité de l'échantillon"		

La matrice de pedigree présentée au paragraphe précédent a donc subi quelques modifications mais est utilisée dans le même esprit. Les données sont toujours accompagnées d'un index de qualité purement informatif de la forme (1,3,4,2,1).

Les auteurs destinent cet index uniquement à l'identification des problèmes liés à la qualité des données, en vue d'améliorer la stratégie de collecte.

- **Prise en compte de l'incertitude des données :**

Estimant que l'index de qualité des données ne suffit pas à renseigner sur la qualité globale des données, les auteurs proposent de modifier cet index en prenant en compte deux types d'incertitude des données (incertitude de "base" et "additionnelle").

Par exemple, une donnée exprimée de la sorte : 2 kg ; 5,5% ; (2,1,1,2,4)
s'écrira après correction : 2 kg ; 38% ; (m,1,1,m,m)
("m" signifiant que le score a été modifié)

Dans certains cas, les scores et l'incertitude qui leur est attribuée peuvent engendrer une modification de la valeur elle-même.

Par exemple, une donnée exprimée de la sorte : 240 MJ ; 58,7% ; (3,1,5,3,4)
s'écrira après correction : 288 MJ ; 62% ; (m,1,m,m,m)

Le développement des travaux de B.P. Weidema et de M. Suhr Wesnoës, synthétisés dans les points précédents, est présenté aux paragraphes suivants (traduction intégrale de certains passages de l'article).

II.1.2.1 Objectifs de qualité des données

Ils spécifient en termes généraux les caractéristiques souhaitées pour les données en rapport avec les besoins de l'étude. Ils expriment :

- l'importance relative et absolue des différents aspects de la qualité des données (par exemple, vérification, âge des données),
- les niveaux géographiques et technologiques désirés,
- l'importance de l'utilisation de données de qualité comparable pour différentes alternatives,
- la manière de traiter l'absence de données et le manque de représentativité (par exemple grâce à des estimations des cas les plus mauvais où à des estimations de moyennes,
- la manière de traiter l'information manquante sur l'incertitude.

Les mêmes objectifs de qualité peuvent conduire à des exigences de qualité totalement différentes pour diverses parties du cycle de vie (certaines parties ayant une large influence sur le résultat nécessitent d'être couvertes par des données de meilleure qualité que d'autres parties ayant moins d'influence).

Ainsi, les objectifs de qualité ne déterminent aucuns critères définis pour des séries de données individuelles mais sont des spécifications générales de préférences et des procédures à appliquer au cours de la collecte des données et de l'évaluation de la qualité des données. Par exemple :

- l'utilisation de données de qualité comparable aura une très grande importance pour une étude comparative,
- une étude comparative comptera sur des estimations de cas les moins bons pour les données manquantes, alors qu'une étude stratégique pourra simplement reporter les données manquantes comme telles.

Exemple d'objectifs de qualité des données :

Dans l'étude sur le cycle de vie du pain de seigle, les objectifs de qualité des données sont les suivantes :

- données récentes (de préférence l'année 1992), critère préféré par rapport aux autres aspects de qualité des données,
- données spécifiques d'entreprises de même niveau technologique,
- estimations des cas les moins bons appliqués en cas de données manquantes concernant la disponibilité et la représentativité des données,
- en cas de manque d'information sur l'incertitude, des estimations par défaut de l'incertitude seront appliquées.

II.1.2.2 Indicateurs de qualité des données

La qualité des données individuelles peut être comparée aux objectifs définis sur la qualité des données grâce à un certain nombre d'indicateurs de qualité visant à spécifier la qualité des données en fonction de la manière dont celles-ci sont utilisées dans l'étude. Les indicateurs de qualité sont donc utilisés pour évaluer la qualité actuelle des données collectées en relation avec les objectifs spécifiques de la qualité des données.

Les indicateurs de qualité sont des nombres semi-quantitatifs attachés à la série de données. Les indicateurs retenus (nécessaires et suffisants) pour décrire ces aspects sont les suivants :

FIABILITÉ (Reliability)

L'indicateur de fiabilité est relatif aux sources, aux méthodes d'acquisition et aux procédures de vérification des données. Il est indépendant des objectifs de qualité : une décision prise d'après la définition d'un objectif ne change en rien la fiabilité des données, et le score attribué à la donnée sera identique quel que soit l'étude.

COMPLÉTUDE (Completeness)

L'indicateur de complétude est relatif aux propriétés statistiques des données : dans quelle mesure l'échantillon est-il représentatif, l'échantillon contient-il un nombre suffisant de données, la période est-elle adéquate pour niveler les fluctuations normales? Comme pour l'indicateur de fiabilité, l'indicateur de complétude est indépendant des objectifs de qualité.

Les trois indicateurs suivants sont relatifs aux corrélations existantes entre les données et les objectifs de qualité concernant les conditions de technologie ou de production au sens large :

CORRÉLATION TEMPORELLE (Temporal correlation)

L'indicateur temporel représente le temps entre l'année de l'étude (comme indiqué dans les objectifs de qualité) et l'année d'obtention de la donnée. En raison du développement très rapide de certaines industries, 10 ans de différence entre l'année d'étude et l'année d'obtention peut induire un changement radical des rendements d'émissions et de production. Ainsi, l'indicateur temporel est bien relatif aux objectifs de qualité des données.

CORRÉLATION GÉOGRAPHIQUE (Geographical correlation)

L'indicateur géographique illustre la corrélation géographique existant entre la zone définie pour l'étude (comme indiquée dans les objectifs de qualité) et celle correspondant à la donnée obtenue. Les méthodes de production ainsi que les conditions de production peuvent être très différentes en Norvège (par exemple l'agriculture à petite échelle), aux Etats-Unis (production à grande échelle, technologie moderne) et les pays de l'Europe de l'Est (technologie plus ancienne).

CORRÉLATION TECHNOLOGIQUE (Technological correlation)

L'indicateur technologique concerne tous les autres aspects de corrélation (autres que les considérations temporelle et géographique). Même si les données correspondent à l'âge désiré et sont représentative de la zone géographique désirée, elles peuvent ne pas être représentative d'une entreprise spécifique, d'un processus ou d'un matériau, ce qui, dans certains cas, peut être préférable à de vieilles données ou à des données issues de différentes zones géographiques.

Indicateur	Score 1	Score 2	Score 3	Score 4	Score 5
Fiabilité	données vérifiées issues de mesures	données vérifiées en partie issues d'hypothèses ou données non vérifiées issues de mesures	données non vérifiées en partie issues d'hypothèses	estimation de qualité (faite par expert industriel)	estimation n'ayant pas les qualités requises
Complétude	données représentatives d'un échantillon de sociétés suffisant et d'une période adéquate pour niveler les fluctuations pouvant avoir lieu	données représentatives d'un petit nombre de sociétés mais sur une période adéquate	données représentatives d'un nombre de sociétés adéquate mais sur de courtes périodes	données représentatives d'un petit nombre de sociétés et d'une période courte ou données incomplètes issues d'un nombre adéquate de sociétés et de périodes	représentativité inconnue ou données incomplètes issues d'un petit nombre de sociétés et/ou de courtes périodes
Corrélation temporelle	moins de 3 ans de différence avec l'année de l'étude	moins de 6 ans de différence	moins de 10 ans de différence	moins de 15 ans de différence	âge de la donnée inconnue ou plus de 15 ans de différence
Corrélation géographique	données issues de l'entreprise étudiée	données moyennées sur une large zone contenant celle de l'étude	données issues d'une zone ayant des conditions de production similaires à celles de l'étude	données issues d'une zone ayant des conditions de production légèrement similaires	données issues d'une zone inconnue ou d'une zone ayant des conditions de production très différentes
Corrélation technologique	données issues d'entreprises, de process et de produits correspondant à l'étude	données issues de process et de produits étudiés mais d'entreprises différentes	données issues de process et de produits étudiés mais de technologies différentes	données en relation avec les process et les produits mais avec les mêmes technologies	données en relation avec les process et les produits mais avec des technologies différentes

Matrice à cinq indicateurs de qualité des données

La matrice est appelée matrice du pedigree (pedigree matrix - d'après Funtowicz & Ravetz, 1990). Les indicateurs de qualité font référence à l'historique et l'origine des données de manière similaire à un tableau généalogique pour un individu. L'objectif de la matrice est de fournir un outil de gestion de la qualité des données, d'indiquer si possible les voies d'amélioration de la qualité des données, et de remonter jusqu'aux sources des incertitudes.

Les scores de la matrice sont semi-quantitatifs. Ils servent seulement à une identification numérique et ne doivent pas être regardés comme représentant un certain "niveau" de qualité des données. Ainsi, aucun essai en vue d'agréger les nombres ne doit être envisagé.

II.1.2.3 Modifications des indicateurs de qualité des données en combinaison avec l'incertitude

Il existe deux types d'incertitude sur les données :

- l'**incertitude de "base"** relative à tous les échantillons de données (erreurs typiques sur les mesures et fluctuations normales sur les variables mesurées),
- l'**incertitude "additionnelle"** relative aux données ne possédant pas une qualité optimale, c'est-à-dire avec un index différent de (1,1,1,1,1).

Fréquemment, l'incertitude de "base" est inconnue. Si un échantillon de résultats de mesures est disponible, il est possible de calculer l'incertitude de "base", mais bien souvent, seul un nombre est disponible.

Les indicateurs de qualité des données sont relatifs à la qualité des données possédant uniquement une incertitude de base. Cela signifie que, dans le cas où un aspect particulier de la qualité des données est pris en compte lors de la description de l'incertitude sur les données, le pedigree des données spécifiques devra être modifié en conséquence. Afin de montrer que le nouveau pedigree ne se réfère pas à la donnée initiale mais à la donnée modifiée, la lettre "m" est utilisée à la place du chiffre correspondant à l'indicateur initial.

Exemple de modification des pedigree en tenant compte de l'incertitude additionnelle :

Dans l'exemple mentionné au-dessus, la quantité de pesticides pour les cultures danoises était de 2 kg de substance active par ha basée sur des statistiques de vente. L'incertitude de base à ce sujet peut être déterminée d'après les variations annuelles sur les statistiques de vente. En utilisant les statistiques entre 1998 et 1992, on obtient une déviation standard de 5,5%. L'incertitude additionnelle attribuée au pedigree (2,1,1,2,4) peut être estimée comme suit :

Indicateur de qualité des données pour la quantité de pesticides utilisée	Score	Incertainitude (CV)	Commentaires
Incertainitude de base		5,5%	Variation annuelle
Fiabilité	2	2,5%, estimé	Estimation (pire des cas) de l'utilisation en jardins privés et du déplacement des stocks au fil des ans
Complétude	1	-	-
Corrélation temporelle	1	-	-
Corrélation géographique	2	17%, estimé	Estimation de la variation entre fermes menant des cultures similaires
Corrélation technologique	4	33%, estimé	Estimation de la variation entre cultures dans la même ferme
Incertainitude modifiée		38%	

CV : coefficient de variation

L'incertainitude totale est calculée comme un coefficient de variation (racine carré de la somme des carrés de tous les coefficients individuels). Ainsi, les 2 kg (CV 5,5%)(2,1,1,2,4) peut s'écrire 2 kg (CV 38%)(m,1,1,m,m).

De la même manière, la consommation d'énergie pour la production des pesticides était de 240 MJ par kg de substance active avec un coefficient de variation de 58,7% (3,1,5,3,4). L'incertainitude additionnelle peut être estimée comme suit :

Indicateur de qualité des données pour l'énergie utilisée pour la production de pesticides	Score	Incertainitude (CV)	Commentaires
Incertainitude de base		58,7%	Variation calculée sur les 39 pesticides
Fiabilité	3	17%, estimé	Estimation des différences entre les applications brevetés et la réalité industrielle
Complétude	1	-	Les données sont représentatives des 39 pesticides
Corrélation temporelle	5	moyenne réduite de 40%	Accroissement estimé du rendement en énergie
Corrélation géographique	3	10%, estimé	Estimation de la variation entre fermes menant des cultures similaires
Corrélation technologique	4	moyenne augmentée de 60%	Estimation d'une consommation énergétique plus large pour des pesticides modernes complexes (ex. pyrethroides) par rapport aux anciens, plus simples
Incertainitude modifiée		62% et moyenne augmentée de 20%	

Ainsi, les 240 MJ peuvent être notés 288 MJ (CV 62%)(m,1,m,m,m).

Comme on peut le voir dans l'exemple précédent, l'influence d'un score bas peut à la fois augmenter l'incertainitude et changer la moyenne. L'influence de chaque indicateur de qualité peut être additive dans la mesure où les indicateurs sont indépendant.

Dans certains cas, il est possible de calculer l'incertitude additionnelle. Dans d'autres cas, cette incertitude doit être estimée. Dans l'exemple précédent, des estimations spécifiques ont été données basées sur des connaissances techniques du processus en question. Une autre option aurait consisté à utiliser des incertitudes par défaut générées par d'autres séries de données similaires pour lesquelles les incertitudes peuvent être calculées.

Dans l'exemple précédent, l'incertitude modifiée est dominée par la plus large contribution à l'incertitude. Ainsi, si la source de la plus large incertitude est claire (par exemple pour le score (CV 5,5%)(2,1,1,2,4), il est clair que le score 4 correspondant à la corrélation technologique sera prépondérant dans l'incertitude modifiée), une procédure simplifiée peut être utilisée lorsque l'estimation de la contribution à l'incertitude (dans l'exemple CV 33%) est simplement utilisée comme une estimation de l'incertitude modifiée moyenne sur ce type de données. La source de la plus grande incertitude peut être si évidente qu'elle peut être identifiée sans utiliser l'index de la qualité des données et cette partie de la procédure peut alors être omise.

Le tableau suivant présente une matrice des incertitudes pour lesquelles les incertitudes additionnelles relatives au cas du pain de seigle traité dans l'étude sont notées.

Ce sont pour la plupart des valeurs estimées. Si le plus grand nombre de valeurs calculées pour les incertitudes additionnelles sont disponibles, il peut être possible d'utiliser une telle matrice dans le but d'attribuer des incertitudes par défaut à chacun des scores pour chaque indicateur de qualité des données. Ceci peut être un nouveau sujet de recherche. Il faut s'attendre à devoir réaliser différentes "matrices d'incertitudes par défaut" pour différents sujets (pour différents types de données, différentes interactions environnementales et différents types d'industries).

Score Indicateur	1	2	3	4	5
Fiabilité	0%	3-10%	17-25%	25%	97%
Complétude	0%	0-10%	?	?	25%
Corrélation temporelle	0%	(pour l'énergie utilisés, baisse des moyennes de : 10% 20% 30% 40%)			
Corrélation géographique (valeurs basses dans l'industrie, hautes en agriculture)	0%	5-17%	10-25%	50%	50%
Corrélation technologique	0%	16%	25%	33%	50%

Matrice incomplète des incertitudes additionnelles types (CV) relatives aux indicateurs de qualité individuels. Les valeurs sont basées principalement sur des estimations relatives au flux massique et à la consommation énergétique propre à cet exemple. Les valeurs ne doivent pas être utilisées comme des valeurs par défaut dans une autre étude avant qu'une certaine expérience ne soit acquise

Il est à prévoir que les expériences acquises grâce à l'élaboration de telles "matrices d'incertitudes par défaut" conduira à l'amélioration des définitions des scores individuels dans la plupart des matrices de pedigree.

Lorsque les incertitudes additionnelles auront été attribuées à toutes les données de l'étude, un calcul de l'incertitude du résultat général sera effectué (pour des systèmes larges grâce à l'utilisation de simulations).

II.2 "Système de notation destiné à évaluer la qualité des données dans le cadre des études ACV" (BIO I.S. / RENAULT S.A. – 1996)

D'une manière synthétique, l'objectif des auteurs est d'évaluer, non seulement la qualité de données individuelles comme cela a déjà été proposé, mais aussi la qualité d'une étape entière d'un cycle de vie, voire de toute l'étude ACV.

Ainsi, d'après les auteurs, la qualité des données peut être évaluée à trois niveaux :

Niveau 1 : Evaluation de la qualité des données pour chaque donnée source et chaque processus unitaire à chaque étape du cycle de vie. A ce niveau de base, l'évaluation de la qualité des données est destinée à déterminer si les sources des données sont acceptables et si les données elles-mêmes sont adaptées au sujet spécifique de l'ACV.

Niveau 2 : Evaluation de la qualité des données pour chaque étape du cycle de vie.

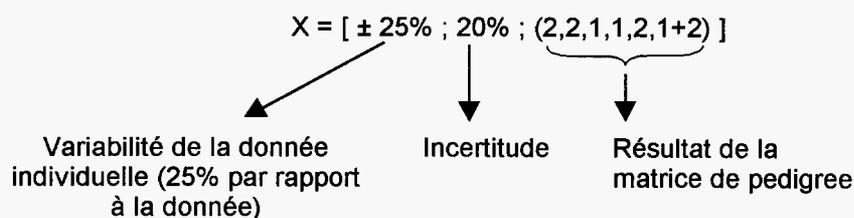
Niveau 3 : Evaluation globale de la qualité des données de l'étude.

Les bases de l'approche suggérée reposent sur le même système de notation formalisée utilisée par B.P.Weidema (voir la paragraphe II.2.1), c'est-à-dire mettant en œuvre 6 indicateurs de qualité des données :

- méthode d'acquisition,
- degré d'indépendance du fournisseur de données,
- représentativité de l'échantillon,
- âge des données,
- corrélation géographique,
- corrélation technique.

L'expression et le traitement des notes attribuées aux données sont développés ci-dessous en fonction des trois niveaux d'évaluation :

Niveau 1 : Evaluation de la qualité des données individuelles. Les données sont reportées de la sorte :



Niveau 2 : Evaluation de la qualité des données pour chaque étape du cycle de vie : ce niveau n'est pas explicité par les auteurs.

Niveau 3 : Système de notation appliqué à l'étude ACV : Evaluation globale de la qualité des données de l'étude.

La matrice de pedigree du cycle de vie total peut être reportée de la manière suivante :

(2-3, 1-5, 5-1, 1-3, 1-3)

La qualité des données de la matrice globale est le résultat des notes minima et maxima à chaque rang de la matrice, en considérant au même moment toutes les étapes du cycle de vie.

Par exemple, le premier résultat "2-3" nous informe qu'en considérant les cinq étapes du cycle de vie, toutes les données sont soit calculées sur la base de mesures, soit calculées en partie sur la base d'hypothèses (noté 2 ou 3).

En conclusion, les auteurs suggèrent d'utiliser la matrice pour deux applications :

- ① permettre une évaluation initiale de la faisabilité d'une étude, en réalisant une étude rapide de la qualité des données disponibles. Cette approche peut mener à réduire le coût des études ACV. Si la

qualité des données obtenue n'appuie pas les résultats de fiabilité de l'étude, alors l'une des trois actions peut être menée :

- obtenir davantage de données et de meilleures,
- faire le compte-rendu de l'étude et informer des limitations de la qualité des données,
- revoir de nouveau les objectifs et l'étendue de l'étude.

② permettre une évaluation finale de la qualité des données de l'étude. Cette approche peut permettre la comparaison de la qualité d'études ACV provenant de sources différentes.

II.3 "Approche semi-quantitative pour l'évaluation de la qualité des données des ACV" (Nicoline Wisberg & al. - 1997)

D'après les auteurs, cette approche pratique semi-quantitative a été développée en vue de prévoir une indication globale de la qualité des données utilisées dans les ACV et de permettre l'identification des données qui contribuent à abaisser la qualité des données.

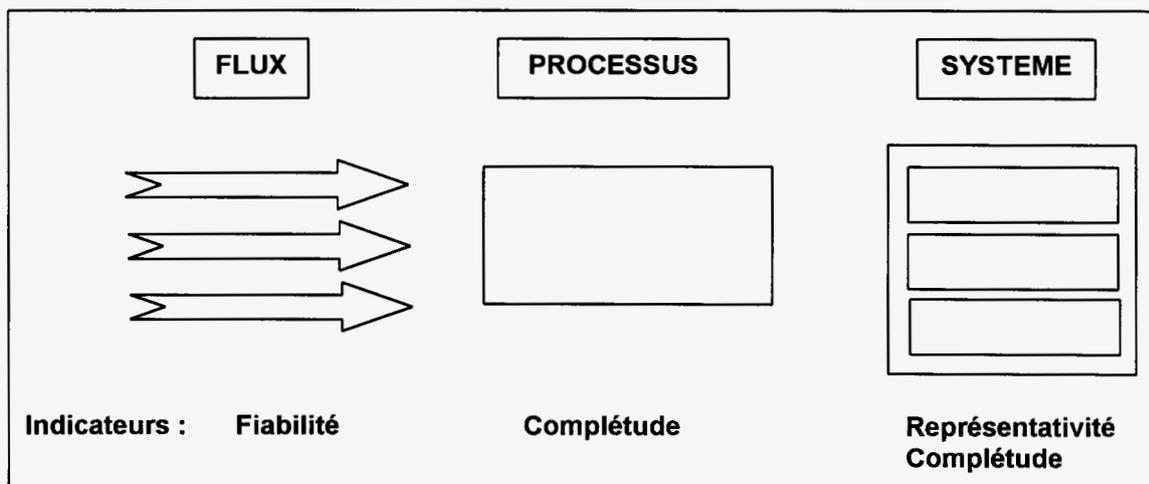
L'approche considère les propositions existantes (par exemple le format des données de SPOLD, les matrices de Weidema). Toutefois, une distinction est faite entre la qualité des données :

- des flux,
- des processus,
- du système.

L'approche distingue trois indicateurs principaux de qualité des données : fiabilité, complétude et représentativité qui regroupent chacun divers paramètres se déclinant comme suit :

- 4 paramètres relatifs à la fiabilité des flux,
- 3 paramètres relatifs à la complétude des processus,
- 3 paramètres relatifs à la représentativité du système et 3 paramètres relatifs à la complétude du système.

Ainsi, pour la première fois, le modèle de traitement des données proposé est le suivant :



Les paramètres de qualité des données se voient attribuer un score en fonction d'une division en catégories de qualité subjective mais transparente (score de 1 à 5, 1 étant le niveau le plus faible).

Le détail des matrices proposées en vue de la notation sont présentées dans les pages ci-dessous :

- Matrice 1 : fiabilité des flux
- Matrice 2 : complétude des flux au niveau du processus
- Matrice 3 : représentativité des processus au niveau du système
- Matrice 4 : complétude des processus au niveau du système

Matrice 1

FIABILITE DES FLUX

Qualité Paramètre Score	Incertitude/ étendue	Représentativité statistique	Age des données	Méthode d'acquisition
1	inconnu	inconnu	inconnu	inconnu
2	> 50%	Echantillon aléatoire	> 10 ans	Estimation basée sur l'avis d'experts
3	25-50%	Echantillons limités (bornés)	5 à 10 ans	Donnée calculée ou mesurée
4	10-25%	Totaux saisonniers	1 à 5 ans	Donnée calculée ou mesurée et vérifiée
5	5-10%	Totaux annuels ou reflétant les variations de flux	1 an	Donnée calculée ou mesurée complétée d'une vérification externe

Matrice 2

COMPLETUDE DES FLUX

Qualité Paramètre Score	Flux inclus / exclus	Données agrégées	Bilan massique
1	inconnu	inconnu	inconnu
2	Comparaison globale avec d'autres sources Oubli de flux inconnus / importants	Flux importants avec des propriétés environnementales dissemblables agrégées	Concordance < 75% Les lacunes concernent des flux importants
3	Comparaison globale avec d'autres sources Oubli important de flux	Flux importants avec des propriétés environnementales similaires agrégées	Concordance entre 75 et 95% Les lacunes concernent des flux importants
4	Comparaison globale avec d'autres sources Oubli de flux non important	Des flux non importants sont agrégés	Concordance < 75-95% Les lacunes concernent des flux non importants
5	Comparaison globale avec d'autres sources Pas de différence significative	Aucun flux n'est agrégé	Concordance > 95%

Matrice 3

REPRESENTATIVITE DES PROCESSUS

Qualité Paramètre Score	Champ d'application géographique	Champ d'application temporel	Champ d'application technologique
1	Inconnu / non représentatif	Inconnu / non représentatif	Inconnu / non représentatif
2	25-50%	25-50%	25-50%
3	50-75%	50-75%	50-75%
4	75-95%	75-95%	75-95%
5	> 95% des flux sont représentatifs dans le contexte des objectifs de qualité des données	> 95% des flux sont représentatifs dans le contexte des objectifs de qualité des données	> 95% des flux sont représentatifs dans le contexte des objectifs de qualité des données

Matrice 4

COMPLETUE DES PROCESSUS

Qualité Paramètre Score	Processus inclus / exclus	Règles d'allocation	Vérification des choix / des règles d'allocation
1	Inconnu	Inconnu	Inconnu
2	Critères de choix arbitraires	Aucune approche pertinente d'allocation n'est appliquée rigoureusement	Pas de vérification de choix ou de règles d'allocation
3	Critères de choix arbitraires, appliqués non rigoureusement	Une approche d'allocation arbitraire est appliquée rigoureusement	Vérification des choix <u>ou</u> des règles d'allocation
4	Critères de choix arbitraires, appliqués rigoureusement	Une approche d'allocation pertinente est appliquée rigoureusement	Vérification des choix <u>et</u> des règles d'allocation
5	Critères de choix non arbitraires, appliqués rigoureusement	Soit la hiérarchie proposée par l'ISO est appliquée, soit toutes les approches d'allocation sont appliquées	Vérification et analyse sensible de différents choix et de règles d'allocation

En ce qui concerne l'expression et le traitement des données, aucune information détaillée n'est explicitée par les auteurs.

Conclusion

Un avis critique des méthodologies existantes est exprimé ci-après à plusieurs niveaux :

- d'une manière générale,
- par rapport aux réponses apportées en ce qui concerne :
 - la formulation d'indicateurs de qualité,
 - l'utilisation de l'expression de ces indicateurs en vue d'appréhender l'évaluation globale de la qualité de l'inventaire.

Travaux de B.P.Weidema & al. :

- Précurseur dans la formalisation d'une matrice composée de critères qualitatifs ou indicateurs et d'une notation à différents niveaux de qualité.

Ce système peut être jugé comme subjectif, mais il a le mérite d'être transparent.

Le traitement des données reste simple et consiste à l'élaboration d'un index de qualité par donnée (énoncé des notes : $(n1, n2, n3, n4, n5, n6) = 1$ note par critère).

- Ses derniers travaux ont abouti à une modification de la matrice initiale, notamment au niveau des indicateurs. Une approche nouvelle envisage la prise en compte de la notion d'incertitude des données et son intégration dans l'expression même de l'index de qualité, voire sur la valeur numérique de la donnée.

Bien que fournissant des idées nouvelles pour atteindre des résultats souhaités (prise en compte de l'incertitude des données), les moyens employés restent très flous et ne semblent reposer pour la plupart que sur des estimations facilement remises en cause. Il semble donc difficile d'intégrer aujourd'hui et à ce stade d'avancement les travaux des auteurs.

BIO I.S. et RENAULT SA :

Reprenant les mêmes supports méthodologiques que B.P.Weidema (matrice de 1994), les auteurs souhaitent évaluer, non seulement la qualité de données individuelles comme cela a déjà été proposé, mais aussi la qualité d'une étape entière d'un cycle de vie, voire de toute l'étude ACV.

Les auteurs définissent donc trois niveaux :

Niveau 1 : Evaluation de la qualité des données pour chaque donnée source et chaque processus unitaire à chaque étape du cycle de vie.

Niveau 2 : Evaluation de la qualité des données pour chaque étape du cycle de vie.

Niveau 3 : Evaluation globale de la qualité des données de l'étude.

En ce qui concerne l'utilisation des notes et en vue d'appréhender l'évaluation globale de la qualité de l'inventaire, les auteurs s'orientent vers l'agrégation des notes (note minimale - note maximale) selon chaque indicateur sur le système entier.

Nicoline Wrisberg & al. :

L'approche des auteurs est totalement novateur en ce qui concerne les supports méthodologiques, dans le sens où une distinction est faite entre la qualité des données :

- des flux,
- des processus,
- du système.

L'approche distingue trois indicateurs de qualité des données : fiabilité, complétude et représentativité qui regroupent chacun divers paramètres.

Le système se compose donc de 4 matrices de qualité appliquées aux données des flux, des processus et du système. Chaque donnée se voit attribuer un score en fonction d'une division en 5 niveaux (principe similaire aux autres approches précitées).

En ce qui concerne le traitement des données, aucune information détaillée n'est explicitée par les auteurs.

Au vue des méthodes existantes, un constat majeur peut être fait :

La recherche a fortement progressé dans le domaine des indicateurs de qualité. Une structure solide semble exister en vue de qualifier les données.

Toutefois, aucune méthode ne semble répondre explicitement au problème de l'évaluation globale des données d'inventaire des ACV. Les travaux de recherche développés dans cette étude seront orientés vers ce domaine.

Liste bibliographique

- **BRAUNSCHWEIG & AL.**. Imprecision and uncertainty in LCA. *Life cycle assessment (LCA)- Quo vadis ?*. 1996. p.51-68.
- **AXEL SINGHOFEN (SPOLD)**. Introduction into a common format for life-cycle inventory data. *Status report*. 1996. 37p.
- **B.P. WEIDEMA**. Qualitative and quantitative parameters in product impact assessment. *Integrating impact assessment into LCA. SETAC-Europe*. 1994. 2p.
- **B.P. WEIDEMA & M. SUHR WESNØES**. Data quality management for life cycle inventories – an example of using data quality indicators. *Journal of cleaner Production*. 1997. 13p.
- **E. LABOUZE¹ & O. ROEDERER²** (¹BIO Intelligence Service, ²RENAULT S.A.). A suggested rating system to access the data quality in your LCA study. *Sixth SETAC-Europe Annual Meeting*. 1996. 6p.
- **L-G. LINDFORS¹, K. CHRISTIANSEN & L. HOFFMAN², Y. VIRTANEN, V. JUNTILLA & A. LESKINEN³, O. HANSSSEN & A. RONNING⁴, T. EKVALL⁵, G. FINNVEDEN¹** (¹IVL, Suède, ²Krøger a/s, Danemark, ³VVT, Finlande, ⁴Norvège, ⁵ CIT, Suède). LCA-NORDIC Technical Reports N°1-9, TemaNord 1995:502. *Nordic Council*. 1995.
- **N. WRISBERG¹, E. LINDEIJER², P. MULDER¹, A. RAM³, B. VAN DER VEN⁴ & H. VAN DER WEL³** (¹CML, ²IVAM, ³PHILIPS, ⁴TNO-MEP). A semi-quantitative approach for assessing data quality in LCA, 1997. 1p (résumé) et transparents.
- Life-cycle assessment data quality : a conceptual framework. *SETAC*. 1994. 157p.

Partie 2 : La qualité des données d'inventaire



Sommaire de la partie 2

CHAPITRE I GENERALITES	33
I.1 La notion de qualité de l'information	33
I.2 Qualités fondamentales des mesures, méthodes et résultats	33
I.3 Définitions relatives à l'Analyse du Cycle de Vie	35
I.4 Les catégories de données d'inventaire dans les ACV	35
I.5 Etat de l'art des exigences normatives	35
CHAPITRE II LA QUALITE DES DONNEES D'INVENTAIRE DANS LES ACV	37
II.1 L'enjeu : une compréhension fiable et pertinente des données	37
II.2 L'objet : la méthode et les données	37
II.3 Objectif de l'étude	37
CHAPITRE III LA QUALIFICATION DES DONNEES D'INVENTAIRE ACV AU NIVEAU DU FLUX	38
III.1 Objectif et méthode	38
III.2 Les critères de qualité au niveau du flux identifié : EXACTITUDE et INCERTITUDE	38
III.3 Le modèle de base utilisé pour la définition des paramètres de qualité	38
III.4 La moyenne générale m dans le modèle de base	38
III.5 Le terme biais B dans le modèle de base	39
III.6 Le terme erreur e dans le modèle de base	39
CHAPITRE IV LA QUALIFICATION DES DONNEES DE L'INVENTAIRE ACV AU NIVEAU DU PROCESSUS	40
IV.1 Objectif	40
IV.2 L'intégration des caractéristiques qualitatives au niveau des flux individuels : exactitude et incertitude des flux liés au niveau du processus	40
IV.3 Critère de justesse des données d'inventaire au niveau d'un processus : la complétude	40
IV.4 Conditions de répétabilité des données au niveau d'un processus : la représentativité du processus	41
CHAPITRE V LA QUALIFICATION DES DONNEES D'INVENTAIRE ACV AU NIVEAU DU SYSTEME	42
V.1 Objectif	42
V.2 Propagation des indicateurs de qualité au niveau des flux individuels : exactitude et incertitude des données au niveau du système	42
V.3 Intégration des indicateurs de qualité au niveau des processus élémentaires : complétude et représentativité des processus au niveau du système	42
V.4 Qualification de la méthode de définition du système	43
V.4.1 Règles de définition de l'unité fonctionnelle et du flux de référence	43
V.4.2 Règles de définition des frontières initiales du système	44
V.4.3 Critères pour l'inclusion initiale des entrants et des sortants	44
V.4.4 Principes d'affectation et règles d'allocation	45

CHAPITRE I **GENERALITES**

I.1 La notion de qualité de l'information

Un préalable : la qualité est l'adaptation aux besoins des utilisateurs.

L'AFNOR définit la qualité dans les termes suivants : "la qualité est l'aptitude d'un produit ou d'un service à satisfaire les besoins des utilisateurs".

Une telle définition est susceptible d'être adaptée à l'appréciation de la qualité de production de l'information contenue dans les résultats d'inventaire ACV.

On posera donc, en termes de préalable, que la qualité des données d'inventaire ACV doit être appréciée en premier lieu sur son aptitude à répondre aux besoins des utilisateurs.

Il convient donc d'intégrer dans la démarche de recherche des critères d'appréciation de la qualité des données ACV la variété des besoins (utilisation interne, utilisation externe).

I.2 Qualités fondamentales des mesures, méthodes et résultats

(source : normes de la série NF X 06-)

1. Grandeur (mesurable)

Attribut d'un phénomène, d'un corps ou d'une substance, qui est susceptible d'être distingué qualitativement et déterminé quantitativement.

Exemples : a) grandeurs dans un sens général : longueur, temps, masse, température.

b) grandeurs déterminées : longueur d'une tige particulière, masse d'une substance donnée.

2. Grandeur à mesurer

Grandeur (déterminée) soumise à un processus de mesure. Note : une fois le processus de mesure appliqué, la grandeur à mesurer devient une grandeur mesurée. Le terme mesurande couvre les deux notions.

3. Grandeur d'influence

Grandeur qui ne fait pas l'objet du mesurage mais qui influe sur la valeur de la grandeur à mesurer ou sur les indications du dispositif de mesure.

4. Valeur (d'une grandeur)

Expression d'une grandeur sous la forme d'un nombre et d'une unité de mesure appropriée.

Exemple : 5,3 m ; 12 kg ; -40°C.

→ 5. Valeur vraie (d'une grandeur)

Valeur qui caractérise une grandeur parfaitement définie, dans les conditions qui existent lorsque cette grandeur est considérée. Note : la valeur vraie d'une grandeur est une notion idéale et, en général, ne peut être connue exactement. L'existence d'une unique valeur vraie peut être exclue par effet quantique.

6. Valeur observée

Valeur d'un caractère donnée sous la forme d'une observation unique.

→ 7. Mesurage

Ensemble d'opérations ayant pour but de déterminer la valeur d'une grandeur.

8. Mesurande

Grandeur soumise à mesurage. Note : ce peut être, selon les cas, la grandeur mesurée ou la valeur à mesurer.

→ 9. Méthode de mesure

Ensemble des opérations théoriques et pratiques en termes généraux, mises en œuvre lors de l'exécution de mesurage selon un principe donné.

10. Résultat d'un mesurage

Valeur d'une grandeur mesurée, obtenue par mesurage.

11. Résultat d'essai

Valeur d'un caractère obtenue par l'application complète d'une méthode de mesure spécifiée.

12. Caractère (qualitatif, quantitatif)

Propriété servant à distinguer les individus d'une population. Un caractère peut être qualitatif (attribut) ou quantitatif. Le terme "variable" est généralement utilisé pour désigner un caractère quantitatif. (NF X-06-003).

13. Modalité

Les modalités d'un caractère qualitatif sont les différentes variantes que peut présenter ce caractère. Par exemple, une pièce est bonne ou défectueuse : 2 modalités - le mois de production est janvier, février, etc. : 12 modalités.

14. Caractère discret

Un caractère quantitatif qui ne peut prendre que des valeurs isolées est dit discret : par exemple, le nombre des mois de production.

⇒ 15. Dispersion des résultats

Phénomène dû à des variations incontrôlées de la grandeur mesurée ou du dispositif de mesure, qui se traduit dans une série de mesurages d'une même grandeur, par des résultats de mesure différents.

⇒ 16. Exactitude de mesure

Etroitesse de l'accord entre le résultat d'un mesurage et la valeur (conventionnellement) vraie de la grandeur mesurée.

Note : l'emploi du terme de précision au lieu d'exactitude doit être évité.

⇒ 17. Répétabilité des mesurages

Etroitesse de l'accord entre les résultats des mesurages successifs du même mesurande, effectués avec l'application de la totalité des conditions suivantes :

- même méthode de mesure,
- même observateur,
- même dispositif de mesure,
- même lieu,
- même conditions d'utilisation,
- répétition sur une courte période de temps.

Note : la répétabilité peut s'exprimer quantitativement par une caractéristique de dispersion des résultats.

18. Reproductibilité des mesurages

Etroitesse de l'accord entre les résultats des mesurages du même mesurande, dans le cas où les mesurages individuels sont effectués en faisant varier les conditions telles que :

- méthode de mesure,
- observateur,
- dispositif de mesure,
- lieu,
- conditions d'utilisation,
- temps.

Notes :

1. Pour qu'une expression de la reproductibilité soit valable, il est nécessaire de spécifier les conditions que l'on fait varier.
2. La reproductibilité peut s'exprimer quantitativement par une caractéristique de dispersion des résultats.

19. Valeur moyenne des résultats

Dans une série de mesurages sur une même grandeur, moyenne arithmétique des différents résultats de mesure.

20. Ecart-type expérimental

Pour une série de n mesurages du même mesurande, paramètre s caractérisant la dispersion des résultats, donné par la formule :

$$s = \sqrt{[\sum (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)]}$$

x_i étant le résultat du $i^{\text{ème}}$ mesurage et \bar{x} la moyenne arithmétique des n résultats considérés.

Note : l'écart type expérimental ne doit pas être confondu avec l'écart-type σ d'une population d'effectif N et de moyenne m, donné par la formule :

$$\sigma = \sqrt{[\sum (x_i - m)^2 / N]}$$

⇒ 21. Incertitude de mesure

Estimation caractérisant l'étendue des valeurs dans laquelle se situe la valeur vraie d'une grandeur mesurée.

Note : l'incertitude de mesure comprend, en général, plusieurs composantes. Certaines peuvent être estimées en se fondant sur la distribution statistique de séries de mesurages et peuvent être

caractérisées par un écart-type expérimental. L'estimation des autres composantes ne peut être fondée que sur l'expérience ou sur d'autres informations.

22. Erreur (absolue) de mesure

Résultat d'un mesurage moins valeur (conventionnellement) vraie de la grandeur mesurée. Ne pas confondre "erreur absolue" qui est une grandeur algébrique et valeur absolue d'une erreur qui est le module d'une erreur.

L'erreur de mesure comprend plusieurs composantes : l'erreur aléatoire (qui varie de façon imprévisible), l'erreur systématique (qui reste constante ou vraie de façon prévisible), l'erreur d'observation (commise par l'observateur pendant l'application du processus de mesure), l'erreur d'influence (due au fait que l'une au moins des grandeurs d'influence s'écarte de sa valeur de référence), l'erreur parasite (qui résulte de l'exécution incorrecte du mesurage).

1.3 Définitions relatives à l'Analyse du Cycle de Vie

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV), comme définie dans la norme ISO/DIS 14040, consiste en la compilation et l'évaluation des entrants et sortants, ainsi que des impacts potentiels sur l'environnement d'un système de produits au cours de son cycle de vie.

⇒ **Système de produits** : ensemble de processus élémentaires liés du point de vue matériel et énergétique et remplissant une ou plusieurs fonctions.

⇒ **Processus élémentaire** : opération ou groupe d'opérations caractérisés par un ensemble d'entrants et de sortants. Les processus élémentaires sont liés les uns aux autres par des flux de produits intermédiaires ou des déchets à traiter et sont également liés à d'autres systèmes de produits par des flux de produits et à l'environnement par des flux élémentaires.

Entrant : matière ou énergie entrant dans un processus élémentaire.

N.B. : les matières peuvent comprendre des matières premières et des produits.

Sortant : matière ou énergie sortant d'un processus élémentaire.

N.B. : les matières peuvent comprendre des matières premières, des produits, des rejets et des déchets.

1.4 Les catégories de données d'inventaire dans les ACV

La phase d'inventaire du cycle de vie implique le recueil des données nécessaires pour répondre aux objectifs préalablement définis de l'étude. Il s'agit essentiellement d'un inventaire des données physiques d'entrée et de sortie par rapport au système à étudier.

Les principaux titres sous lesquels les données peuvent être classées dans l'inventaire ACV comprennent :

- les entrants : énergie, matières premières, auxiliaires, physiques ;
- les produits ;
- les rejets dans l'air, dans l'eau, dans le sol, autres.

Sous ces titres, les diverses catégories de données doivent être plus amplement détaillées pour répondre au but de l'étude. Par exemple, sous le titre rejets dans l'air, on peut préciser la catégorie de données : monoxyde de carbone, dioxyde de carbone, oxydes de soufre, oxydes d'azote, etc.

Les données requises pour une ACV dépendent de l'objectif de l'étude. Ces données peuvent être collectées à partir des sites de production associés aux processus élémentaires dans les frontières du système, ou obtenues ou calculées à partir de sources publiées.

1.5 Etat de l'art des exigences normatives

La future norme internationale ISO / DIS 14041 "Analyse du cycle de vie : définition de l'objectif et du champ de l'étude et analyse de l'inventaire" (document provisoire de juin 1997) comprend un chapitre intitulé "exigences relatives à la qualité des données".

« Il est recommandé d'établir des exigences relatives à la qualité des données qui définissent les paramètres suivants :

- les **facteurs temporels** : l'âge désiré des données (par exemple datant des cinq dernières années) et la durée minimale (par exemple annuelle) pour collecter les données ;
- la **géographie** : zone géographique dans laquelle il convient de collecter les données pour les processus élémentaires afin de respecter l'objectif de l'étude (par exemple locale, régionale, nationale, continentale, globale) ;
- la **technologie** : mélange de technologies (par exemple moyenne pondérée du mélange réel des procédés, meilleure technologie disponible ou unité d'exploitation la plus défavorable).

Il faut également tenir compte d'autres descripteurs qui définissent :

- la **nature des données** : données collectées dans des sites spécifiques par rapport aux données de sources publiées par exemple, et
- la **méthode de collecte des données** : s'il convient de mesurer, calculer ou évaluer les données.

Les données de sites spécifiques sont en règle générale utilisées pour les processus élémentaires qui constituent la plus grande partie des flux de masse et d'énergie dans les systèmes étudiés, déterminés dans l'analyse de sensibilité (...). Il convient également d'utiliser des données de sites spécifiques pour les processus élémentaires qui sont considérés comme ayant des rejets liés à l'environnement.

Dans toutes les études, les exigences supplémentaires suivantes relatives à la qualité des données doivent être considérées à un niveau de détail qui dépend de la définition de l'objectif et du champ de l'étude :

- la précision : mesure de la variabilité des valeurs des données pour chaque catégorie de données exprimées (par exemple différence) ;
- le caractère complet : pourcentage des emplacements communiquant des données primaires par rapport au nombre potentiel existant pour chaque catégorie de données dans un processus élémentaire ;
- la représentativité : évaluation qualitative de la mesure dans laquelle l'ensemble des données reflète la population réelle présentant un intérêt (c'est-à-dire géographie, durée et technologie) ;
- la cohérence : évaluation qualitative du degré d'uniformité de la méthodologie de l'étude appliquée aux diverses composantes de l'étude ;
- la reproductibilité : évaluation qualitative de la mesure dans laquelle les informations sur la méthodologie et les valeurs des données permettent à un réalisateur indépendant de reproduire les résultats consignés dans l'étude.

Lorsqu'une étude est utilisée à l'appui d'une affirmation comparative divulguée au public, les exigences concernant la qualité des données mentionnées ci-dessus doivent être incluses ».

Il faut souligner le caractère non opérationnel d'une telle liste dans le contexte de la réalisation pratique d'une évaluation de la qualité des données d'un inventaire ACV : les indicateurs permettant d'évaluer ces critères ne sont pas précisés. La maturation des travaux ISO en terme d'évaluation de la qualité des données n'a pas été atteinte et c'est pourquoi la formulation de l'exigence reste prudente et limitée au seul cas d'affirmation comparative divulguée au public.

Il faut aussi remarquer l'emploi d'une terminologie imprécise : aucun des critères n'est proprement défini et certains d'entre eux sont source de confusion. Par exemple le terme "précision" est exclu de l'ensemble des normes ISO relatives à la Statistique, avec l'indication que l'emploi du terme précision au lieu d'exactitude doit être évité; l'exactitude de mesure est décrite par l'écart entre le résultat d'un mesurage et la valeur (conventionnellement) vraie de la grandeur mesurée (NF X 07 001, 1984).

La norme ISO 14041 évoque la notion d'exigence de qualité sur les données d'inventaire. Cependant, pour parvenir à fixer un niveau d'exigence, deux conditions doivent être préalablement remplies :

1. les caractéristiques qualitatives permettant d'évaluer la qualité des données doivent être définies,
2. les échelles d'évaluation et les modalités des grandeurs susmentionnées doivent être déterminées.

CHAPITRE II LA QUALITE DES DONNEES D'INVENTAIRE DANS LES ACV

II.1 L'enjeu : une compréhension fiable et pertinente des données

Le but d'un inventaire ACV est d'identifier et de quantifier la totalité des entrants et sortants significatifs associés à chacun des processus élémentaires dans les frontières du système.

La nécessité d'apprécier la qualité des données se pose pour garantir une compréhension fiable et pertinente des résultats de l'inventaire ACV et pour en interpréter correctement ce qu'il en ressort.

Cet objectif passe par la mise au point d'une méthode de travail visant à renforcer la crédibilité et à améliorer l'utilité de l'information contenue dans les inventaires ACV.

II.2 L'objet : la méthode et les données

Le problème de l'évaluation de la qualité des données d'inventaire ACV peut être posé en combinant deux angles de vue complémentaires : en considérant d'une part les données de l'inventaire (les entrants et sortants quantifiés), et d'autre part le processus d'obtention de ces données (la méthode de mesure, au sens défini dans la norme NF X 07-001).

La détermination des caractéristiques qualitatives des données d'inventaire dans les ACV peut être réfléchi à la fois en termes de qualification de la méthode de réalisation de l'inventaire et des résultats obtenus :

1°) comment décrire l'exactitude de la méthode de réalisation d'un inventaire ACV ?

L'essentiel dans l'estimation de valeurs d'exactitude est que ces dernières mesurent l'aptitude d'une méthode de mesure à donner une détermination correcte (justesse) ou à répéter une détermination donnée (fidélité). Cela implique donc que la même chose est mesurée, exactement de la même façon et que le processus de mesure est maîtrisé.

2°) Comment décrire l'incertitude des données d'inventaire ACV obtenues sous conditions de répétabilité (justesse et fidélité de la méthode) définies ?

II.3 Objectif de l'étude

L'objectif de cette étude est d'établir un guide méthodologique permettant le suivi et la gestion de la qualité des données d'inventaire dans les ACV, afin de fournir un cadre pratique pour la réalisation de nouveaux inventaires ACV.

Le but de cette étude est :

- 1) de définir les composantes des conditions de répétabilité d'un inventaire ACV, en les spécifiant à chacun des trois niveaux de résolution des données :

Niveau 1 :	le flux (entrant ou sortant, de matière ou d'énergie)	F
Niveau 2 :	le processus, décrit par un ensemble de flux	$P = \sum_P F$
Niveau 3 :	le système, décrit par un ensemble de processus	$S = \sum_S P = \sum_S (\sum_P F)$

- 2) d'établir une méthode pour la détermination des caractéristiques qualitatives des composantes susmentionnées, afin de pouvoir établir une description fidèle des circonstances dans lesquelles les données d'un inventaire ACV ont été obtenues,

- 3) de fournir un cadre méthodologique pour l'estimation de l'**exactitude (justesse)** et l'évaluation de l'**incertitude (variabilité)** des données d'inventaire dans les ACV pour utilisation dans certaines circonstances.

CHAPITRE III LA QUALIFICATION DES DONNEES D'INVENTAIRE ACV AU NIVEAU DU FLUX

III.1 Objectif et méthode

Le but recherché est de rendre compréhensible le degré de confiance que l'on peut accorder à la valeur numérique des données d'inventaire ACV, ces données exprimant l'ampleur de flux.

Ce niveau de confiance est dicté par l'étroitesse de l'accord entre la valeur obtenue dans l'inventaire ACV et la valeur présumée vraie correspondant à l'application de la même méthode de mesure (c'est-à-dire en supposant que la description du système et des processus élémentaires est une constante). Autrement dit, dans la description du niveau de confiance de la valeur obtenue pour chaque flux, les biais (erreurs de justesse) associés à la méthode de définition du système et des processus élémentaires sont ignorés (ils seront traités aux chapitres 4 et 5).

III.2 Les critères de qualité au niveau du flux identifié : EXACTITUDE et INCERTITUDE

La confiance à accorder aux valeurs de l'inventaire peut être décrite en utilisant de façon combinée les deux termes définis ci-dessous :

Exactitude de mesure : étroitesse de l'accord entre le résultat d'un mesurage et la valeur (présumée) vraie de la grandeur mesurée sous des conditions prescrites (Note : l'emploi du terme précision au lieu d'exactitude doit être évité).

Incertitude de mesure : estimation caractérisant l'étendue des valeurs dans laquelle se situe la valeur vraie d'une grandeur mesurée.

Note : l'incertitude dépend uniquement de la distribution des erreurs aléatoires et n'a aucune relation avec la valeur vraie spécifiée, c'est-à-dire avec l'exactitude de la mesure. L'incertitude décrit la variabilité des valeurs caractéristiques de la grandeur mesurée alors que l'exactitude décrit une différence systématique (un biais) entre la valeur observée et la valeur présumée vraie. En d'autres termes, l'exactitude décrit une différence prévisible entre la valeur vraie et la valeur observée tandis que l'incertitude représente la composante aléatoire inhérente à la valeur observée.

III.3 Le modèle de base utilisé pour la définition des paramètres de qualité

Pour l'estimation de la confiance ou fiabilité des données d'inventaire ACV (dans des conditions prescrites de choix méthodologiques et de modes opératoires), il est utile de supposer que chaque donnée résulte de la somme de trois composantes :

$$d_{\text{flux}} = m + B + e \quad (1)$$

où, pour chaque flux particulier identifié,

m représente la moyenne générale (espérance) dans des conditions spécifiées de définition du système et des processus élémentaires ;

B représente la composante "méthode de mesure" du biais sous des conditions de répétabilité (i.e. dans les mêmes conditions de modélisation du système et des processus élémentaires) ;

e représente l'erreur aléatoire survenant sous des conditions de répétabilité.

III.4 La moyenne générale m dans le modèle de base

La moyenne générale est le niveau de la méthode. Ce niveau est exclusivement défini par la méthode de modélisation du système et du processus élémentaire. Différentes méthodes de modélisation du système ou du processus élémentaire correspondront à différents niveaux. La notion de valeur vraie intrinsèque ou absolue n'existe pas : la valeur vraie d'un flux ne s'applique que pour décrire la propriété d'un modèle spécifié (définition du système et du processus élémentaire). A chaque méthode de

modélisation du système et du processus élémentaire correspond un niveau m propre : ce niveau exprime la valeur exacte de chaque flux identifié dans le cadre du modèle spécifié.

Lorsque l'on souhaite examiner les résultats d'un inventaire ACV obtenus par l'application d'une même méthode de modélisation, le biais de la méthode de modélisation n'aura pas d'influence et pourra être ignoré.

Cependant, lorsque l'on souhaite comparer des résultats obtenus en utilisant différentes méthodes de modélisation, le biais de la méthode mise en œuvre devra être pris en compte. La méthode préconisée pour l'estimation de ce biais est décrite au chapitre sur la qualification des données d'inventaire au niveau du système.

III.5 Le terme biais B dans le modèle de base

Ce terme sert à exprimer la justesse de la valeur d'un flux caractéristique d'un processus élémentaire donné. Pour un processus élémentaire donné, il peut être différent en valeur pour chaque flux du processus.

Le biais est une erreur systématique attendue (par opposition à l'erreur aléatoire) ; il peut y avoir plusieurs composantes d'erreur systématique qui contribuent au biais.

Il ressort de la bibliographie relative aux inventaires ACV que trois composantes d'erreur systématique contribuent au biais associé à l'expression de la valeur d'un flux caractéristique d'un processus élémentaire spécifié (sous conditions de répétabilité) :

- la représentativité statistique des données,
- l'âge des données,
- la méthode d'acquisition des données.

III.6 Le terme erreur e dans le modèle de base

Ce terme représente une erreur aléatoire (ou incertitude) survenant pour chaque flux quantifié au niveau d'un processus élémentaire puis par propagation au niveau du système complet. Cette incertitude est introduite dans l'inventaire ACV par les effets cumulés de l'incertitude sur les entrants et de la variabilité des données.

Le document provisoire présentant le projet de norme ISO 14041 définit une analyse d'incertitude au niveau d'un inventaire ACV de la façon suivante :

Analyse d'incertitude : procédure systématique permettant de rechercher puis de quantifier l'incertitude introduite dans un inventaire du cycle de vie par les effets cumulés de l'incertitude sur les entrants et de la variabilité des données. Cette analyse de l'incertitude se fonde soit sur des plages soit sur des lois de probabilité.

CHAPITRE IV LA QUALIFICATION DES DONNEES D'INVENTAIRE ACV AU NIVEAU DU PROCESSUS

IV.1 Objectif

Le but recherché est de rendre compréhensible le degré de confiance que l'on peut accorder à l'ensemble des données qui décrivent un processus élémentaire spécifié inclus dans les frontières du système complet.

Les indicateurs d'exactitude et d'incertitude définis au chapitre 3 servent à qualifier les données d'inventaire ACV prises individuellement (au niveau du flux). Au niveau du processus, les données d'inventaire ACV ne sont pas seulement considérées chacune isolément : elles doivent aussi être qualifiées dans une logique d'intégration au niveau du processus.

Cet objectif passe par l'identification des déterminants du degré de confiance :

- 1°) dans les données d'inventaire ACV décrivant un processus spécifié,
- 2°) dans la méthode d'intégration des données mise en œuvre.

IV.2 L'intégration des caractéristiques qualitatives au niveau des flux individuels :

EXACTITUDE ET INCERTITUDE DES FLUX LIES AU NIVEAU DU PROCESSUS

Les critères de qualité des données d'inventaire ACV explicités au chapitre 3 servent à qualifier l'exactitude (en termes de biais) et l'incertitude (en termes de variabilité) des valeurs de chaque flux identifié au niveau du processus élémentaire spécifié.

L'information contenue dans la valeur du paramètre qualifiant l'exactitude de chacun des flux identifiés au niveau d'un processus, apporte elle-même un critère d'appréciation de la qualité des données d'inventaire propre à ce niveau d'intégration : l'écart-type de biais décrit la dispersion des caractéristiques qualitatives de justesse pour tous les flux liés à un processus spécifié. Ce paramètre est utile pour évaluer **l'homogénéité de la qualité de justesse des données d'inventaire** au niveau d'un processus spécifié.

IV.3 Critère de justesse des données d'inventaire au niveau d'un processus :

LA COMPLETUE

Dans la norme ISO/DIS 5725, deux termes "justesse" et "fidélité" sont utilisés pour décrire l'exactitude d'une méthode de mesure ¹.

Dans ce paragraphe, l'objectif est de définir des critères de justesse propres à l'ensemble des opérations mises en œuvre lors de l'exécution de l'inventaire ACV au niveau du processus élémentaire.

Deux sources d'erreur de justesse (biais) apparaissent au niveau de la description physique du processus proprement dit, en ignorant les caractéristiques qualitatives des flux individuels :

1°) Les flux identifiés donnent-ils une représentation qualitativement complète du processus ?

Une erreur est-elle introduite en omettant de prendre en considération des flux non identifiés ?

2°) Les valeurs prises par l'ensemble des flux donnent-elles une représentation quantitativement complète du processus ? Lorsque le bilan matière d'un processus n'est pas équilibré (somme des entrants massiques \neq somme des sortants massiques), une erreur systématique est commise si l'écart observé n'est pas corrigé.

Le terme de complétude sert ici à exprimer **la qualité de justesse** de l'ensemble solidaire des données caractéristiques d'un processus élémentaire spécifié.

L'erreur de complétude peut comprendre plusieurs composantes : l'erreur aléatoire (qui varie de façon imprévisible) introduite par les effets cumulés de l'incertitude sur les entrants et de la variabilité des

¹ Méthode de mesure : ensemble des opérations théoriques et pratiques en termes généraux, mises en œuvre lors de l'exécution de mesurage selon un principe donné.

données, l'erreur systématique (qui reste constante ou vraie de façon prévisible), l'erreur d'observation (commise par l'observateur pendant l'application du processus de mesure), l'erreur d'influence (due au fait que l'une au moins des grandeurs d'influence s'écarte de sa valeur de référence), l'erreur parasite (qui résulte de l'exécution incorrecte du mesurage).

Il ressort de la bibliographie relative aux ACV que trois composantes servent à qualifier la complétude des données d'inventaire au niveau d'un processus élémentaire spécifié :

- le niveau d'exhaustivité des flux identifiés,
- le niveau d'agrégation des flux,
- l'équilibre du bilan massique.

IV.4 Conditions de répétabilité des données au niveau d'un processus :

LA REPRESENTATIVITE DU PROCESSUS

La "fidélité" d'une méthode se réfère à l'étroitesse de l'accord entre les résultats d'essai : elle décrit la variabilité de la méthode de mesure. La fidélité dépend uniquement de la distribution des erreurs aléatoires et n'a aucune relation avec la valeur de référence vraie.

Notre but est donc de qualifier les conditions de répétabilité de la méthode d'obtention des données d'inventaire ACV au niveau du processus (critères de fidélité), et de fournir une méthode de base permettant d'établir une description fidèle des circonstances dans lesquelles une méthode de réalisation d'un inventaire ACV a été conduite au niveau du processus élémentaire spécifié.

Il ressort de la bibliographie relative aux ACV que trois composantes servent à qualifier les conditions de répétabilité ou les critères de fidélité de la méthode d'obtention des données d'inventaire ACV au niveau d'un processus élémentaire spécifié :

- la représentativité temporelle des données collectées,
- la représentativité géographique des données collectées,
- la représentativité technologique des données collectées.

CHAPITRE V LA QUALIFICATION DES DONNEES D'INVENTAIRE ACV AU NIVEAU DU SYSTEME

V.1 Objectif

Le but recherché est de rendre compréhensible le degré de confiance que l'on peut accorder à l'ensemble des données d'inventaire ACV qui décrivent un système spécifié.

Tous les indicateurs et paramètres de qualité définis jusque-là :

au niveau du flux :

- indicateur de biais (3 paramètres d'exactitude),
- indicateur de variabilité (1 paramètre incertitude) ;

au niveau du processus élémentaire :

- écart-type de biais (1 paramètre),
- indicateur de complétude (3 paramètres),
- indicateur de représentativité (3 paramètres) ;

servent à qualifier les données d'inventaire ACV prises individuellement (au niveau du flux) ou bien les groupes de données solidaires (au niveau du processus élémentaire).

Au niveau du système,

les données d'inventaire ACV doivent être qualifiées dans une logique d'intégration au niveau du système complet. Cet objectif passe par l'identification des déterminants :

1°) **du degré de confiance** dans les données d'inventaire ACV décrivant le système dans son ensemble,

2°) **des conditions de répétabilité** de la méthode mise en œuvre pour aboutir aux données d'inventaire ACV au niveau du système complet.

V.2 : Propagation des indicateurs de qualité au niveau des flux individuels :

EXACTITUDE ET INCERTITUDE DES DONNEES AU NIVEAU DU SYSTEME

Les critères de qualité des données d'inventaire ACV explicités au chapitre 3 (niveau du flux) servent à qualifier l'exactitude (en termes de biais) et l'incertitude (en termes de variabilité) des valeurs de chaque flux identifié au niveau de chaque processus élémentaire inclus dans les frontières du système.

L'information contenue dans la valeur du paramètre qualifiant l'exactitude - resp. l'incertitude - de chacun des flux identifiés au niveau du système spécifié, apporte elle-même un critère d'appréciation de la qualité des données d'inventaire propre à ce niveau d'intégration (niveau système) : l'écart-type de biais - resp. de variabilité - (niveau système) décrit la dispersion des caractéristiques qualitatives de justesse - resp. fidélité - pour toutes les données d'inventaire agrégées au niveau du système complet spécifié. Ce paramètre est utile pour évaluer **l'homogénéité de la qualité de justesse - resp. fidélité - des données d'inventaire** au niveau d'un système spécifié.

V.3 : Intégration des indicateurs de qualité au niveau des processus élémentaires :

COMPLETUDE ET REPRESENTATIVITE DES PROCESSUS AU NIVEAU DU SYSTEME

Les critères de qualité des données d'inventaire ACV explicités au chapitre 4 (niveau du processus) servent à qualifier la complétude (critère de justesse) et la représentativité (critère de fidélité) des données d'inventaire ACV intégrées au niveau de chaque processus élémentaire inclus dans les frontières du système.

L'information contenue dans la valeur du paramètre qualifiant la complétude - resp. représentativité - de chacun des processus élémentaires identifiés au niveau du système spécifié, apporte elle-même un critère d'appréciation de la qualité des données d'inventaire propre à ce niveau d'intégration (niveau système) : l'écart-type de complétude - resp. de représentativité - décrit la dispersion des caractéristiques qualitatives de complétude - resp. représentativité - pour tous les processus élémentaires inclus à l'intérieur des frontières du système complet spécifié. Ce paramètre est utile pour évaluer : **l'homogénéité / robustesse de la qualité de complétude des processus élémentaires** au niveau d'un système spécifié, et - resp. **la cohérence / pertinence de la représentativité des processus élémentaires** au niveau du système spécifié -.

V.4 Qualification de la méthode de définition du système

Objectif : il ne s'agit pas de qualifier dans l'absolu le niveau de justesse théorique d'un système spécifié, ce qui serait de peu d'utilité pratique. Le but recherché est de rendre compréhensible le niveau de transparence, de cohérence et de pertinence des règles de décision utilisées au cours de la définition du système pour faciliter la sélection : a) des processus élémentaires à modéliser ; b) des entrants et des sortants à quantifier au niveau des processus élémentaires.

La nécessité de considérer la "fidélité" se pose car les ACV exécutées sur des systèmes présumés identiques (par exemple ACV matériaux) dans des circonstances présumées identiques ne donnent pas, en général, des résultats identiques. Ceci est attribué à des erreurs aléatoires inévitables, inhérentes à toute procédure d'essai ; les facteurs qui influencent le résultat d'un inventaire ACV ne peuvent pas tous être complètement contrôlés. Dans l'interprétation pratique des données d'inventaire ACV, cette variabilité doit être prise en compte.

Deux composantes contribuent à la variabilité des résultats de l'inventaire ACV :

- une composante méthodologique liée aux conditions de définition du système,
- une composante aléatoire liée à l'incertitude sur les grandeurs, survenant sous des conditions de répétabilité des choix méthodologiques.

Ce chapitre traite de la composante méthodologique.

V.4.1 Règles de définition de l'unité fonctionnelle et du flux de référence

Lorsqu'on définit le champ d'une étude d'analyse du cycle de vie, il faut spécifier de manière claire les caractéristiques de performance (fonction) du produit. C'est l'unité fonctionnelle qui permet de quantifier les fonctions ainsi identifiées.

Une unité fonctionnelle sert principalement de référence à partir de laquelle sont normalisées les données d'entrée et de sortie. Il faut donc que l'unité fonctionnelle soit clairement définie et mesurable.

S'agissant d'une unité fonctionnelle donnée, il faut mesurer la quantité de produit nécessaire pour remplir la fonction. Le résultat de la mesure est le flux de référence.

Ce flux de référence sert ensuite à calculer les entrants et les sortants correspondant à la performance du système. C'est sur la base des flux de référence que s'effectuent les comparaisons entre systèmes pour une même fonction mesurée par la même unité fonctionnelle.

Exemple : dans la fonction de séchage des mains, à la fois la serviette en papier et un système de séchage à air sont étudiés. L'unité fonctionnelle choisie peut être exprimée en termes du nombre de "mains séchées" identique pour les deux systèmes. Pour chaque système, il est possible de déterminer les flux de référence différents, c'est-à-dire le poids moyen de papier ou le volume d'air chaud requis pour un séchage. Pour les deux systèmes, il est possible de compiler un inventaire des entrants et des sortants sur la base des flux de référence.

Pour un système donné, la valeur du flux peut varier selon la valeur prise par certains paramètres n'apparaissant pas explicitement dans l'inventaire des entrants et sortants : par exemple le poids moyen de papier est défini par l'équation suivante : $\text{kg papier} = \text{surface de la serviette (en m}^2\text{)} \times \text{épaisseur (en mm)} \times \text{masse volumique du papier (en g / cc)}$. Or certains de ces paramètres d'influence peuvent affecter les résultats de l'inventaire, par exemple dans le cas où la capacité absorbante d'une serviette papier est variable selon l'épaisseur de la serviette.

Les conditions de répétabilité de la méthode d'obtention des données d'inventaire ACV sont meilleures si les paramètres affectant la valeur du flux de référence sont explicitement définis et si l'étendue de leur variabilité propre est contrôlée. L'utilisation de tels critères pour fixer le flux de référence améliore la fidélité de la description de l'unité fonctionnelle.

V.4.2 Règles de définition des frontières initiales du système

La frontière des systèmes définit les processus élémentaires qui seront inclus dans le système à modéliser. Dans l'idéal, il convient de modéliser le système de produits de telle sorte que les entrants et sortants à ses frontières soient des flux élémentaires. Dans de nombreux cas, il n'y a cependant ni assez de temps, ni assez de données, ni assez de ressources pour effectuer une étude aussi complète. Des décisions doivent donc être prises concernant les processus élémentaires à modéliser et le niveau de détail auquel ces processus sont étudiés.

Toute décision d'omettre des étapes du cycle de vie, des processus ou des données doit être clairement indiquée et justifiée. Les critères utilisés pour fixer les frontières du système doivent dicter le degré de confiance nécessaire pour garantir que les résultats de l'étude n'ont pas été compromis et que l'objectif d'une étude donnée sera atteint.

La confiance à accorder aux résultats de l'inventaire ACV est plus grande si les règles d'inclusion / exclusion des processus élémentaires dans les frontières du système sont contrôlées c'est-à-dire si les critères utilisés sont : a) transparents, b) justifiés, c) appliqués de façon homogène. L'utilisation de tels critères pour fixer les règles d'inclusion / exclusion des processus élémentaires améliore la fidélité de la définition des frontières du systèmes.

V.4.3 Critères pour l'inclusion initiale des entrants et des sortants

Le choix de l'ensemble initial des entrants et des sortants pour l'inventaire se fait pendant la phase de définition du champ de l'étude, au cours d'une démarche itérative. Dans la pratique, pour les entrants sous forme de matières, l'analyse commence par une sélection initiale de ceux à étudier. Cette sélection se fonde généralement sur une identification préalable des entrants associés à chacun des processus élémentaires à modéliser. Ensuite, le but est d'identifier les entrants significatifs associés à chacun des processus élémentaires ; en général, cette analyse initiale est fondée sur l'identification des entrants qui représentent plus qu'un niveau défini de masse. Ceci réalisé, l'étape suivante consiste à déterminer les entrants à inclure.

Dans la pratique, plusieurs critères sont retenus dans les ACV pour décider des entrants à étudier, à savoir : 1) la masse, 2) l'énergie et 3) la pertinence environnementale. Le fait d'identifier initialement les entrants sur la base de la masse seule peut entraîner l'omission d'entrants importants. Il est recommandé dans le document provisoire de la norme ISO 14041 d'utiliser, en plus du critère masse, les critères d'énergie et de pertinence environnementale de la façon suivante :

- 1) la masse : une bonne règle de décision, lorsque la masse est utilisée comme critère, est d'inclure dans l'étude tous les entrants qui, cumulés, contribuent au-delà d'un pourcentage défini à l'entrant massique du système de produits à modéliser ;
- 2) l'énergie : de même, il convient d'établir un critère pour décider de l'inclusion dans l'étude, des entrants qui, cumulés, contribuent au-delà d'un pourcentage défini aux entrants énergétiques du système de produits ;
- 3) la pertinence environnementale : des règles sont en général établies pour décider des critères de pertinence environnementale afin d'inclure les entrants qui contribuent au-delà d'un pourcentage défini supplémentaire à la participation quantitative estimée de chaque catégorie individuelle de données du système de produits. Par exemple, si la catégorie de données sélectionnées comprend les oxydes de soufre, un critère pourrait être établi afin d'inclure tous les entrants qui contribuent au-delà d'un pourcentage défini supplémentaire aux rejets totaux d'oxydes de soufre pour le système de produits.

Ces critères peuvent également être utilisés pour identifier les sortants qu'il convient de faire remonter à l'environnement, c'est-à-dire en incluant les procédés de traitement final des déchets.

La confiance à accorder aux résultats de l'inventaire ACV est plus grande si les règles d'inclusion / exclusion des entrants et sortants du système sont robustes, c'est-à-dire si les critères sont à la fois d'ordre massique, énergétique et environnemental et qu'ils sont appliqués sur le système dans son ensemble (et non au niveau de chaque processus considéré isolément). L'utilisation d'une telle combinaison de critères pour fixer les règles d'inclusion / exclusion des entrants et sortants du système améliore la fidélité de la représentation du système.

V.4.4 Principes d'affectation et règles d'allocation

La construction des résultats de l'inventaire du cycle de vie est fondée sur la possibilité de relier les processus élémentaires au sein d'un système global par de simples flux de matières ou d'énergie. Dans la pratique, peu de procédés industriels donnent un seul sortant ou sont fondés sur une linéarité des entrants et sortants de matières premières. En fait, pour la plupart, les procédés industriels donnent plusieurs produits, et ils recyclent les produits intermédiaires ou rejetés comme les matières premières. Les principes d'affectation s'appliquent aux co-produits, à l'affectation de l'énergie interne, aux services (transport, traitement des déchets) et au recyclage, en boucle ouverte ou fermée :

Dans le cadre de cette étude, nous n'avons pas réussi à définir les critères permettant de dicter le degré de confiance dans la méthode utilisée pour fixer les affectations.

Evaluation de la Qualité des Données d'Inventaire des ACV

TOME 2

**Guide Méthodologique à l'Usage des
Industriels membres de RE.CO.R.D.**

**BIO INTELLIGENCE
SERVICE**

*Eric Labouze
Isabelle Blanc*



*Patrick Rousseaux
Valérie Gaveglia*

**LAEPSI
POLDEN**

février 1998

Sommaire général

MODE D'EMPLOI DU GUIDE	3
PARTIE 1 : LES FICHES METHODOLOGIQUES	6
PARTIE 2 : APPLICATION DE LA METHODOLOGIE A UN CAS CONCRET	49

Mode d'emploi du guide

➤ Le guide méthodologique

L'objectif de l'étude RE.CO.R.D a été de réaliser un guide pratique et directement applicable. Ce guide méthodologique est articulé autour de la définition de 29 fiches méthodologiques (dont une par composante de qualité). Ce guide comporte un mode d'emploi simple et pédagogique constitué de deux tables de repérage introductives aux fiches. Ces fiches ont été rédigées avec le souci d'inclure :

- la manière d'utiliser cette méthodologie,
- l'illustration permanente à l'aide d'exemples,
- l'analyse des difficultés éventuelles d'application de cette méthode à travers des remarques et commentaires pertinents.

➤ Les étapes de qualification des données d'un inventaire ACV

1. Qualification d'un inventaire ACV

- Définition des objectifs de qualité

La définition des objectifs de qualité fait partie intégrante de la phase de définition des objectifs d'une analyse de cycle de vie. Cette définition des objectifs de qualité revient à indiquer le seuil acceptable pour chaque composante de qualité (exemple : si le seuil est de 3, les scores 1, 2 et 3 sont dits "acceptables", alors que 4 et 5 sont dits "non acceptables"). Les seuils d'acceptabilité peuvent être définis de façon indépendante selon les composantes.

- Attribution des scores de qualité

Il s'agit d'attribuer des notes aux flux, processus et système sur la base des matrices définies pour chaque composantes des 5 indicateurs de qualité : exactitude, incertitude, complétude, représentativité et répétabilité.

2. Evaluation de la qualité : le traitement des scores

- L'analyse de la qualité globale de l'inventaire est obtenue à l'aide du coefficient d'acceptabilité. Il s'agit ici de confronter les scores de qualité obtenus à l'étape précédente avec les seuils d'acceptabilité pour chaque composante de qualité.
- L'analyse de la cohérence et l'évaluation du potentiel d'amélioration de la qualité sont obtenues à l'aide du coefficient de variabilité.

3. Interprétation des résultats

Les résultats de l'évaluation de la qualité des données d'un inventaire ACV sont exprimés de manière synthétique par les coefficients d'acceptabilité et les coefficients de variabilité.

- Une lecture directe des coefficients d'acceptabilité permet d'identifier les bonnes et mauvaises performances associées à des processus particuliers ou à des flux spécifiques, par rapport aux objectifs définis au préalable.
- La lecture directe des coefficients de variabilité permet de cerner les efforts à fournir afin d'améliorer le niveau de qualité des données.

Dans le cas où les résultats de l'évaluation ne correspondent pas aux objectifs prédéfinis, il est nécessaire de mener une réflexion complémentaire. Cette réflexion doit aboutir à l'acceptation ou au rejet de la donnée concernée de manière argumentée. Il est également envisageable de reconsidérer les objectifs de qualité, voire de modifier l'objectif même de l'ACV.

TABLE DE REPERAGE DES FICHES METHODOLOGIQUES

QUALIFICATION D'UN INVENTAIRE ACV : l'attribution des scores de qualité	Les scores de qualité : caractérisation des composantes qualitatives	Composante n°1	Représentativité statistique des données	Fiche n°1
		Composante n°2	Age des données	Fiche n°2
		Composante n°3	Méthode d'acquisition des données	Fiche n°3
		Composante n°4	Exhaustivité des flux spécifiés	Fiche n°4
		Composante n°5	Niveau d'agrégation des flux	Fiche n°5
		Composante n°6	Equilibre du bilan masse	Fiche n°6
		Composante n°7	Représentativité géographique	Fiche n°7
		Composante n°8	Représentativité temporelle	Fiche n°8
		Composante n°9	Représentativité technique	Fiche n°9
		Composante n°10	Règles de définition de l'unité fonctionnelle	Fiche n°10
		Composante n°11	Règles d'inclusion/exclusion des processus	Fiche n°11
		Composante n°12	Règles d'inclusion/exclusion des flux	Fiche n°12
		Composante n°13	Règles d'allocation	Fiche n°13
		Composante n°14	Variabilité des données et plages d'incertitudes	Fiche n°14
	Mise en cohérence des scores de qualité : définition des indicateurs de la qualité	Indicateur n°1	Justesse des données d'inventaire	Fiche n°15
		Indicateur n°2	Complétude des données d'inventaire	Fiche n°16
		Indicateur n°3	Représentativité des données d'inventaire	Fiche n°17
		Indicateur n°4	Répétabilité de la méthode	Fiche n°18
		Indicateur n°5	Incertaince sur les données d'inventaire	Fiche n°19
EVALUATION DE LA QUALITE : le traitement des scores	Définition des objectifs de qualité		Niveaux de détermination des seuils d'acceptabilité	Fiche n°20
	Analyse de la qualité globale	Indicateur de performance : niveau d'acceptabilité des données (Technique 1)	Définition du coefficient d'acceptabilité	Fiche n°21
			L'index de qualité pour chaque donnée d'inventaire	Fiche n°22
			L'index au niveau de chaque processus et du système complet	Fiche n°23
	Analyse de la cohérence et évaluation du potentiel d'amélioration de la qualité	Indicateur de gestion de performance : niveau de dispersion des scores (Technique 2)	Définition du coefficient de variabilité des scores de qualité	Fiche n°24
			Variabilité des scores de justesse au niveau d'un processus	Fiche n°25
			Variabilité des scores de justesse au niveau du système complet	Fiche n°26
			Variabilité des scores de la composante "exhaustivité des flux" au niveau du système complet	Fiche n°27
			Variabilité des scores de la composante "agrégation des flux" au niveau du système complet	Fiche n°28
GESTION DE LA QUALITE	Présentation des résultats		Suivi de la qualité des données d'un inventaire ACV	Fiche n°29

TECHNIQUE DE SELECTION DES FICHES METHODOLOGIQUES

	<u>OBJECTIF ?</u>			<u>CRITERE ?</u>					<u>NIVEAU ?</u>			<u>OBJET ?</u>		
	QUALIFIER	EVALUER	GERER	JUSTESSE	INCERTITUDE	COMPLETEUDE	REPRESENTATIV.	REPETABILITE	FLUX	PROCESSUS	SYSTEME	METHODE ET REGLES	NATURE DES DONNEES	DONNEES QUANTITATIVES
Fiche n°1														
Fiche n°2														
Fiche n°3														
Fiche n°4														
Fiche n°5														
Fiche n°6														
Fiche n°7														
Fiche n°8														
Fiche n°9														
Fiche n°10														
Fiche n°11														
Fiche n°12														
Fiche n°13														
Fiche n°14														
Fiche n°15														
Fiche n°16														
Fiche n°17														
Fiche n°18														
Fiche n°19														
Fiche n°20														
Fiche n°21														
Fiche n°22														
Fiche n°23														
Fiche n°24														
Fiche n°25														
Fiche n°26														
Fiche n°27														
Fiche n°28														
Fiche n°29														

Partie 1 : Les Fiches Méthodologiques



Sommaire de la partie 1

CHAPITRE I	La méthode de qualification des données : l'attribution des scores de qualité	8
I.1	Présentation des 14 composantes de la qualité des données d'inventaire dans les ACV et description des modalités d'attribution des scores de qualité	8
FICHE 1 :	Représentativité statistique des données (niveau du FLUX)	9
FICHE 2 :	Age des données (niveau du FLUX)	10
FICHE 3 :	Méthode d'acquisition des données (niveau du FLUX)	11
FICHE 4 :	Exhaustivité des flux spécifiés (niveau du PROCESSUS)	12
FICHE 5 :	Niveau d'agrégation des flux spécifiés (niveau du PROCESSUS)	14
FICHE 6 :	Equilibre du bilan masse (niveau du PROCESSUS)	15
FICHE 7 :	Représentativité géographique (niveau du PROCESSUS)	16
FICHE 8 :	Représentativité temporelle (niveau du PROCESSUS)	17
FICHE 9 :	Représentativité technique (niveau du PROCESSUS)	18
FICHE 10 :	Règles de définition de l'unité fonctionnelle (niveau SYSTEME)	19
FICHE 11 :	Règles d'inclusion / exclusion des processus (niveau SYSTEME)	20
FICHE 12 :	Règles d'inclusion / exclusion des flux (niveau SYSTEME)	21
FICHE 13 :	Règles d'allocation (niveau SYSTEME)	23
FICHE 14 :	Variabilité des données et plage d'incertitude des résultats	24
I.2	Description des 5 indicateurs de la qualité des données d'inventaire dans les ACV	25
FICHE 15 :	Indicateur 1 : Justesse des données au niveau du flux	26
FICHE 16 :	Indicateur 2 : Complétude des données au niveau du processus	27
FICHE 17 :	Indicateur 3 : Représentativité des données au niveau du processus	28
FICHE 18 :	Indicateur 4 : Répétabilité de la méthode de définition du système	29
FICHE 19 :	Indicateur 5 : Incertitude sur les données d'inventaire au niveau du système	30
CHAPITRE II	La méthode d'évaluation de la qualité : le traitement des scores de qualité	34
FICHE 20 :	Définition des objectifs de qualité des données	35
FICHE 21 :	Technique n°1 = Définition du coefficient d'acceptabilité des scores de qualité	37
FICHE 22 :	L'index de qualité pour chaque donnée de l'inventaire	38
FICHE 23 :	L'index de qualité au niveau de chaque processus et du système complet	39
FICHE 24 :	Technique n°2 = Définition du coefficient de variabilité des scores de qualité	40
FICHE 25 :	Intégration de l'indicateur de justesse au niveau d'un processus	42
FICHE 26 :	Intégration de l'indicateur de justesse au niveau du système complet	43
FICHE 27 :	Intégration de la composante " exhaustivité des flux" au niveau du système complet	45
FICHE 28 :	Intégration de la composante "agrégation des flux" au niveau du système complet	46
CHAPITRE III	La méthode de gestion de la qualité : l'utilisation des scores de qualité	47
FICHE 29 :	Présentation d'un tableau de bord pour le suivi de la qualité des données	48

CHAPITRE I LA METHODE DE QUALIFICATION DES DONNEES :
L'ATTRIBUTION DES SCORES DE QUALITE

**I.1 Présentation des 14 composantes de la qualité des données d'inventaire dans les
ACV et description des modalités d'attribution des scores de qualité**

Composante n°1 : REPRESENTATIVITE STATISTIQUE DES DONNEES AU NIVEAU DU FLUX

1 - Objet : Chaque flux quantifié au niveau de chaque processus élémentaire de l'ACV.

2 - Objectif

Le but recherché est de rendre compréhensible le niveau de confiance que l'on peut accorder à la valeur numérique d'une donnée d'inventaire exprimant l'ampleur d'un flux au niveau d'un processus élémentaire (terminologie ISO/DIS 14040). L'écart entre le résultat et la valeur présumée vraie de la grandeur mesurée dépend de la reproductibilité des conditions de la mesure. Cette justesse peut être caractérisée par une première composante : le niveau de représentativité statistique d'une donnée d'inventaire.

3 - Procédure de notation semi-quantitative sur une échelle à 5 modalités :

<u>Score</u>	<u>Critère</u>
1 :	Donnée obtenue à partir d'un échantillon significatif du point de vue temporel et constitué d'un nombre d'observations suffisant (> 30)
2 :	Donnée obtenue à partir d'un échantillon significatif du point de vue temporel mais constitué d'un nombre limité d'observations (< 30)
3 :	Donnée obtenue à partir d'un nombre limité d'observations.
4 :	Donnée obtenue à partir d'une observation isolée
5 :	Représentativité inconnue.

4 - Exemples

a) consommation d'énergie électrique d'un poste de travail sur une ligne de production industrielle : si la valeur utilisée dans l'inventaire résulte d'une moyenne effectuée à partir de relevés mensuels, le score assigné au flux correspondant sera 2 : la donnée est obtenue à partir d'un échantillon significatif du point de vue temporel (un an) mais l'échantillon comprend 12 valeurs (<30)¹.

b) rejet d'un composé organique spécifié dans l'eau, issu d'un procédé de traitement de surface : il s'agit d'un composé dont les rejets ne sont pas réglementés et une mesure seulement a été effectuée, si bien que le score assigné à ce flux est 4.

5 - Qualification des inventaires ACV issus des bases de données publiques ou commercialisées.

La représentativité statistique des données d'inventaire ACV issues des bases de données aujourd'hui disponibles n'est pratiquement jamais qualifiée. Or l'utilisation de données bibliographiques est toujours plus ou moins souhaitable en vue d'optimiser les coûts de collecte des données.

Recommandation :

Dans le cas de données bibliographiques dont la représentativité statistique n'est pas qualifiée, une solution pourrait consister à comparer les données issues de plusieurs bases de données et de construire une nouvelle échelle de notation selon l'amplitude des écarts observés entre bases différentes. L'alternative est d'assigner la note "5" : représentativité inconnue.

¹ Il devrait être un multiple de 12 pour pouvoir prendre en compte les variations saisonnières et être > 30.

Composante n°2 : AGE DES DONNEES AU NIVEAU DU FLUX

1 - Objet : chaque flux quantifié au niveau de chaque processus élémentaire de l'ACV.

2 - Objectif

Le but recherché est de rendre compréhensible le niveau de confiance que l'on peut accorder à la valeur numérique d'une donnée d'inventaire exprimant l'ampleur d'un flux au niveau d'un processus élémentaire (selon la terminologie ISO/DIS 14040). L'écart entre le résultat et la valeur présumée vraie de la grandeur mesurée dépend de la justesse des conditions de la mesure. Cette justesse est parfois caractérisée par une seconde composante : l'âge de la donnée.

3 - Procédure de notation semi- quantitative sur une échelle à 5 modalités :

<u>Score</u>	<u>Critère : Age de la donnée</u>
1 :	Récente (< 2 ans)
2 :	2 - 5 ans
3 :	5 - 10 ans.
4 :	10 - 15 ans
5 :	Age inconnu.

4 - Exemple

- consommation d'énergie électrique d'un poste de travail sur une ligne de production industrielle : si la valeur utilisée dans l'inventaire résulte d'une moyenne effectuée à partir des relevés mensuels des années précédents l'étude, le score assigné au flux correspondant sera 1 ;
- supposons maintenant que l'on cherche à évaluer la consommation d'une machine à partir des relevés susmentionnés et de paramètres tels que le rendement énergétique de la machine. La dernière mesure du rendement date de plus de 2 ans. Le score du flux "consommation d'énergie" de la machine considérée sera alors 2.

5 - Un score à manier avec discernement

- l'échelle proposée ci-dessus a été choisie car elle figure dans la bibliographie ACV, mais la graduation doit être adaptée aux objectifs de l'étude et autre type de donnée.
- lorsqu'une donnée est issue d'un calcul faisant intervenir des constantes physiques (dont la justesse ne dépend évidemment pas de l'âge), seul l'âge des variables du système ou du processus étudié sont à considérer.
- lorsqu'une donnée provient d'un calcul mettant en jeu plusieurs variables du système ou du processus, la qualification ne devra porter que sur les données dont la valeur peut être modifiée au cours du temps. Par exemple, si la valeur d'un flux quantifié de l'inventaire ACV dépend du volume d'un local (m³) et que ce volume est resté le même depuis 10 ans (par exemple un atelier de production dans une usine), il est évident que ce paramètre ne devra pas affecter le score assigné au flux spécifié.
- lorsqu'une donnée provient d'un calcul mettant en jeu plusieurs variables dont les valeurs peuvent évoluer au cours du temps, son score pourrait être celui de la variable ayant le score le plus défavorable; exemple : soit la quantité de rejet R estimée à partir de la valeur de deux variables X (âge < 2 ans, score = 1) et Y (âge 2-5 ans, score = 2), alors R prend le score 2.

6 - Limite actuelle de l'approche : la qualification des données prospectives

L'échelle proposée ne prévoit pas la qualification des données prospectives. En attendant une version ultérieure de ce guide, deux solutions peuvent être utilisées : a) l'âge peut se référer à la date des hypothèses de simulation (dans ce cas, le score sera le plus souvent égal à 1); b) non qualification de l'âge des données prospectives.

Composante n°3 : METHODE D'ACQUISITION DES DONNEES

AU NIVEAU DU FLUX

1 - Objet : chaque flux quantifié au niveau de chaque processus élémentaire de l'ACV.

2 - Objectif

Le but recherché est de rendre compréhensible le niveau de confiance que l'on peut accorder à la valeur numérique d'une donnée d'inventaire exprimant l'ampleur d'un flux au niveau d'un processus élémentaire (selon la terminologie ISO/DIS 14040). Cette confiance dépend de la méthode d'acquisition de la donnée. Il s'agit de garantir la mise en place d'une procédure de contrôle des données figurant dans l'inventaire, afin de limiter l'introduction d'erreurs manifestes dans les opérations de calcul ou de traitement des données. L'indicateur de justesse est caractérisé par une troisième composante : la méthode d'acquisition des données.

3 - Procédure de notation semi- quantitative sur une échelle à 5 modalités :

Score Critère : Méthode d'acquisition de la donnée

- 1 : Donnée calculée ou mesurée ayant fait l'objet d'une validation par un vérificateur externe non impliqué dans l'étude
- 2 : Donnée calculée ou mesurée ayant fait l'objet d'une vérification
- 3 : Donnée calculée ou mesurée n'ayant pas fait l'objet d'une vérification
- 4 : Donnée estimée par un expert
- 5 : Donnée dont l'origine n'est pas connue

4 - Exemple

Avertissement : La notion de "vérification" ne doit pas être prise dans un sens trop restrictif : il ne s'agit pas nécessairement d'une vérification expérimentale, celle-ci pouvant parfois exiger des moyens lourds et coûteux. Il s'agit de garantir la mise en place d'une procédure de contrôle des données figurant dans l'inventaire, afin de limiter l'introduction d'erreurs manifestes dans les opérations de calcul ou de traitement des données. Exemples :

- a) quantification des rejets atmosphériques associés à l'incinération d'un composé : si le modèle utilisé et les résultats des calculs figurant dans l'inventaire ont été vérifiés, alors le score de qualité pour chacun des flux spécifiés sera égal à 1 ou 2, selon le niveau d'indépendance du vérificateur. Si celui-ci est un collègue appartenant à la même organisation que celui ayant réalisé les calculs, le score sera égal à 2, tandis que s'il s'agit d'un vérificateur externe et compétent, le score sera 1.
- b) dans certains cas, la valeur d'un flux donné à la sortie d'une machine n'a jamais été mesurée et aucun modèle de calcul ne permet de l'évaluer. La valeur utilisée dans l'inventaire provient d'une estimation formulée par le responsable du site ou de l'atelier. Dans ce cas, le score assigné sera égal à 4.

5 - Un score à manier avec discernement

- a) l'échelle proposée ci-dessus a été choisie car elle figure dans la bibliographie ACV, mais la graduation doit être adaptée aux objectifs de l'étude;
- b) lorsqu'une donnée est issue d'un calcul faisant intervenir plusieurs variables, la vérification doit porter sur chacune d'entre elles et sur la bonne application de la formule de calcul.
- c) lorsqu'une donnée provient d'un calcul mettant en jeu plusieurs variables dont les valeurs n'ont pas toutes été vérifiées, son score devrait être celui de la variable ayant le score le plus défavorable.

Composante n°4 : EXHAUSTIVITE DES FLUX SPECIFIES

AU NIVEAU DU PROCESSUS

1 - Objet : nature des flux spécifiés au niveau de chaque processus élémentaire de l'ACV.

2 - Objectif

Le but recherché est de rendre compréhensible le niveau de fidélité que l'on peut accorder à la description d'un processus élémentaire. Cette fidélité dépend du niveau d'exhaustivité des types de flux spécifiés au niveau de chaque processus. Il s'agit de garantir le caractère complet des flux figurant dans l'inventaire au niveau de chaque processus étudié.

3 - Procédure de notation semi- quantitative sur une échelle à 5 modalités :

Score Critère : Exhaustivité des flux spécifiés au niveau d'un processus

- 1 :** Par comparaison avec la bibliographie, il n'y a pas de différence significative dans la nature des flux identifiés.
- 2 :** Par comparaison avec la bibliographie, quelques flux sont manquants mais leur importance qualitative est mineure compte tenu des objectifs de l'étude.
- 3 :** Par comparaison avec la bibliographie, quelques flux qualitativement importants sont manquants. Leur proportion est inférieure à x% du nombre de flux totaux pour le processus.
- 4 :** Par comparaison avec la bibliographie, la proportion des flux qualitativement importants qui sont manquants est supérieure à x% du nombre de flux totaux pour le processus.
- 5 :** Aucune recherche bibliographique n'a été effectuée et il n'est pas possible de connaître le nombre et/ou le type de flux manquants.

4 - Exemple

Au niveau du processus élémentaire Pi, l'écart entre le nombre de flux identifiés dans cette étude et le nombre de flux répertoriés dans la bibliographie est inférieur à 20% (13 flux sont identifiés et 2 seraient manquants : rejets de plomb dans l'air, de phénol dans l'eau). Le score assigné sera alors de 3, compte tenu également du seuil de 20% fixé au niveau de la définition des objectifs.

5 - Conditions générales d'utilisation de la grille de qualification proposée

- Le niveau d'exhaustivité des flux identifiés au niveau d'un processus élémentaire ne peut pas être jugé dans l'absolu mais seulement par comparaison avec des inventaires de référence portant sur le même processus ou, le cas échéant, sur un processus très proche. De fait, cette composante de complétude ne pourra pas être qualifiée lors de l'étude d'un nouveau processus.
- La notion de flux ayant une importance qualitative significative est introduite dans la grille. Dans l'absolu il s'agit d'une notion sans base légitime. Cette notion n'est définie que par référence aux objectifs de l'étude ACV et aux classes d'impacts analysées le cas échéant: un flux peut alors revendiquer la qualification "significatif" si sa prise en compte est susceptible de modifier les conclusions de l'étude.

- L'utilisation de cette grille de qualification passe au préalable par la définition d'un seuil servant à fixer la limite acceptable du ratio : nombre de flux manquants / nombre de flux identifiés. Dans le cadre de cette étude, aucun seuil n'est fixé en raison du manque de retour d'expérience. La détermination de ce seuil doit être cohérent avec le niveau d'exigence relatif à la qualité des données, ce niveau étant fixé dès la phase de définition des objectifs d'une étude ACV.

6 - Recommandation pratique : la grille est utile pour qualifier les données bibliographiques

Il ressort du paragraphe précédent que, dans la pratique, d'importants obstacles s'opposent à la mise en œuvre de la grille dans sa configuration actuelle. Compte tenu de l'importance de la composante qualitative concernée (exhaustivité des flux), il serait déraisonnable de l'ignorer et d'opter pour l'abandon pur et simple de ce critère. Il ne faut pas perdre de vue que la grille proposée est facilement applicable

Composante n°5 : NIVEAU D'AGREGATION DES FLUX SPECIFIES

AU NIVEAU DU PROCESSUS

1 - Objet : nature des flux spécifiés au niveau de chaque processus élémentaire de l'ACV.

2 - Objectif

Le but recherché est de rendre compréhensible le niveau de fidélité que l'on peut accorder à la description d'un processus élémentaire. Cette fidélité dépend du niveau d'agrégation des flux spécifiés au niveau de chaque processus. Il s'agit de garantir le caractère complet des flux figurant dans l'inventaire au niveau de chaque processus étudié par cette second composante.

3 - Procédure de notation semi- quantitative sur une échelle à 5 modalités :

Score Critère : Niveau d'agrégation des flux spécifiés au niveau d'un processus

- 1 : Aucune mesure de flux n'a été agrégée.
- 2 : Des mesures de flux non importants (qualitativement) ont été agrégées.
- 3 : Des mesures de flux non importants (qualitativement) ayant des propriétés environnementales voisines ont été agrégées.
- 4 : Des mesures de flux non importants (qualitativement) ayant des propriétés environnementales différentes ont été agrégées.
- 5 : Le type d'agrégation entre les mesures de flux différents n'est pas connu.

4 - Exemple

- Score 3 : les 2 flux entrants : eau de refroidissement et eau de process ont été agrégés ; les 2 flux sortants : déchets organiques et déchets inertes ont été agrégés.
- Score 4 : dans la rubrique « rejets eau », les flux de plomb, mercure, zinc et cadmium ont été regroupés sous la rubrique « métaux ».

5 - Conditions générales d'utilisation de la grille de qualification proposée

1. La grille fait référence à la notion de flux qualitativement importants. Dans l'absolu, il s'agit d'une notion sans base légitime. Cette notion n'est définie que par référence aux objectifs de l'étude ACV et aux classes d'impacts analysées le cas échéant: un agrégat de flux peut alors revendiquer la qualification "important" si la prise en compte isolée des flux déconsolidés est susceptible de modifier les conclusions de l'étude.
2. La notion de "propriétés environnementales voisines" est introduite dans la grille. Ici aussi, cette notion est définie par référence aux objectifs de l'étude ACV et aux classes d'impacts analysées : deux flux sont considérés comme voisins si la prise en compte de chacun d'eux séparément n'est pas susceptible de modifier les conclusions de l'étude, en tenant compte des incertitudes introduites par l'entrée de valeurs individuelles dans le modèle d'analyse des impacts approprié.
3. Dans l'échelle proposée, le critère de différenciation est totalement indépendant du nombre de flux concernés. C'est un critère entièrement qualitatif visant à qualifier la cohérence environnementale des agrégats, et non leur importance quantitative.
4. Une telle échelle a été conçue pour être robuste, c'est-à-dire que de petites variations dans le niveau de pertinence environnementale des agrégats ne produisent pas de grandes modifications dans l'appréciation du critère.
5. Il est bon de regarder l'échelle proposée comme une proposition préliminaire, qui pourra être améliorée lorsque nous disposerons d'un retour d'expérience suffisant.
6. La méthode de qualification proposée est sans ambiguïté et complète.

Composante n°6 : EQUILIBRE DU BILAN MASSE**AU NIVEAU DU PROCESSUS**

1 - Objet : l'ensemble des flux pour chaque processus.

2 - Objectif

Le but recherché est de rendre compréhensible le niveau de fidélité que l'on peut accorder à la description d'un processus élémentaire. Cette fidélité dépend du niveau d'équilibre du bilan masse au niveau de chaque processus. Il s'agit de garantir le caractère complet des flux figurant dans l'inventaire au niveau de chaque processus étudié par cette troisième composante.

3 - Procédure- quantitative

Il s'agit simplement de calculer le bilan massique au niveau de chaque processus.

4 - Mode de calcul du bilan massique et exemple

La troisième composante servant à qualifier la complétude de chaque processus élémentaire spécifié est évaluée par le paramètre quantitatif suivant :

Erreur massique absolue [en kg] (processus) = [\sum entrants (kg) - \sum sortants (kg)] (1)
--

Ce paramètre peut être exprimé sous forme relative de différentes façons :

Erreur massique relative moyenne [en % de la masse totale des flux identifiés] (processus): [\sum entrants (kg) - \sum sortants (kg)] / ([\sum entrants (kg) + \sum sortants (kg)]) (2)

Cette expression décrit la proportion massique manquante dans le bilan global du processus.

Exemple : total des entrants : 10kg et total des sortants corrigés (cf ci-dessous) 9 kg . Le paramètre prend la valeur 5.26 %, ce qui signifie qu'il manque 5.26% de la masse totale des flux quantifiés.

Erreur massique relative sur les entrants [en % de la masse totale des entrants] (processus) [\sum entrants (kg) - \sum sortants (kg)] / [\sum entrants (kg)] (3)

Cette expression décrit la proportion massique des entrants "perdus".

Dans l'exemple, on obtient 10% selon l'expression (3), ce qui signifie qu'il manque en sortie 10% de la masse totale des entrants.

Erreur massique relative sur les sortants [en % de la masse totale des sortants] (processus) [\sum entrants (kg) - \sum sortants (kg)] / [\sum sortants (kg)] (4)

Cette expression décrit la proportion massique des sortants manquants.

Dans l'exemple : on obtient 11,11% selon l'expression (4), ce qui signifie qu'il manque au bilan 11,11% de la masse totale des sortants quantifiés.

Composante n°7 : REPRESENTATIVITE GEOGRAPHIQUE AU NIVEAU DE CHAQUE PROCESSUS

1 - Objet : chaque processus du système complet qualifié.

2 - Objectif

Le but recherché est de rendre compréhensible le niveau de fidélité que l'on peut accorder à la description d'un processus élémentaire. Cette fidélité dépend de la représentativité géographique associée à celui-ci. Il s'agit de garantir la transparence en terme de représentativité pour chaque processus constituant le système complet par cette première composante.

3 - Procédure de notation semi- quantitative sur une échelle à 5 modalités :

Score Critère : Représentativité géographique d'un processus

- 1 :** Données correspondant à un processus, en relation directe avec le champ de l'étude
- 2 :** Données moyennes correspondant à un processus, issues d'études dont le champ englobe l'étude actuelle
- 3 :** Données correspondant à un processus, issues d'études dont le champ est différent mais dont les conditions sont analogues
- 4 :** Données correspondant à un processus, issues de conditions légèrement différentes
- 5 :** Données correspondant à un processus, issues d'une étude dont le cadre n'est pas bien connu ou bien est issue d'un cadre très différent

4 - Exemple

ACV de la bouteille en matériau M commercialisée par l'industriel X en France. Le processus élémentaire analysé est celui relatif à la production d'1 kg de M. X a un seul fournisseur pour le matériau M, localisé en France.

- Score 1 : Les données proviennent directement du site de production du fournisseur.
- Score 2 : Les données proviennent de la moyenne de tous les sites de production du fournisseur situés en France.
- Score 3 : Les données proviennent de la moyenne de tous les sites de production européens du fournisseur.
- Score 4 : Les données proviennent du site de production situé en Allemagne du fournisseur.
- Score 5 : Les données proviennent d'une source bibliographique dont la représentativité géographique n'est pas indiquée.

Composante n°8 : REPRESENTATIVITE TEMPORELLE AU NIVEAU DE CHAQUE**PROCESSUS**

1 - Objet : chaque processus du système complet qualifié.

2 - Objectif

Le but recherché est de rendre compréhensible le niveau de fidélité que l'on peut accorder à la description d'un processus élémentaire. Cette fidélité dépend de la représentativité temporelle associée à celui-ci. Il s'agit de garantir la transparence en terme de représentativité pour chaque processus constituant le système complet par cette deuxième composante.

3 - Procédure de notation semi- quantitative sur une échelle à 5 modalités :

Score Critère : Représentativité temporelle d'un processus

- 1 : Données récentes (moins de deux ans) ou bien en relation directe avec le champ de l'étude
- 2 : Moins de 5 ans
- 3 : Moins de 10 ans
- 4 : Moins de 15 ans
- 5 : Inconnue ou > 15 ans

4 - Un score à manier avec discernement

Ce critère fait référence à la modélisation du processus dans son ensemble; il ne fait pas référence à l'âge des données caractéristiques des entrants et sortants. Par exemple, le modèle de production électrique peut être récent sans que les données d'inventaire le soient nécessairement. Dans ce cas, cela signifie simplement que les proportions relatives entre les différentes sources d'énergie primaire font références à des données récentes, mais l'âge des données relatives aux entrants et sortants associés à chacune de ces sources n'est pas nécessairement récent. (cas où l'on actualise un modèle mais non les données sources).

Composante n°9 : REPRESENTATIVITE TECHNIQUE AU NIVEAU DE

CHAQUE PROCESSUS

1 - Objet : chaque processus du système complet qualifié.

2 - Objectif

Le but recherché est de rendre compréhensible le niveau de fidélité que l'on peut accorder à la description d'un processus élémentaire. Cette fidélité dépend de la représentativité technique associée à celui-ci. Il s'agit de garantir la transparence en terme de représentativité pour chaque processus constituant le système complet avec cette troisième composante.

3 - Procédure de notation semi- quantitative sur une échelle à 5 modalités :

Score Critère : Représentativité technique d'un processus

- 1 : Données relatives au processus provenant directement de l'industriel concerné ou en relation directe avec l'étude
- 2 : Données relatives au même processus ou matériau mais provenant d'une entreprise différente
- 3 : Données relatives au même processus ou matériau mais utilisant une technologie différente
- 4 : Données provenant d'un processus ou matériau différent mais proche, et utilisant la même technologie
- 5 : Données relatives à un processus ou matériau différent mais proche, et utilisant une technologie différente ou non connue.

4 - Exemple

ACV de la bouteille en matériau M commercialisée par l'industriel X en France. Le processus élémentaire analysé est celui relatif à la production d'1 kg de M.

- Score 1 : Les données relatives à la fabrication de M proviennent directement du site de production du fournisseur.
- Score 2 : Les données relatives à la fabrication de M proviennent de la moyenne interprofessionnelle de tous les fabricants de M utilisant la technologie T.
- Score 3 : Les données relatives à la fabrication de M proviennent de la moyenne interprofessionnelle de tous les fabricants de M utilisant tout type de technologie.
- Score 4 : Les données proviennent de la fabrication du matériau M' qui est un matériau produit dans des conditions analogues à celles du matériau M.
- Score 5 : Les données proviennent d'une source bibliographique relative à la production du matériau M'.

Composante n°10 : REGLES DE DEFINITION DE L'UNITE FONCTIONNELLE**AU NIVEAU DU SYSTEME**

1 - Objet : Le système complet.

2 - Objectif

Le but recherché est de rendre compréhensible le niveau de fidélité que l'on peut accorder à la description d'un système complet. Cette fidélité dépend des règles de définition de l'unité fonctionnelle au niveau du système. Il s'agit de garantir la répétabilité de la méthode de définition du système complet à l'aide de cette première composante.

3 - Procédure de notation semi- quantitative sur une échelle à 5 modalités :

Score Critère : **Règles de définition de l'unité fonctionnelle (UF)**

- 1 :** UF est au minimum composée d'une manière explicite des 3 unités suivantes :
- unité de fonction : service rendu
 - unité de produit : masse, volume,...
 - unité de temps

En fonction de l'objectif de l'ACV, d'autres unités peuvent être rajoutées comme par exemple : unité de confort, d'esthétique,...

- 2 :** UF est au minimum composée d'une manière implicite des 3 unités précédentes
3 : UF est au minimum composée d'une manière explicite de 2 des 3 unités précédentes
4 : UF est au minimum composée d'une manière explicite de 1 des 3 unités précédentes
5 : UF n'est pas définie

4 - Exemple

- Score 1 : quantité de peinture nécessaire pour couvrir une surface S pendant une durée t.
- Score 2 : 100 litres d'emballages comme UF, en considérant dans l'étude les masses de matériaux correspondantes et le taux de recyclage des emballages.
- Score 3 : quantité de peinture nécessaire pour couvrir une surface S.
- Score 4 : quantité de peinture.

Composante n°11 : REGLES D'INCLUSION/EXCLUSION DES PROCESSUS

AU NIVEAU DU SYSTEME

1 - Objet : Le système complet.

2 - Objectif

Le but recherché est de rendre compréhensible le niveau de fidélité que l'on peut accorder à la description d'un système complet. Cette fidélité dépend des règles d'inclusion/exclusion des processus au niveau du système. Il s'agit de garantir la répétabilité de la méthode de définition du système complet à l'aide de cette deuxième composante.

3 - Procédure de notation semi- quantitative sur une échelle à 5 modalités :

Score Critère : Règles d'inclusion/exclusion des processus du système

- | | |
|-----|--|
| 1 : | Transparentes, justifiées, appliquées de façon homogène |
| 2 : | Transparentes, justifiées, mais non appliquées de façon homogène |
| 3 : | Transparentes, mais non justifiées et appliquées de façon non homogènes |
| 4 : | Non transparentes sur les règles d'exclusion mais spécification des règles d'inclusion |
| 5 : | Critères inconnus |

4 - Exemple

- Score 1 : Les processus liés aux étapes de fabrication et maintenance des biens d'équipement, ainsi qu'aux opérations de maintenance telles que éclairage ou chauffage, sont exclues du champ de l'étude parce que l'objectif de l'étude est de dresser l'inventaire ACV de la production marginale de 1000 UF.
- Score 2 : Les processus élémentaires liés à l'élimination des déchets de production et des produits sont inclus dans les frontières du système mais, dans la pratique, les étapes de traitement des déchets de production des fournisseurs de matière première n'ont pu être modélisées **dans tous les cas** en raison d'un manque de données.
- Score 3 : Les opérations de traitement des rejets en eau des sites industriels de la séquence principale de fabrication du produit sont exclues du champ de l'étude.
- Score 4 : Cas général lorsqu'aucune règle d'exclusion n'est indiquée alors que par ailleurs les différentes étapes du cycle de vie incluses dans le champ de l'étude sont précisément indiquées. Le score 4 est justifié par le simple fait que les règles d'exclusion sont nécessairement adoptées mais qu'aucune n'est mentionnée.

Composante n°12 : REGLES D'INCLUSION/EXCLUSION DES FLUX

AU NIVEAU DU SYSTEME

1 - Objet : Le système complet.

2 - Objectif

Le but recherché est de rendre compréhensible le niveau de fidélité que l'on peut accorder à la description d'un système complet. Cette fidélité dépend des règles d'inclusion/exclusion des flux au niveau du système. Il s'agit de garantir la répétabilité de la méthode de définition du système complet à l'aide de cette troisième composante.

3 - Procédure de notation semi- quantitative sur une échelle à 5 modalités :

Score Critère : Règles d'inclusion/exclusion des flux du système

- | | |
|------------|--|
| 1 : | 3 critères cumulés sur le système <ul style="list-style-type: none"> • critère massique cumulé, et • critère énergétique cumulé, et • pertinence environnementale |
| 2 : | 1 critère cumulé sur le système <ul style="list-style-type: none"> • critère massique cumulé, ou • critère énergétique cumulé, ou • pertinence environnementale |
| 3 : | 2 critères non cumulés sur système <ul style="list-style-type: none"> • critère massique / processus, ou • critère énergétique / processus |
| 4 : | 2 critères non cumulés sur système <ul style="list-style-type: none"> • critère massique / processus, ou • critère énergétique / processus |
| 5 : | Critères inconnus |

4 - Exemple

- Score 1 : Tous les entrants, contribuent au-delà d'un pourcentage défini :
 - ⇒ à l'entrant massique du système de produits ; le % choisi est 90%
 - ⇒ aux entrants énergétiques du système de produits ; le % choisi est 90 %
 - ⇒ un critère de pertinence environnementale se surimpose à cette règle : les entrants considérés selon la classification de l'IRC comme cancérigènes ou potentiellement cancérigènes pour l'homme ne sont pas exclus. En conséquence, les entrants exclus sont les suivants : ...
- Score 2 : tous les entrants qui, cumulés, contribuent au-delà d'un pourcentage défini à l'entrant massique du système de produits, le pourcentage choisi est de 90 %. En conséquence, les entrants exclus sont les suivants :...
- Score 3 : Tous les entrants qui contribuent au-delà d'un pourcentage défini :
 - ⇒ à l'entrant massique de chaque processus élémentaire, le % choisi est 90%
 - ⇒ aux entrants énergétiques de chaque processus élémentaire ; le % choisi est 90%
 - ⇒ Les entrants exclus sont les suivants :
- Score 4 : tous les entrants qui contribuent au-delà d'un pourcentage défini à l'entrant massique de chaque processus élémentaire, le pourcentage choisi est 90%.les entrants exclus sont les suivants : ..

5 - Conditions générales d'utilisation de la grille de qualification proposée

L'utilisation de cette grille de qualification passe au préalable par la définition d'un seuil servant à fixer la limite pour chacun de ces critères (massiques, énergétiques, pertinence environnementale). Dans cette version du guide méthodologique, aucun seuil n'a été fixé en raison de la grande variabilité des études. La détermination de ce seuil doit être cohérent avec le niveau d'exigence relatif à la qualité des données, ce niveau étant fixé dès la phase de définition des objectifs d'une étude ACV.

Composante n°13 : REGLES D'ALLOCATION

1 - Objet : Le système complet.

2 - Objectif

Le but recherché est de rendre compréhensible le niveau de fidélité que l'on peut accorder à la description d'un système complet. Cette fidélité dépend des règles d'allocation des flux au niveau du système. Il s'agit de garantir la répétabilité de la méthode de définition du système complet à l'aide de cette quatrième composante.

3 - Procédure de notation semi-quantitative sur une échelle à 5 modalités

Score Critère : Règles d'allocation

- 1 : Transparentes, justifiées et pertinentes, appliquées de façon homogène
- 2 : Transparentes, justifiées et pertinentes, mais non appliquées de façon homogène
- 3 : Transparentes, justifiées mais manifestement non pertinentes
- 4 : Transparentes, non justifiées et appliquées de façon non homogène
- 5 : Non transparentes

4 - Exemple

- Score 2 : Soit un système industriel rejetant deux types de déchets : des boues et des métaux. Les boues font l'objet d'un traitement à la chaux en vue d'un amendement agricole. Ce traitement à la chaux sera imputé au système émetteur de boues et au système exploitant ces boues, en appliquant une répartition de type 50/50 par exemple. Les métaux quant à eux font l'objet d'un traitement spécifique avant d'être collectés par un récupérateur. Ce traitement sera entièrement imputé au système émetteur car en l'absence de traitement, pour ce cas précis, les métaux ne présentent aucune valeur marchande. Les règles d'allocation sont, dans cet exemple, transparentes, justifiées mais ne sont pas appliquées de façon homogène au niveau de l'ensemble du système.
- Score 5 : Cas lorsqu'aucune règle d'allocation n'est indiquée alors que le système fait l'objet d'un recyclage en boucle ouverte par exemple. Le score 5 est justifié par le simple fait que les règles d'allocation sont nécessairement adoptées mais qu'aucune n'est mentionnée.

Composante n°14 : VARIABILITE DES DONNEES ET PLAGE D'INCERTITUDE**DES DONNEES**

1 - Objet : Chaque flux quantifié au niveau d'un processus.

2 - Objectif

Le but recherché est de rendre compréhensible le niveau de confiance que l'on peut accorder à la valeur numérique d'une donnée d'inventaire exprimant l'ampleur d'un flux au niveau d'un processus. Cette confiance dépend de la plage d'incertitude de chacun des flux au niveau du processus. Il s'agit de garantir la transparence en terme d'incertitude des flux au niveau du processus.

3 - Procédure de qualification de l'incertitude des données

L'incertitude est définie par une étendue et par une loi de probabilité⁽¹⁾. L'étendue est définie, dans le contexte d'un échantillon de mesures, comme l'écart entre la plus petite et la plus grande valeur observée⁽²⁾. Cette définition de l'étendue s'applique au contexte des données de l'inventaire. Qualifier l'incertitude des flux d'un processus revient à estimer la plage d'incertitude pour chacun d'eux. Cette plage d'incertitude peut s'exprimer soit sous la forme d'un intervalle avec une valeur minimale et une valeur maximale autour de la moyenne du flux, soit en pourcentage (+ ou -) de la valeur moyenne du flux.

¹ La loi de probabilité d'une variable aléatoire unidimensionnelle est définie comme toute relation permettant de déterminer la probabilité que la variable aléatoire prenne une valeur donnée quelconque ou une valeur appartenant à un ensemble donné quelconque de valeurs. La probabilité étendue à l'ensemble des valeurs possibles de la variable est égale à l'unité. (Norme NFX06002, "Vocabulaire des probabilités")

² Norme NFX06003, "Vocabulaire de la statistique"

I.2 Description des 5 indicateurs de la qualité des données d'inventaire dans les ACV

Cinq indicateurs sont définis afin de rendre compte :

⇒ **de la fidélité** des circonstances dans lesquelles les données d'inventaire ont été obtenues. Il s'agit en fait d'établir les conditions de répétabilité de l'inventaire d'une ACV.

- Indicateur 2 : Complétude des données au niveau du processus
- Indicateur 3 : Représentativité des données au niveau du processus
- Indicateur 4 : Répétabilité de la méthode de définition du système

⇒ **du niveau de confiance** à accorder aux données

- Indicateur 1 : Justesse des données au niveau de chacun des flux
- Indicateur 5 : Incertitude sur les données d'inventaire au niveau du système

La répartition des 14 composantes de la qualité des données d'inventaire, décrites précédemment, selon ces 5 indicateurs de qualité, sont représentées ci-dessous.

LES 5 INDICATEURS DE QUALITE DES DONNEES

FICHE n°15	n°1 : <u>JUSTESSE</u> (niveau flux)	1- Représentativité statistique des données 2- Age des données 3- Méthode d'acquisition des données
FICHE n°16	n°2 : <u>COMPLETUDE</u> (niveau processus)	4- Exhaustivité des flux identifiés 5- Agrégation des flux 6- Equilibre du bilan masse
FICHE n°17	n°3 : <u>REPRESENTATIVITE</u> (niveau processus)	7- Géographique 8- Temporelle 9- Technique
FICHE n°18	n°4 : <u>REPETABILITE</u> (niveau système)	10- Règles définition UF 11- Règles inclusion / exclusion processus 12- Règles inclusion / exclusion flux 13- Règles d'allocation
FICHE n°19	n°5 : <u>INCERTITUDE</u> (niveau flux & système)	14- Variabilité des données (propagation sur le système)

INDICATEUR 1 : JUSTESSE DES DONNEES

Composante Score	Représentativité statistique	Age des données	Méthode d'acquisition des données
1	Donnée obtenue à partir d'un échantillon significatif du point de vue temporel et constitué d'un nombre d'observations suffisant (>30)	Récente (< 2 ans)	Donnée calculée ou mesurée ayant fait l'objet d'une validation par un vérificateur externe non impliqué dans l'étude
2	Donnée obtenue à partir d'un échantillon significatif du point de vue temporel mais constitué d'un nombre limité d'observations < 30)	2 - 5 ans	Donnée calculée ou mesurée ayant fait l'objet d'une vérification
3	Donnée obtenue à partir d'un nombre limité d'observations	5 - 10 ans	Donnée calculée ou mesurée n'ayant pas fait l'objet d'une vérification
4	Donnée obtenue à partir d'une observation isolée	10 - 15 ans	Donnée estimée selon un expert
5	Représentativité inconnue	Age inconnu	Origine inconnue

Indicateur n°1 : JUSTESSE DES DONNEES

AU NIVEAU DU FLUX

1 - Objet : chaque flux au niveau de chaque processus du système complet.

2 - Objectif

Le but recherché est de rendre compréhensible le niveau de confiance que l'on peut accorder à la valeur numérique d'une donnée d'inventaire exprimant l'ampleur d'un flux au niveau d'un processus élémentaire. Cette confiance dépend du niveau de justesse des données.

3 - Définition de l'indicateur de justesse

3 composantes servent à qualifier l'indicateur de justesse d'un flux : la représentativité statistique des données (composante n°1), l'âge des données (composante n°2), la méthode d'acquisition des données (composante n°3).

Les 3 composantes ne sont pas séparées : l'erreur systématique qui affecte la valeur d'un flux découle de l'influence cumulée de ces trois composantes.

4 - Variante proposée pour la définition de l'indicateur de justesse

On peut envisager cet indicateur de justesse comme la somme des 3 composantes. Afin d'avoir une évaluation globale, il serait acceptable d'agréger, par souci de simplicité, les 3 composantes en un seul terme ; mais il faut bien garder à l'esprit que cette procédure est une perte d'information et que, de plus, elle permet à une très mauvaise évaluation pour un critère de qualité d'être compensée par une très bonne évaluation pour un autre critère. Dans la pratique, nous recommandons d'utiliser un indicateur de justesse défini comme la moyenne des scores de chacune des 3 composantes.

5 - Exemple d'évaluation de l'indicateur de justesse (au niveau d'un flux)

Considérons le flux CO₂, du processus élémentaire n°i caractérisé par les scores 4, 2 et 3 sur chacune des 3 composantes suivantes : représentativité statistique, âge des données et méthode d'acquisition. La valeur de l'indicateur de biais du flux CO₂, pour ce processus élémentaire est : $(4+2+3) / 3 = 3$.

INDICATEUR 2 (niveau processus) : COMPLETEUDE DES DONNEES

Composante Score	Exhaustivité des flux	Agrégation des flux	Equilibre du bilan masse
1	Par comparaison avec la bibliographie, pas de différence significative dans la nature des flux identifiés	Aucun flux n'est agrégé	Paramètre quantitatif directement calculé (cf chapitre correspondant)
2	Par comparaison à la bibliographie, quelques flux manquants mais leur importance qualitative est mineure compte tenu des objectifs de l'étude	Des flux qualitativement non importants sont agrégés	
3	Par comparaison avec la bibliographie, quelques flux qualitativement importants sont manquants. Leur proportion est inférieure à x% du nombre de flux totaux pour le processus	Des flux qualitativement importants ayant des propriétés environnementales voisines sont agrégés	
4	Par comparaison avec la bibliographie, la proportion des flux qualitativement importants qui sont manquants est supérieure à x% du nombre de flux totaux pour le processus	Des flux qualitativement importants ayant des propriétés environnementales différentes sont agrégés	
5	Aucune recherche bibliographique n'a été effectué et il n'est pas possible de connaître le nombre ni le type de flux manquants	Le type d'agrégation entre flux différents n'est pas connu	Bilan massique non calculé

Indicateur n°2 : COMPLETUE DES DONNEES

AU NIVEAU DU PROCESSUS

1 - Objet : chaque processus du système complet qualifié.

2 - Objectif

Le but recherché est de rendre compréhensible le niveau de fidélité que l'on peut accorder à la description d'un processus élémentaire. Cette fidélité dépend du niveau de complétude associé à celui-ci.

3 - Définition de l'indicateur de complétude

Les 3 composantes servant à qualifier la complétude d'un processus élémentaire ne peuvent pas être intégrées dans un seul indicateur: le type d'erreur introduit par chacune de ces composantes est fondamentalement différent et le biais de complétude ne se réduit pas à la moyenne de l'influence cumulée de ces trois composantes, :

- ⇒ la composante "niveau d'exhaustivité des flux" introduit un biais dans la fidélité de la représentation du processus élémentaire spécifié; il s'agit d'une erreur aléatoire qui ne peut être qualifiée que de façon relative,
- ⇒ la composante "agrégation des flux" n'introduit pas d'erreur dans la description du processus mais modifie la **résolution** de l'inventaire;
- ⇒ la composante "équilibre du bilan massique" introduit une erreur de **justesse** dans la représentation du processus élémentaire spécifié; il s'agit d'un biais systématique qui peut être calculé.

Note: En théorie l'omission de certains flux (au point de vue qualitatif) doit se répercuter automatiquement au niveau de l'équilibre du bilan massique du processus, celui-ci devant laisser apparaître un écart. En réalité, il s'agit le plus souvent de flux de faible importance quantitative si bien que leur valeur peut être confondue avec les incertitudes cumulées sur l'ensemble des flux identifiés. Dans la pratique, l'observation d'un écart dans le bilan massique d'un processus n'est pas utilisée comme un signal indiquant l'existence de flux manquants, mais comme un signal révélant une erreur, d'origine indéterminée, portant sur les valeurs mesurées.

4 - Format de présentation de l'indicateur de complétude

L'indicateur de complétude d'un processus élémentaire est simplement défini par le triplet de valeurs, correspondant à chacun des scores attribués aux deux composantes qualitatives (exhaustivité des flux, agrégation des flux) et à la valeur quantitative de l'erreur massique relative sur les entrants. La composante "exhaustivité des flux" n'est qualifiée que dans le cas où des données bibliographiques sont utilisées.

INDICATEUR 3 (niveau processus) : REPRESENTATIVITE DU PROCESSUS

Composante Score	Représentativité Géographique	Représentativité Temporelle	Représentativité Technique
1	En relation directe avec le champ de l'étude	Récente (< 2 ans) ou en relation directe avec le champ de l'étude	Données provenant directement de l'industriel concerné ou en relation directe avec l'étude
2	Données moyennes issues d'études dont le champ englobe l'étude actuelle	Moins de 5 ans	Données relatives au même procédé ou matériau mais provenant d'une entreprise différente
3	Données issues d'études dont le champ est différent mais dont les conditions sont analogues	Moins de 10 ans	Données relatives au même procédé ou matériau mais se référant à une technologie différente
4	Données issues de conditions légèrement différentes	Moins de 15 ans	Données provenant d'un procédé ou matériau différent mais proche, mais se référant à la même technologie
5	Données issues d'une étude dont le cadre géographique n'est pas connu ou est très différent	> 15 ans ou inconnue	Données provenant d'un procédé en fonctionnement autre que celui qui est étudié

Indicateur n°3 : REPRESENTATIVITE**AU NIVEAU DU PROCESSUS**

1 - Objet : chaque processus du système complet qualifié.

2 - Objectif

Le but recherché est de rendre compréhensible le niveau de fidélité que l'on peut accorder à la description d'un processus élémentaire. Cette fidélité dépend du niveau de représentativité associé à celui-ci.

3 - Définition de l'indicateur de représentativité

Les 3 composantes (composante géographique n°7, composante temporelle n°8, composante technique n°9) servant à qualifier la complétude d'un processus élémentaire ne peuvent pas être intégrées dans un seul indicateur.

4 - Format de présentation de l'indicateur de représentativité

Cet indicateur est simplement défini par le triplet de valeurs, correspondant à chacun des scores attribués aux 3 composantes qualitatives définies.

INDICATEUR 4 : REPETABILITE AU NIVEAU DU SYSTEME

Composante Score	Règles d'inclusion / exclusion des processus	Règles d'inclusion / exclusion des flux	Règles de définition de l'unité fonctionnelle	Règles d'allocation
1	<ul style="list-style-type: none"> • Transparents • Justifiés • Application homogène 	3 critères cumulés sur le système : <ul style="list-style-type: none"> • critère massique cumulé, et • critère énergétique cumulé, et • pertinence environnementale 	UF est au minimum composée d'une manière explicite des 3 unités suivantes : fonction, produit, temps	<ul style="list-style-type: none"> • Transparents • Justifiés et pertinentes • Application homogène
2	<ul style="list-style-type: none"> • Transparents • Justifiés • Non application homogène 	1 critère cumulé sur le système : <ul style="list-style-type: none"> • critère massique cumulé, ou • critère énergétique cumulé, ou • pertinence environnementale 	UF est au minimum composée d'une manière implicite des 3 unités précédentes	<ul style="list-style-type: none"> • Transparents • Justifiés et pertinentes • Non application homogène
3	<ul style="list-style-type: none"> • Transparents • Non justifiés • Non application homogène 	2 critères non cumulés sur système <ul style="list-style-type: none"> • critère massique / processus, et • critère énergétique / processus 	UF est au minimum composée d'une manière explicite de 2 des 3 unités précédentes	<ul style="list-style-type: none"> • Transparents • Justifiés mais manifestement non pertinentes
4	Non transparence sur les règles d'exclusion mais spécification des règles d'inclusion.	1 critère non cumulé sur système <ul style="list-style-type: none"> • critère massique / processus, ou • critère énergétique / processus 	UF est au minimum composée d'une manière explicite de 1 des 3 unités précédentes	<ul style="list-style-type: none"> • Transparents • Non justifiés • Non application homogène
5	Critères inconnus	Critères inconnus	UF n'est pas définie	Non transparentes

Indicateur n°4 : REPETABILITE**AU NIVEAU DU SYSTEME**

1 - Objet :le système complet qualifié.

2 - Objectif

Le but recherché est de rendre compréhensible le niveau de fidélité que l'on peut accorder à la description du système complet. Cette fidélité dépend du niveau de transparence en terme de répétabilité de la méthode de définition de celui-ci.

3 - Définition de l'indicateur de répétabilité

Les 4 composantes (composante n°10 Règles de définitions de l'UF, composante n°11 Règles d'inclusion/exclusion des processus, composante n°12 Règles d'inclusion/exclusion des flux et composante n°13 Règles d'allocation) servant à qualifier la répétabilité du système ne peuvent pas être intégrées dans un seul indicateur.

4 - Format de présentation de l'indicateur de répétabilité

Cet indicateur est simplement défini par le vecteur de valeurs, correspondant à chacun des scores attribués aux 4 composantes qualitatives définies (règles de définition de l'UF, règles d'inclusion/exclusion des processus, règles d'inclusion/exclusion des flux et règles d'allocation).

Indicateur n°5 : INCERTITUDE DES DONNEES

AU NIVEAU DU SYSTEME

1 - Objet : chaque flux au niveau du système complet.

2 - Objectif

Le but recherché est de rendre compréhensible le niveau de confiance que l'on peut accorder à la valeur numérique d'une donnée d'inventaire exprimant l'ampleur d'un flux au niveau d'un système complet. Cette confiance dépend de la plage d'incertitude de chacun des flux au niveau du système. Il s'agit de garantir la transparence en terme d'incertitude des flux au niveau du système complet

3 - La propagation des incertitudes au sein d'un système complexe

Que signifie évaluer l'incertitude d'un inventaire ? :

L'incertitude d'un inventaire revient, en fait, à estimer l'incertitude pour chacune des variables de sortie de celui-ci. Ces variables de sortie sont obtenues lors de la compilation d'un inventaire. Il s'agit donc d'estimer l'incertitude associée à chaque variable de sortie à partir des incertitudes des variables entrants d'un inventaire.

Lorsque plusieurs variables sont combinées ensemble, au sein d'un système, pour produire un résultat (variable de sortie pour un inventaire par exemple), il est souvent impossible, sauf cas simples, de calculer de façon analytique, l'incertitude du résultat final à partir de l'incertitude de chacune des données d'entrée et ceci pour plusieurs raisons.

En effet la propagation des incertitudes de l'ensemble des variables n'est possible, de façon analytique, uniquement si on considère que les lois de probabilités affectées à l'incertitude sur les variables sont de type normale ou log-normale et homogènes entre elles.

Or ceci n'est pas le cas des inventaires où nous sommes dans la majorité des cas :

- soit, en face d'incertitudes, relatives aux variables, dont les lois de probabilité sont inconnues,
- soit en face d'incertitudes dont les lois de probabilité sont hétérogènes

4 - Recommandations relatives au choix d'outil de propagation des incertitudes

Selon le niveau d'appréciation de ces incertitudes (étendue et lois de probabilité), le mode de calcul relatif à la propagation de ces incertitudes afin d'estimer l'incertitude des variables sortants de l'inventaire, différera et fera appel à des techniques spécifiques. Quelque soit le niveau de connaissance de l'incertitude des variables d'un inventaire, on peut toujours utiliser la méthode Monte-Carlo. Afin de répondre à des impératifs en terme de simplicité et de facilité de mise en œuvre de la méthodologie , il est proposer de sélectionner une méthode unique et fiable : la méthode Monte-Carlo.

5 - Description de la technique de Monte-Carlo

1. Formulation explicite des relations reliant la variable de sortie dont on désire estimer l'incertitude, et les données/variables d'entrée. Il faut noter que la nature des équations est libre et n'est en aucun cas restreint à des relations linéaires.
2. Définition des incertitudes associées à chacune des variables ou données d'entrée
Pour commencer, on associe un facteur de variation à chacune de ces variables. Ce facteur peut s'exprimer sous la forme d'une valeur absolue ou sous la forme d'un pourcentage par rapport à la valeur de la variable. Ce facteur de variation permet ainsi de définir un intervalle d'incertitude. Selon l'hypothèse retenue quant à la loi de distribution des variables, on peut donner à l'intervalle d'incertitude l'une des significations suivantes :
 - l'étendue des valeurs possibles (min-max) (hypothèse de loi de probabilité uniforme)
 - l'intervalle dans lequel se situent 67% des valeurs
 - l'intervalle dans lequel se situent 95% des valeurs
 - l'intervalle dans lequel se situent 99% des valeursPour les trois derniers cas, on prend l'hypothèse d'une loi de probabilité normale.
3. Tirage aléatoire au sein de chaque intervalle défini pour chaque variable d'entrée: pour chacune des variables sélectionnées, on tire un nombre au hasard, selon la loi de probabilité qui a été associée à la variable, dans l'intervalle préalablement défini au cours de l'étape 2.
4. Calcul de la variable de sortie de l'inventaire à partir des valeurs tirées à l'étape 3.
5. On "stocke" ce résultat et on recommence la procédure de calcul (étapes 3 et 4) plusieurs milliers de fois.
6. On obtient une courbe de distribution des fréquences de la variable de sortie. On détermine alors la moyenne et l'écart-type^a correspondant à l'ensemble des résultats et tout autre indicateur statistique permettant de déterminer la loi de probabilité obtenue.
7. On peut alors procéder au calcul de l'intervalle d'incertitude de la variable de sortie.

6 - Interprétation des résultats issus de la simulation Monte-Carlo

A partir de la courbe de distribution des fréquences obtenue pour la variable de sortie ayant fait l'objet des simulations Monte-Carlo, la moyenne, la médiane et l'écart-type ont pu être déterminés. Pour traduire ces paramètres en plage d'incertitude, il est nécessaire d'identifier la forme de la loi de probabilité obtenue. En effet, selon la loi de probabilité, le calcul de l'intervalle d'incertitude est le suivant :

- ⇒ l'intervalle peut être égal à l'étendue des valeurs obtenues, c'est à dire à la différence entre la valeur minimale et la valeur maximale obtenues. (cas général)
- ⇒ Si la loi de probabilité, obtenue pour la variable de sortie, a les caractéristiques d'une loi normale, l'intervalle peut être défini à partir de l'écart type et de la moyenne et correspond à :
 - 67 % des valeurs en prenant l'intervalle défini par "moyenne +/- Ecart type"
 - 95 % des valeurs en prenant l'intervalle défini par "moyenne +/- 2 * Ecart type"
 - 99 % des valeurs en prenant l'intervalle défini par "moyenne +/- 3 *Ecart type "

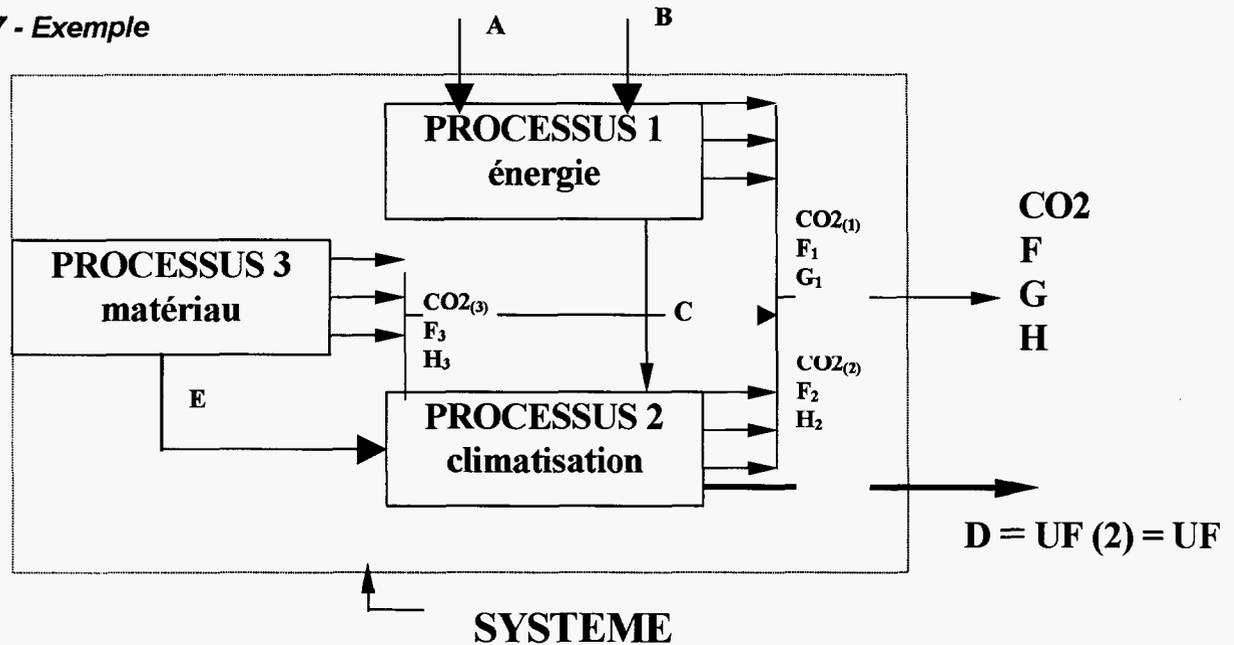
^a Ecart-type : Racine carrée positive de la variance. Variance : Moyenne arithmétique des carrés des différences entre les observations et leur m arithmétique. La variance est le moment centré d'ordre 2. Norme NFX 066003

⇒ Si la loi de probabilité, obtenue pour la variable de sortie, a les caractéristiques d'une loi log-normale, l'intervalle peut être défini à partir de la moyenne géométrique^b et de l'écart-type géométrique^c (Ecart-type_g) et correspond à :

- 67 % des valeurs en prenant l'intervalle défini par "moyenne géométrique / Ecart-type_g, moyenne géométrique * Ecart-type_g "
- 95 % des valeurs en prenant l'intervalle défini par " moyenne géométrique / (Ecart-type_g)², moyenne géométrique * (Ecart-type_g)²"
- 99 % des valeurs en prenant l'intervalle défini par " moyenne géométrique / (Ecart-type_g)³, moyenne géométrique * (Ecart-type_g)³"

Dans la réalité les distributions obtenues ne correspondent pas strictement à des lois normales ou log-normales. Il faudrait alors définir des critères de conformité afin d'assimiler ces distributions à des lois de probabilité particulières de façon à exploiter les modes de calculs adéquats pour calculer les intervalles d'incertitude.

7 - Exemple



Objectif 1 : estimer l'incertitude de la valeur du CO2 émis, connaissant l'incertitude associée aux variables permettant de calculer la variable CO2.

Objectif 2 : estimer la sensibilité du CO2 aux variables x, u,y,z,v.

Equations :

C = 1 kWh; D = 1 climatiseur en fonction pendant 5 ans (y compris combustion de gaz);

E = 1 kg de matériau.

$$\begin{aligned} \text{CO2}_{(1)} &= x * C & C &= u * D \text{ donc } \text{CO2}_{(1)} = x * u * D \\ \text{CO2}_{(2)} &= y * D \\ \text{CO2}_{(3)} &= z * E & E &= v * D \text{ donc } \text{CO2}_{(3)} = z * v * D \\ \text{CO2} &= \text{CO2}_{(1)} + \text{CO2}_{(2)} + \text{CO2}_{(3)} \text{ soit,} \end{aligned}$$

$$\text{CO2} = x * u * D + y * D + z * v * D$$

^b La moyenne géométrique correspondant à une loi de probabilité X, de type log-normale est égale à l'exponentielle de la moyenne arithmétique correspondant à la loi de probabilité ln(X). Elle peut également être approximée par la médiane de la loi de probabilité X. (d'après "Encyclopedia of statistical sciences", 1983, Wiley & Sons, Inc, pp 398-399).

^c L'écart-type géométrique correspondant à une loi de probabilité X, de type log-normale est égal à l'exponentielle de l'écart-type correspondant à la loi de probabilité ln(X). (d'après "Encyclopedia of statistical sciences", 1983, Wiley & Sons, Inc, pp 398-399).

Propagation des incertitudes avec la technique MONTE-CARLO

Résultats de l'exemple

NOTICE EXPLICATIVE
 Six variables (x, y, z, u, v, D) ont été utilisées pour calculer un résultat (CO2), selon la formule suivante :
 $CO2 = (x \cdot u \cdot D) \cdot (y^2 + z^2 + v^2)$
 Aux variables x, u, y, z, v est associé un intervalle d'incertitude. La méthode Monte Carlo consiste à tirer au hasard une valeur pour chacune de ces variables, dans l'intervalle d'incertitude qui a été défini, et de calculer ensuite le résultat final. Cette opération est recommandée 4000 fois. On décrit ensuite les caractéristiques de cet ensemble de résultats, comme sur cette feuille, à l'aide d'indicateurs tels que la moyenne, l'écart-type, etc.

Valeurs utilisées	x	u	y	z	v
	0,80	154200,00	102000,00	7,59	1600,00

Résultat des calculs	FACTEUR DE VARIATION DES VARIABLES AUTOUR DE LA MOYENNE (en % de la moyenne)			
	Scénario 1 (= 10% sauf D = 0%)	Scénario 2 (= 20% sauf D = 0%)	Scénario 3 (= 50% sauf D = 0%)	Scénario 4 (= 100% sauf D = 0%)
Moyenne	236778,49	236731,43	236628,96	235173,42
Médiane	236616,91	235820,29	230476,28	215607,07
Ecart type	11516,58	23506,79	58765,86	123617,86
Minimum	205323,79	174557,39	95823,11	6637,07
Maximum	269141,67	310072,86	443601,37	672525,97
Kurtosis	-0,42	-0,34	-0,21	0,03
Coefficient d'asymétrie	0,06	0,12	0,41	0,66
Fiche de synthèse				
Moyenne (M)				
Facteur de variation, en % de M (FV)	236778,49	236731,43	236628,96	235173,42
	9,7%	19,9%	49,7%	105,1%

Si la loi de probabilité est de type normale 95% des valeurs sont situées dans l'intervalle (M-FV; M+FV)

Fréquences de distribution des résultats



Résultat des calculs	FACTEUR DE VARIATION DES VARIABLES AUTOUR DE LA MOYENNE (en % de la moyenne)			
	Scénario 5 (= 10% sauf z=100% et D = 0%)	Scénario 6 (= 10% sauf y=100% et D = 0%)	Scénario 7 (= 10% sauf y=100% et D = 0%)	Scénario 8 (= 10% sauf y=100% et D = 0%)
Moyenne	236769,14	235292,40	235056,15	235292,40
Médiane	236616,07	235056,15	59498,89	235056,15
Ecart type	13523,38	194872,08	115639,08	115639,08
Minimum	194872,08	280177,42	359252,80	359252,80
Maximum	280177,42	-0,26	-1,12	-1,12
Kurtosis	0,03	0,03	0,05	0,05
Coefficient d'asymétrie				
Fiche de synthèse				
Moyenne (M)				
Facteur de variation, en % de M (FV)	236769,14	235292,40	235056,15	235292,40
	11,4%	50,6%	50,6%	50,6%

Si la loi de probabilité est de type normale 95% des valeurs sont situées dans l'intervalle (M-FV; M+FV)

Fréquences de distribution des résultats



Afin d'estimer l'incertitude sur la variable CO₂, on identifie l'incertitude sur les variables x, u, y, z et v. D est définie comme une constante dans cet exemple, et on considère l'incertitude associée comme nulle.

Hypothèse : on estime que l'incertitude associée aux variables x, u, y, z et v répondent à des lois de distribution uniforme.

6 scénarios ont été sélectionnés correspondant à des combinaisons différentes de facteurs de variations appliqués aux variables x, u, y, z et v.

Le tableau suivant donne les résultats correspondant à ces 6 scénarios. Pour chacun des scénarios, un facteur de variation a été calculé. Ce facteur de variation correspond à 2 fois l'écart-type exprimé en pourcentage de la moyenne de la distribution obtenue.

	x	u	y	z	v	D	CO₂ (kg)
Valeur	0.795	154 200	102 000	7.59	1 600	1	233 553
Facteur de variation (s1)	10%	10%	10%	10%	10%	0%	9.7 %
Facteur de variation (s2)	20%	20%	20%	20%	20%	0%	19.9 %
Facteur de variation (s3)	50%	50%	50%	50%	50%	0%	49.7 %
Facteur de variation (s4)	100%	100%	100%	100%	100%	0%	105.1 %
Facteur de variation (s5)	10%	10%	10%	100%	10%	0%	11.5 %
Facteur de variation (s6)	10%	10%	100%	10%	10%	0%	49.7^d %

Analyse des résultats :

- ⇒ Les courbes de distribution obtenues pour les scénarios 1, 2, 3 et 5 peuvent s'apparenter à des distributions normales. On peut donc appliquer les recommandations proposées concernant le calcul des plages d'incertitude pour les lois normales. Le facteur de variation ainsi calculé pour le CO₂ (dernière colonne) correspond à 95 % des valeurs comprises dans l'intervalle.
- ⇒ La courbe de distribution correspondant au scénario 4 s'apparente à une loi de type log-normale et le mode de calcul du facteur de variation diffère du précédent.
- ⇒ Pour le dernier scénario, la courbe de distribution est quelconque et s'apparente plutôt à une distribution uniforme. Ce résultat est logique puisqu'il restitue assez fidèlement la distribution de la variable dominante, "y" qui suit une loi uniforme. Dans ce cas, il n'est pas possible d'exprimer une plage d'incertitude autrement que par l'étendue des résultats.
- ⇒ Les résultats des deux derniers scénarios sont intéressants à analyser. On peut constater que la sensibilité du CO₂ est différente selon les variables.

Ainsi la sensibilité du CO₂ à la variable "z" est faible comme on peut le constater avec le facteur de variation associé au CO₂ qui reste faible (11.5 %, scénario 5) alors que celui donné pour "z" était important (100%). Par contre, la sensibilité du CO₂ à la variable "y" est importante puisque le facteur de variation associé au CO₂ (scénario 6) atteint dans ce cas près de 50 % (le facteur de variation donné au départ pour "y" était de 100 %).

^d Sans signification

CHAPITRE II

LA MÉTHODE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ : LE TRAITEMENT DES SCORES DE QUALITÉ

Définition des objectifs de qualité des données

1 - Objet : chaque flux, chaque processus et le système complet.

2 - Objectif

Une analyse de cycle de vie comporte toujours comme première étape, une étape de définition des objectifs et du champ de l'étude. Des exigences relatives à la qualité des données font partie de cette définition des objectifs (norme ISO 14041).

3 - Procédure de définition des objectifs de qualité

Cette définition du niveau d'exigence relatif à la qualité des données se décline selon plusieurs étapes :

1. le choix de la nature des caractéristiques qualitatives permettant d'évaluer la qualité des données (choix des indicateurs de qualité et des composantes);
2. le choix du niveau d'exigence correspondant à chaque composante de qualité. Il s'agit donc de définir les seuils d'acceptabilité relatif à chaque composante.

Cette procédure va permettre d'identifier pour chaque critère de qualité (justesse, incertitude, complétude, représentativité et répétabilité) quelles sont les exigences à respecter pour chaque étude ACV afin d'évaluer la qualité de celle-ci.

INDICATEUR	COMPOSANTE	DEFINITION	Exigence à définir
JUSTESSE	Composante n°1	Représentativité statistique des données	score
	Composante n°2	Age des données	"
	Composante n°3	Méthode d'acquisition des données	"
COMPLETUDE	Composante n°4	Exhaustivité des flux identifiés	"
	Composante n°5	Agrégation des flux	"
	Composante n°6	Equilibre du bilan masse	seuil
REPRESENTATIVITE	Composante n°7	Géographique	score
	Composante n°8	Temporelle	"
	Composante n°9	Technique	"
REPETABILITE	Composante n°10	Règles définition UF	"
	Composante n°11	Règles inclusion/exclusion processus	"
	Composante n°12	Règles inclusion/exclusion flux	"
	Composante n°13	Règles d'allocation	"
INCERTITUDE	Composante n°14	Variabilité des données	seuil

4 - Exemples

- Objectif pour la composante n°6, Equilibre du bilan masse :
⇒ seuil fixé à 95 % pour chaque processus.
- Objectif pour la composante n° 8, Représentativité géographique :
⇒ score fixé au niveau 1 (Données en relation directe avec le champ de l'étude pour chaque processus)

- Objectif pour la composante n°12, Règles d'inclusion/exclusion des flux :
 - ⇒ score fixé au niveau 1
 - ⇒ avec l'ajustement suivant : tous les entrants, contribuent au-delà d'un pourcentage défini :
 - ⇒ à l'entrant massif du système de produits ; le % choisi est 90%
 - ⇒ aux entrants énergétiques du système de produits ; le % choisi est 90%
 - ⇒ un critère de pertinence environnementale se surimpose à cette règle : les entrants considérés selon la classification de l'IRC comme cancérigènes ou potentiellement cancérigènes pour l'homme ne sont pas exclus.

5 - Développement à poursuivre

Compte tenu du traitement des scores de qualité, et plus particulièrement celui définissant les coefficients de variabilité des scores de qualité, le principe de définition d'objectifs de qualité pourrait être appliquée aux écart-types (calculés dans les fiches 24, 25, 26, 27 et 28). Dans le cadre de cette étude, aucun seuil n'a été proposé comme limite acceptable en raison du manque de retour d'expérience d'application de ces nouveaux indicateurs de qualité.

Technique n°1 : Définition du coefficient d'acceptabilité**des scores de qualité**

1 - Objet : les données au niveau des flux, processus et système complet.

2 - Objectif

Le but recherché est de disposer d'un outil permettant d'apprécier la qualité des données d'inventaire en vue d'accepter ces données ou bien de les rejeter.

Il s'agit donc de calculer un coefficient global sur la base des notes attribuées au niveau des flux, des processus ou du système.

3 - Mode de calcul

Le coefficient d'acceptabilité correspond à la proportion de notes acceptables sur l'ensemble des notes attribuées, selon une base d'acceptabilité prédéfinie.

Dans le cadre de la méthodologie d'évaluation de la qualité des données d'inventaire présentée dans ce rapport, les niveaux de mauvaise qualité des données correspondent aux notes (voir les grilles de qualification) :

- 4 : "très mauvais",
- 5 : "inconnu" ou "manque d'information pour qualifier les données".

(Nous rappelons le sens de la notation utilisée : de 1 à 5 : qualité décroissante)

Afin de mettre en valeur les flux, les processus ou le système ayant reçu de telles notes, nous avons choisi comme limite, ou seuil d'acceptabilité, la note de 3. De 1 à 3 (la note 3 étant incluse), les données sont estimées "acceptable", de 4 à 5, c'est la zone sombre, il est nécessaire de revenir sur la donnée.

→ exemple : pour l'index de qualité (1,2,3,2,5), le coefficient d'acceptabilité est de 80% (4 notes sur 5 sont inférieures ou égales à 3). Globalement, la qualité de la donnée est bonne. Il existe toutefois un point sombre (sur le 5^e critère) sur lequel il est nécessaire de revenir afin d'estimer si la donnée peut tout de même être utilisée ou bien s'il faut en trouver une autre.

Avantage du coefficient d'acceptabilité par rapport au calcul d'une moyenne

L'avantage d'utiliser un tel coefficient par rapport à une moyenne des notes peut être démontré à travers un exemple :

	Série 1	Série 2
donnée 1	5	3
donnée 2	1	3
donnée 3	2	2
Moyenne	8/3	8/3
Coefficient d'acceptabilité	2/3	3/3

La moyenne donne le même résultat pour les deux séries de données, alors que le coefficient d'acceptabilité est moins bon pour la série 1 que pour la série 2.

Il apparaît clairement que la moyenne induit des phénomènes de compensation des notes (ici, le 5 avec le 1), ce qui fausse le résultat final en faisant disparaître la note 5 et en mettant au même niveau de qualité les deux séries de données.

Le coefficient d'acceptabilité permet donc de limiter le phénomène de compensation des notes dans l'évaluation globale des flux, des processus et de l'inventaire.

L'index de qualité pour chaque donnée de l'inventaire

1 - Objet : chaque flux, processus et système sur l'ensemble des critères.

2 - Objectif

Le but recherché est de présenter les notes sous un format précis permettant ensuite l'interprétation des résultats.

Cette première approche consiste en un traitement horizontal des tableaux de résultats.

L'index de qualité contient les notes obtenues pour chaque critère ainsi que le coefficient d'acceptabilité associé.

3 - Exemple

Nous prenons l'exemple des flux considérés au niveau d'un processus (processus 1 du cas d'application).

Index de qualité pour chaque flux, processus et système

			FLUX						
			Justesse						
Valeur	Unité		J1	J2	J3				
580 Wh									
Processus 1 - Production d'électricité									
ENTRANTS									
Matières premières									
pétrole	552	g	2	2	1	(2,2,1)	100%		
Oxygène	196	g	1	2	1	(1,2,1)	100%		
SORTANTS									
Effluents liquides									
MES	1,74E-03	g	1	2	1	(1,2,1)	100%		
phénol	1,70E-05	g	1	2	1	(1,2,1)	100%		
HC non polycycliques	1,74E-04	g	1	2	1	(1,2,1)	100%		
Effluents gazeux									
poussières	0,065	g	1	2	1	(1,2,1)	100%		
CO	0,12	g	1	2	1	(1,2,1)	100%		
HC	7,00E-05	g	1	2	1	(1,2,1)	100%		
NOx	0,98	g	1	2	1	(1,2,1)	100%		
SO2	1,62	g	1	2	1	(1,2,1)	100%		
CH4	0,008	g	1	2	1	(1,2,1)	100%		
CO2	267,38	g	1	2	1	(1,2,1)	100%		
Déchets									
cendres	3,9	g	2	2	1	(2,2,1)	100%		
Sous-produits	469,3	g	2	2	1	(2,2,1)	100%		
			↓	↓	↓				
			100%	100%	100%				
			↓						
			(100%, 100%, 100%)						

L'index de qualité au niveau de chaque processus

et du système complet

1 - Objet : chaque processus et système pour chaque critère.

2 - Objectif

Le but recherché est de présenter les notes sous un format précis permettant ensuite l'interprétation des résultats.

Cette deuxième approche consiste en un traitement vertical des tableaux de résultats.

L'index de qualité contient **uniquement le coefficient d'acceptabilité** calculé pour chaque critère.

3 - Exemple

Nous prenons l'exemple des flux considérés dans un processus (processus 1 du cas d'application).

		FLUX				
		Justesse				
Valeur	Unité	J1	J2	J3		
580 Wh						
Processus 1 : Production d'électricité						
ENTRANTS						
Matières premières						
pétrole	552	g	2	2	1	(2,2,1) 100%
Oxygène	196	g	1	2	1	(1,2,1) 100%
SORTANTS						
Effluents liquides						
MES	1,74E-03	g	1	2	1	(1,2,1) 100%
phénol	1,70E-05	g	1	2	1	(1,2,1) 100%
HC non polycycliques	1,74E-04	g	1	2	1	(1,2,1) 100%
Effluents gazeux						
poussières	0,065	g	1	2	1	(1,2,1) 100%
CO	0,12	g	1	2	1	(1,2,1) 100%
HC	7,00E-05	g	1	2	1	(1,2,1) 100%
NOx	0,98	g	1	2	1	(1,2,1) 100%
SO2	1,62	g	1	2	1	(1,2,1) 100%
CH4	0,008	g	1	2	1	(1,2,1) 100%
CO2	267,38	g	1	2	1	(1,2,1) 100%
Déchets						
cendres	3,9	g	2	2	1	(2,2,1) 100%
Sous-produits	469,3	g	2	2	1	(2,2,1) 100%

100%	100%	100%
(100%, 100%, 100%)		

Index de qualité par critère
pour chaque processus et système

Technique n°2 : Définition du coefficient de variabilité

des scores de qualité

1 - Objet : chaque flux au niveau de chaque processus et chaque processus au sein du système complet

2 - Objectif

Le but recherché est d'évaluer la dispersion des scores de qualité obtenus pour un critère de qualité spécifié (l'une des treize composantes ou l'un des 5 indicateurs) à l'aide d'un nouvel indicateur que nous appelons : coefficient de variabilité.

Ce coefficient de variabilité peut être défini à deux niveaux :

- au niveau du processus, si le point de départ est un critère de qualité défini au niveau du flux : dans ce cas, ce qui est évalué est la dispersion des scores obtenus par l'ensemble des flux décrivant le processus ;
- au niveau du système complet : si le point de départ est un critère de qualité défini au niveau du processus : dans ce cas, ce qui est évalué est la dispersion des scores obtenus par l'ensemble des processus décrivant le système.

3 - L'intégration des scores de qualité au niveau du système complet : définition du coefficient de variabilité

- ⇒ Qualifier un processus de façon globale à partir de la qualification de chacun de ses flux n'est pas immédiate. Il est nécessaire de recourir à une méthode qui puisse prendre en compte le caractère hétérogène de chacun de ses flux (il n'est évidemment pas possible de considérer comme équivalents les flux entre eux et de sommer ou de moyenniser les scores de qualité correspondant). Il est par contre possible d'évaluer la dispersion des scores de qualité pour chacun des flux d'un même processus. Cette dispersion des scores peut être calculée à l'aide d'un écart-type. Cet écart-type représente ainsi un indicateur de la variabilité des scores de qualité affectés à chacun des flux.
- ⇒ Qualifier un système complet de façon globale à partir de la qualification de chacun des flux pose le même problème. L'intégration des scores de qualité au niveau du système complet va également être résolu en définissant un coefficient de variabilité, basé sur l'écart-type des scores de qualité de chacun des flux.
- ⇒ Enfin qualifier un système complet à partir de la qualification de chacun des processus pose également le même problème et l'exploitation du coefficient de variabilité permet d'intégrer les scores de qualité au niveau du système complet.

4 – Utilisation pratique du coefficient de variabilité

- Mise en garde : le coefficient de variabilité ne cherche pas à déterminer la valeur moyenne des scores de qualité : la définition d'une telle valeur moyenne reviendrait à compenser les scores élevés et les scores faibles, ce qui n'apporterait aucune information utile sur la qualité globale de l'inventaire ACV. Pour évaluer la qualité globale de l'inventaire, il faut toujours passer par la technique du coefficient d'acceptabilité défini à la fiche n°21. En revanche, le coefficient de variabilité fournit un image fidèle du degré d'homogénéité des scores de qualité : plus le coefficient est élevé plus les scores sont hétérogènes.

- Dans la pratique, la valeur de ce coefficient est utile pour estimer l'effort à fournir si l'on cherche à améliorer la qualité de l'inventaire ACV. En effet, plus le coefficient de variabilité est élevé, plus les scores de qualité sont contrastés donc plus petit sera l'effort à fournir pour améliorer la qualité de l'inventaire : il suffit en effet de se focaliser sur les flux ou les processus ayant les scores les plus faibles. Au contraire, plus le coefficient de variabilité est faible, plus l'écart entre les scores de qualité est petit : cela signifie que si l'on cherche à améliorer la qualité de l'inventaire ACV, il faudra améliorer la qualité d'un grand nombre de flux ou de processus.

5 - Exemple : L'intégration de la composante « exhaustivité des flux » au niveau du système complet

La qualification de la composante "exhaustivité des flux" au niveau d'un système complet spécifié peut être effectuée à l'aide d'un coefficient de variabilité défini par :

l'écart-type (exhaustivité des flux - niveau système)	$\sigma_{C1} = \sqrt{[\sum (C1_i - C1_m)^2 / P]}$
---	---

- ⇒ C1_i représente le score du processus n°i sur la composante 1 de complétude : "exhaustivité des flux",
- ⇒ C1_m représente la moyenne arithmétique des scores des P processus élémentaires inclus dans les frontières du système complet, sur la composante 1 susmentionnée,
- ⇒ P représente le nombre total des processus élémentaires caractéristiques du système complet pour lesquels un score a été spécifié sur la composante 1.

L'écart-type est un paramètre caractérisant la dispersion des scores de chacun des processus du système sur la composante "exhaustivité des flux". C'est un indicateur de la variabilité du niveau d'exhaustivité des flux sur l'ensemble des processus inclus dans le système : sa valeur numérique est directement proportionnelle au niveau de variabilité entre les processus inclus dans le système.

Recommandation pratique

Nous recommandons de définir le paramètre décrit ci-dessus en considérant seulement l'ensemble des processus pour lesquels les données sont issues de la bibliographie. Dans ce cas, sa valeur inverse est un bon indicateur de la cohérence des sources bibliographiques utilisées dans la compilation des données de l'inventaire ACV (proportionnalité directe) du point de vue de leur exhaustivité.

6 - Complémentarité des coefficients d'acceptabilité et de variabilité

La technique n°1 (coefficient d'acceptabilité) est utile pour apprécier la qualité globale d'un inventaire ACV. Il doit être utilisé pour répondre à la question : la qualité de l'inventaire est-elle acceptable compte tenu des objectifs fixés ?

Cette technique permet de définir un indicateur de performance (i.e. distance par rapport aux objectifs de qualité).

La technique n°2 (coefficient de variabilité) est utile pour apprécier le coût d'amélioration de la qualité d'un inventaire ACV. Il doit être utilisé pour répondre à la question : la qualité de l'inventaire est-elle améliorable avec un ratio coût / efficacité acceptable ?

Cette technique permet de définir un indicateur de gestion de la performance (i.e. rapport coût/efficacité de l'amélioration de la qualité).

Technique n°2 : Intégration de l'indicateur de justesse**au niveau d'un processus**

1 - Objet : chaque processus du système complet.

2 - Objectif

Il s'agit d'effectuer un traitement des scores relatifs à l'indicateur de justesse qualifié au niveau de chaque flux afin d'estimer l'homogénéité de la qualité de justesse au niveau d'un processus.

3 - La procédure : mesure de la variabilité de l'indicateur de justesse au niveau de chaque processus

La variabilité de l'indicateur de justesse d'un processus élémentaire (p) peut être effectuée à l'aide d'une quantité :

l'écart-type (justesse - niveau processus)

$$\sigma_{B_p} = \sqrt{[\sum (B_{i_p} - B_{m_p})^2 / n_p]}$$

⇒ B_{i_p} représente la valeur de l'indicateur de justesse associé au flux n°i dans le processus (p)

Fiche n°15

⇒ B_{m_p} représente la moyenne arithmétique des biais associés à l'ensemble des n_p flux du processus élémentaire (p),

⇒ n_p représente le nombre total des flux caractéristiques du processus élémentaire (p).

L'écart-type est un paramètre caractérisant la dispersion des scores de chacun des flux du processus élémentaire sur l'indicateur de justesse. La valeur de ce paramètre est utile pour caractériser la variabilité de l'indicateur de justesse introduit sur l'ensemble des données d'inventaire ACV au niveau de chaque processus.

4 - Exemple pratique

Soit un processus élémentaire représenté par 5 flux entrants et sortants, et considérons que l'indicateur de biais prend respectivement les valeurs suivantes : 2.5 / 3.1 / 4.2 / 1.5 / 4.5.

La valeur moyenne B_{m_p} pour le processus p considéré est : $(2.5 + 3.1 + 4.2 + 1.5 + 4.5) / 5 = 3.16$.

L'écart-type prend la valeur :

$$\sqrt{(0.66^2 + 0.06^2 + 1.04^2 + 1.66^2 + 1.34^2) / 5} = 1.06 \text{ (ou 34\% de la valeur moyenne).}$$

Technique n°2 : Intégration de l'indicateur de justesse
au niveau du système complet

Etape 1 : Propagation de l'indicateur de justesse
au niveau du système complet

1 - Objet : chaque flux du système complet.

2 - Objectif

Il s'agit d'effectuer la propagation des scores relatifs à l'indicateur de justesse qualifié au niveau de chaque flux afin d'estimer la justesse des flux au niveau du système complet.

3 - La procédure : propagation de l'indicateur de justesse au niveau du système complet

La mesure de la justesse d'un flux sur le système complet peut être effectuée à l'aide d'une quantité :

$$\beta_i = q_1 B_{i_1} + q_2 B_{i_2} + \dots + q_j B_{i_j} + \dots + q_N B_{i_N}$$

- ⇒ B_{i_j} représente la valeur de la justesse associée au flux i dans le processus élémentaire j ,
- ⇒ q_j représente le pourcentage de la contribution du processus élémentaire j au flux total de i sur le système complet,
- ⇒ N représente le nombre total des processus élémentaires inclus dans les frontières du système.

4- Exemple pratique

Soit un système décrit à l'aide de 3 processus élémentaires: production, utilisation, élimination.

Considérons le flux de CO_2 ($i = CO_2$), caractérisé par les valeurs de justesse suivants au niveau de chacun des 3 processus : $BCO_2(j = \text{production}) = 3$; $BCO_2(j = \text{utilisation}) = 1$; $BCO_2(j = \text{élimination}) = 5$.

Les résultats de l'inventaire indiquent que la contribution respective de chaque processus élémentaire au flux total de CO_2 est : 30% pour la production, 65% pour l'utilisation et 5% pour l'élimination.

La valeur de l'indicateur de justesse du flux CO_2 , pour le système complet est égale à :
 $(0,30 \times 3) + (0,65 \times 1) + (0,05 \times 5) = 1,8$.

Technique n°2 : Intégration de l'indicateur de justesse**au niveau du système complet****Etape 2**

1 - Objet : le système complet.

2 - Objectif

Il s'agit d'effectuer un traitement des scores relatifs à l'indicateur de justesse qualifié au niveau de chaque flux du système complet afin d'estimer l'homogénéité de la qualité de justesse au niveau du système complet.

3 - La procédure : mesure de la variabilité de l'indicateur de justesse au niveau du système complet

La mesure de la variabilité de l'indicateur de justesse d'un système complet (S) peut être effectuée à l'aide d'une quantité :

l'écart-type (justesse - niveau système)	$\sigma_{B_S} = \sqrt{[\sum (\beta_i - \beta_m)^2 / n_s]}$
--	--

- β_i représente la valeur de la justesse associée au flux n°i dans le système complet (Fiche 26 - Etape 1),
- β_m représente la moyenne arithmétique des indicateurs de justesse sur l'ensemble des n_s flux du système complet,
- n_s représente le nombre total des flux caractéristiques du système complet (S).

L'écart-type est un paramètre qui caractérise ici la dispersion des scores de chacun des flux du système complet sur l'indicateur de justesse. La valeur de ce paramètre est utile pour caractériser la variabilité de l'indicateur de justesse des données d'inventaire sur le système global.

4 - Application pour la gestion de la qualité des données d'inventaire dans les ACV

Le paramètre défini ci-dessus peut servir à fixer un niveau d'exigence en matière de qualité des données d'inventaire des ACV. Il peut être utile en effet de garantir un seuil à ne pas dépasser pour la valeur de la variabilité de l'indicateur de justesse sur l'ensemble des données d'inventaire : c'est un enjeu de cohérence globale sur la justesse de l'ensemble des données d'inventaire. Dans la pratique, la valeur de ce seuil dépend du degré d'homogénéité visé sur la qualité d'exactitude (justesse) des données d'inventaire.

Technique n°2 : Intégration de la composante « exhaustivité des flux »**au niveau du système complet**

1 - Objet : le système complet.

2 - Objectif

Il s'agit d'effectuer un traitement des scores relatifs à la composante « exhaustivité des flux » (indicateur de complétude) qualifié au niveau de chaque processus du système complet afin d'estimer la variabilité du niveau d'exhaustivité des flux sur l'ensemble des processus du système complet.

3 - La procédure : mesure de la variabilité de la composante « exhaustivité des flux » au niveau du système complet

La qualification de la composante "exhaustivité des flux" au niveau d'un système complet spécifié peut être effectuée à l'aide d'un coefficient de variabilité défini par :

l'écart-type (exhaustivité des flux - niveau système)	$\sigma_{C1} = \sqrt{[\sum (C1_i - C1_m)^2 / P]}$
---	---

- ⇒ C1_i représente le score du processus n°i sur la composante 1 de complétude : "exhaustivité des flux",
- ⇒ C1_m représente la moyenne arithmétique des scores des P processus élémentaires inclus dans les frontières du système complet, sur la composante susmentionnée,
- ⇒ P représente le nombre total des processus élémentaires caractéristiques du système complet

L'écart-type est un paramètre caractérisant la dispersion des scores de chacun des processus du système sur la composante "exhaustivité des flux". C'est un indicateur de la variabilité du niveau d'exhaustivité des flux sur l'ensemble des processus inclus dans le système : sa valeur numérique est directement proportionnelle au niveau de variabilité entre les processus inclus dans le système.

Technique n°2 : Intégration de la composante « agrégation des flux »**au niveau du système complet**

1 - Objet : le système complet.

2 - Objectif

Il s'agit d'effectuer un traitement des scores relatifs à la composante « agrégation des flux » (indicateur de complétude) qualifié au niveau de chaque processus du système complet afin d'estimer la variabilité du niveau d'agrégation des flux sur l'ensemble des processus du système complet.

3 - La procédure : mesure de la variabilité de la composante « agrégation des flux » au niveau du système complet

La qualification de la composante "agrégation des flux" au niveau d'un système complet spécifié peut être effectuée à l'aide d'une quantité :

l'écart-type (agrégation des flux - niveau système)

$$\sigma_{C2} = \sqrt{[\sum (C2i - C2m)^2 / P]}$$

- C2i représente le score du processus n°i sur la composante 2 de complétude : "agrégation des flux",
 C2m représente la moyenne arithmétique des scores des P processus élémentaires inclus dans les frontières du système complet, sur la composante susmentionnée,
 P représente le nombre total des processus élémentaires caractéristiques du système complet

L'écart-type est un paramètre caractérisant la dispersion des scores de chacun des processus du système sur la composante "agrégation des flux". C'est un indicateur de la variabilité du niveau d'agrégation des flux sur l'ensemble des processus inclus dans le système : sa valeur numérique est directement proportionnelle au niveau de variabilité entre les processus inclus dans le système. Note : la valeur inverse de l'indicateur est directement utilisable pour qualifier l'homogénéité du niveau d'agrégation moyen des données de l'inventaire ACV, mais il ne donne aucune indication sur la cohérence des types d'agrégats définis au niveau de chaque processus.

CHAPITRE III

LA MÉTHODE DE GESTION DE LA QUALITE : L'UTILISATION DES SCORES DE QUALITÉ

Fiche 29 - Tableau de bord

JUSTESSE (Ind. n°1) COMPLETEUDE (Ind. n°2) REPRESENTATIVITE (Ind.n°3) REPETABILITE (Ind. n°4) INCERTITUDE (Ind. n°5)

Comp n°1 Comp n°2 Comp n°3 Comp n°4 Comp n°5 Comp n°6 Comp n°7 Comp n°8 Comp n°9 Comp n°10 Comp n°11 Comp n°12 Comp n°13 Comp n°14

FLUX (par processus)		3	3	2
PROCESSUS 1	FLUX 1 OBJECTIF DE QUALITE	3	3	2
	FLUX 2 *	3	3	2
	FLUX 3 *	3	3	2
	FLUX 4 *	3	3	2
	Ecart-Type (*) RESULTATS	18%	100%	100%
	Coefficient d'acceptabilité RESULTATS	100%	100%	100%

PROCESSUS 2		3	3	2
	FLUX 1 OBJECTIF DE QUALITE	3	3	2
	FLUX 2 *	3	3	2
	Ecart-Type (*) RESULTATS	17%	0%	100%
	Coefficient d'acceptabilité RESULTATS	100%	0%	100%

PROCESSUS		2	2	1	1
	PROCESSUS 1 OBJECTIF DE QUALITE	2	2	1	1
	PROCESSUS 2 *	2	2	1	1
	PROCESSUS 1 RESULTATS	2	2	1	1
	PROCESSUS 2 RESULTATS	3	1	1	1
	Ecart-Type (exhaustivité) RESULTATS	10%	85%	1	1
	Ecart-Type (agrégation) RESULTATS	15%	100%	100%	100%
	Coefficient d'acceptabilité RESULTATS	50%	100%	100%	100%

SYSTEME		2	2	2	2
	OBJECTIF DE QUALITE	2	2	2	2
	RESULTATS	3	2	2	2
	Coefficient d'acceptabilité RESULTATS	0%	100%	100%	100%

FLUX (système complet)		3	3	2	2	30%
	FLUX a OBJECTIF DE QUALITE	3	3	2	2	30%
	FLUX b *	3	3	2	2	30%
	FLUX c *	3	3	2	2	30%
	FLUX d *	3	3	2	2	30%
	FLUX a RESULTATS	3	4	2	2	50%
	FLUX b RESULTATS	3	4	2	2	40%
	FLUX c RESULTATS	3	3	2	2	32%
	FLUX d RESULTATS	3	3	2	2	28%
	Ecart-Type (*) RESULTATS	30%	50%	100%	100%	
	Coefficient d'acceptabilité RESULTATS	100%	50%	100%	100%	

(*) pour l'ensemble des trois composantes de justesse

Tableau de bord de suivi de la qualité des données

1 - Objet : chaque flux, chaque processus et le système complet.

2 - Objectif

Un tableau de bord de suivi de la qualité des données comme support de la gestion de la qualité des données, et comme support synthétique de présentation des résultats.

3 - Le tableau de bord

Ce tableau de bord est présenté en page ci-contre. Il permet de récapituler les objectifs de qualité et les résultats obtenus pour chacun des scores au niveau des flux, des processus et du système complet, pour les 5 indicateurs de qualité (justesse, complétude, représentativité, répétabilité du système et incertitude). Ce tableau de bord rend compte également du traitement de ces scores afin d'atteindre une qualification globale de l'inventaire, selon les deux techniques complémentaires proposées: les coefficients d'acceptabilité (technique n°1 - Fiche 21) et les coefficients de variabilité (technique n°2 - Fiche 24).

La technique n°1 (coefficient d'acceptabilité) est utile pour apprécier la qualité globale d'un inventaire ACV. Il doit être utilisé pour répondre à la question : la qualité de l'inventaire est-elle acceptable compte tenu des objectifs fixés ?

Cette technique permet de définir un indicateur de performance (i.e. distance par rapport aux objectifs de qualité).

La technique n°2 (coefficient de variabilité) est utile pour apprécier le coût d'amélioration de la qualité d'un inventaire ACV. Il doit être utilisé pour répondre à la question : la qualité de l'inventaire est-elle améliorable avec un ratio coût / efficacité acceptable ?

Cette technique permet de définir un indicateur de gestion de la performance (i.e. rapport coût/efficacité de l'amélioration de la qualité).

Partie 2 : Application de la Méthodologie à un Cas concret



Sommaire de la partie 2

CHAPITRE I	OBJECTIF DE L'APPLICATION	51
CHAPITRE II	PRESENTATION DU CAS CONCRET	51
II.1	Contexte de l'étude ACV	51
II.2	Système d'étude	52
II.2.1	Processus 1 : Production d'électricité	52
II.2.2	Processus 2 : Production de polyéthylène	52
II.2.3	Processus 3 : Elimination des emballages	53
II.3	Bilan matière du système complet	54
CHAPITRE III	QUALIFICATION DES DONNÉES D'INVENTAIRE	55
III.1	Attribution des notes	55
III.2	Traitement des données	60
III.3	Interprétation des résultats	65
CHAPITRE IV	QUALIFICATION DE L'INVENTAIRE EN TERME D'INCERTITUDE SELON LA TECHNIQUE DE MONTE-CARLO	66
ANNEXES		69

CHAPITRE I OBJECTIF DE L'APPLICATION

Nous venons de proposer une méthodologie d'évaluation de la qualité des données. Notre objectif est de tester cette méthodologie sur un exemple concret, déjà connu de préférence afin de focaliser la réflexion sur l'application de la méthodologie plutôt que sur la recherche des données.

Cet exemple n'est pas nécessairement représentatif d'un système complet. Il peut traduire seulement quelques étapes qui constituent alors le nouveau "système d'étude".

Nous avons choisi le cas concret du cycle de vie des **bouteilles plastiques (polyéthylène, PE) pour boissons** au sein duquel trois sous-systèmes constituent le nouveau "système d'étude".

CHAPITRE II PRÉSENTATION DU CAS CONCRET

II.1 Contexte de l'étude ACV

Nous nous plaçons dans le contexte suivant :

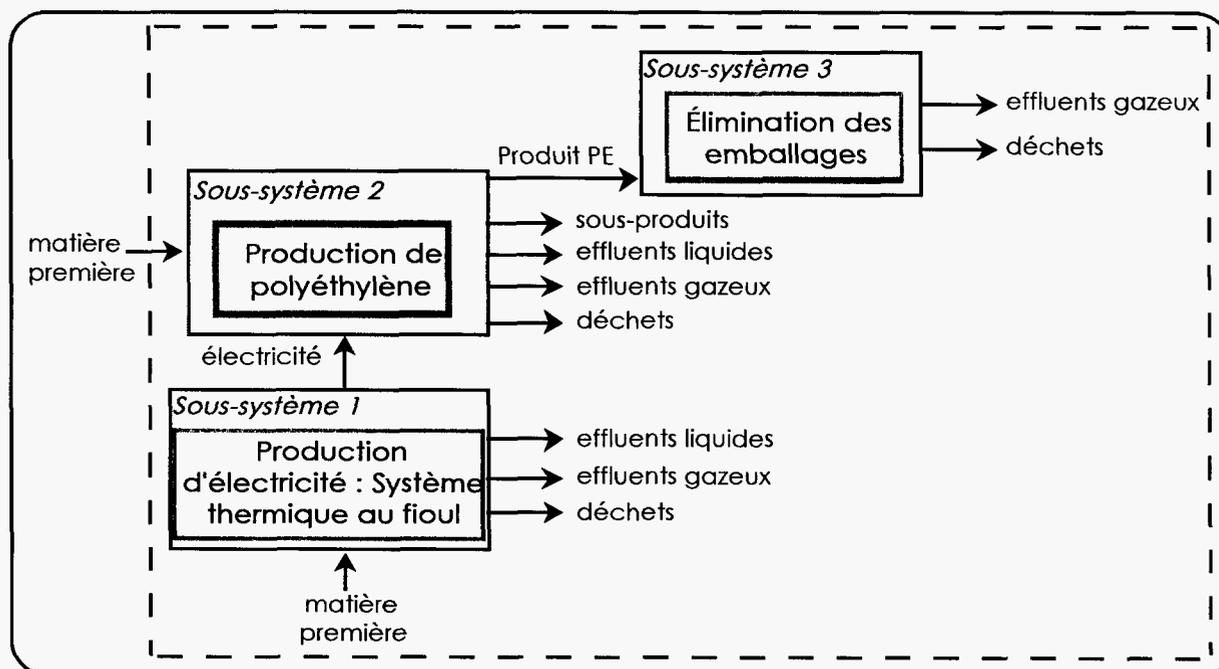
L'objectif de l'ACV est d'évaluer l'impact potentiel des bouteilles pour boissons en polyéthylène sur l'environnement en France et en 1997 (cas réel qui pourrait concerner uniquement ce type d'emballage ou bien qui viserait à comparer plusieurs types d'emballages par exemple).

Dans ce contexte, le système est vaste et s'étend de la fabrication du matériau (PE), la fabrication des bouteilles, leur remplissage, leur utilisation et leur élimination, sans compter les étapes de production d'énergie et de transport.

Pour des raisons de simplification (l'application de la méthodologie étant souhaitable dans un premier temps sur trois processus), nous considérons par la suite les sous-systèmes ou processus suivants :

- processus 1 : production de l'énergie nécessaire à la production du PE via un système thermique au fuel,
- processus 2 : production du PE,
- processus 3 : élimination des emballages usagés via l'incinération.

Une vue synthétique des différentes étapes est présentée dans la figure suivante :

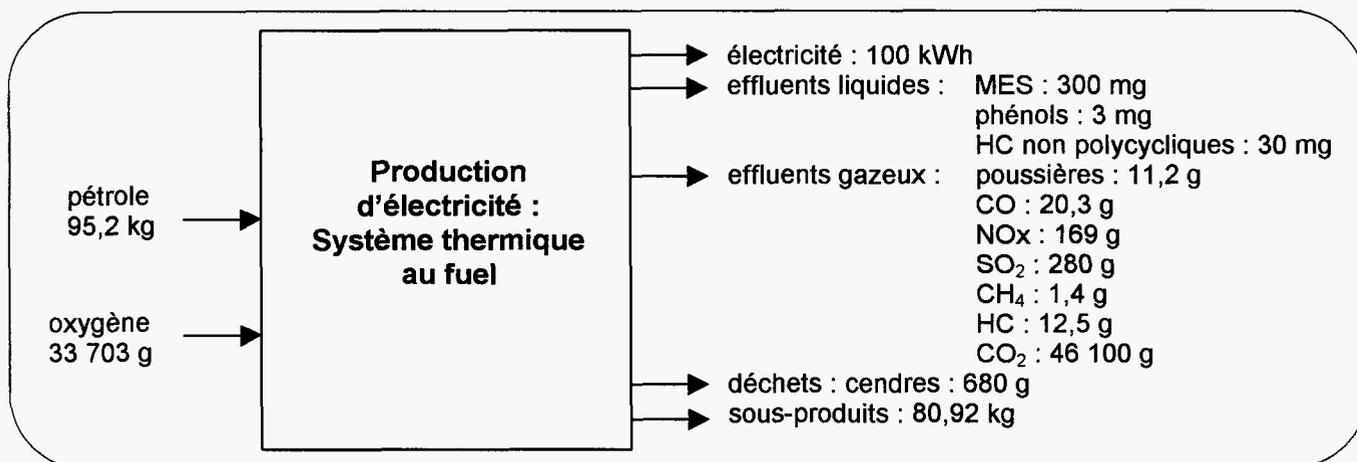


Système considéré dans le cycle de vie des emballages

II.2 Système d'étude

II.2.1 Processus 1 : Production d'électricité

Nous considérons que l'énergie nécessaire à la production du PE est produite par une chaudière fonctionnant au fuel lourd. Le processus présenté ci-dessous prend en compte les étapes de la chaîne d'extraction, de raffinage du pétrole et de la chaîne de transformation d'énergie du système thermique au fuel lourd. Il correspond à la production de 100 kWh.



L'ensemble des données (à l'exception de l'oxygène en entrée) provient d'une base de données sur les systèmes énergétiques constituée par le LAEPSI en 1993. Celle-ci s'appuie essentiellement sur des enquêtes effectuées auprès de professionnels français de l'énergie et de l'environnement.

En ce qui concerne la réalisation du bilan massique du processus, nous avons calculé la quantité d'oxygène impliqué dans la formation des molécules gazeuses oxygénées tel que l'oxyde et le dioxyde de carbone, les oxydes d'azote et le dioxyde de soufre.

Ce calcul repose sur des relations détaillées à l'annexe 2 (équations 3, 7, 10, 12).

On obtient : $m_{O_2} = (8/11).m_{CO_2} + (4/7).m_{CO} + (1/2).m_{SO_2} + (8/57).m_{NO_x}$
masse d'oxygène = 33 703 g

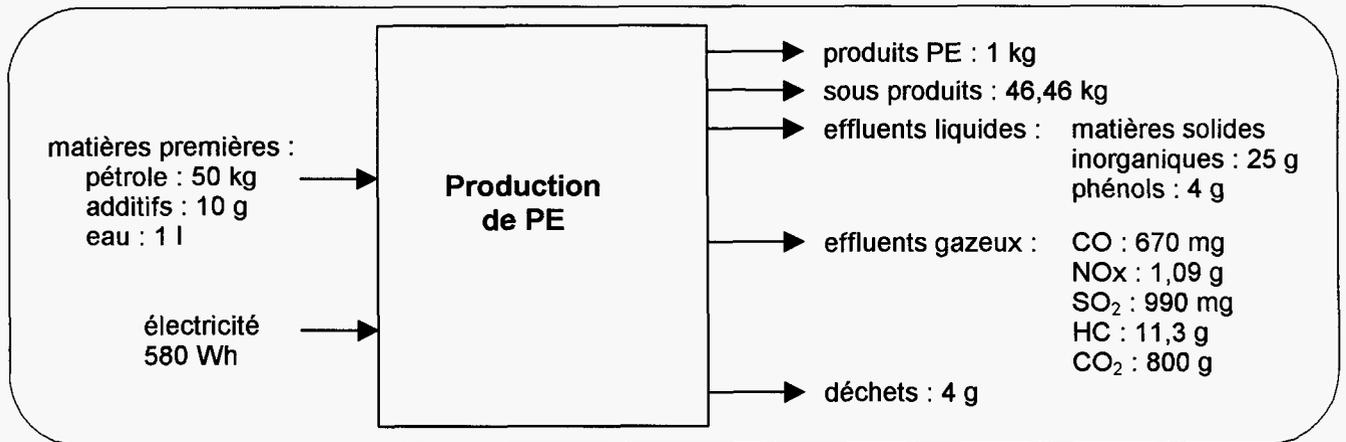
L'incertitude sur le processus est de 0,6%, calculée grâce à l'expression suivante : $(|entrants - sortants| / sortants)$. La réalisation du bilan matière s'élève donc à 99,4%.

II.2.2 Processus 2 : Production de polyéthylène

Pour l'étude, nous considérons que les données relatives à la production de PE proviennent d'une usine française :

- l'ensemble des flux, à l'exception des effluents gazeux, sont issus de mesures moyennées sur une année (données de l'industriel de l'année 1996),
- Les effluents gazeux sont issus d'une série de mesures qu'un organisme extérieur à l'usine a réalisé et qui s'est déroulée sur un mois (20 jours de mesure en avril 1996).

Le bilan matière-énergie est présenté dans la figure ci-après pour la production d'un kilogramme de polyéthylène.



La réalisation du bilan matière s'élève à 94,4%.

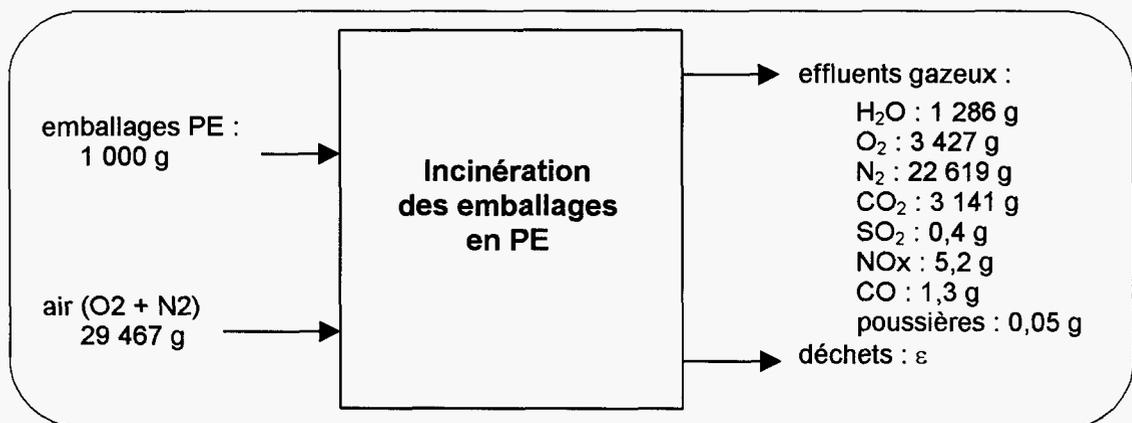
II.2.3 Processus 3 : Élimination des emballages

L'élimination des emballages après usage est supposé entièrement réalisée via l'incinération des ordures ménagères.

D'après les relations théoriques gérant la combustion du polyéthylène, nous avons calculé, sur la base d'un excès d'air de 100%, la consommation d'air en entrée et la composition des fumées pour la vapeur d'eau, l'oxygène, l'azote et le dioxyde de carbone. Le détail de ces calculs théoriques est présentée à l'annexe 1.

Les autres données concernant le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, l'oxyde de carbone et les poussières proviennent d'une source bibliographique.

Ainsi, le processus d'élimination des emballages est schématisé ci-après.



La réalisation du bilan matière s'élève à 99,96%.

II.3 Bilan matière du système complet

L'unité fonctionnelle est choisie comme étant **1 kg de polyéthylène**. Chaque sous-système est donc rapporté à cette unité, c'est la "consolidation" du système.

Dans le cas présent, les flux du processus 1 se voient attribuer un facteur multiplicateur de (580/100000). Sur cette nouvelle base, nous calculons le facteur de réalisation du bilan matière du système (S) :

$$\%S = |Entrants_S - Sortants_S| / Sortants_S$$

$$\text{avec } E_S = E_{\text{processus1}} \times (580/100000) + E_{\text{processus2}} + E_{\text{processus3}}$$

$$\text{et } S_S = S_{\text{processus1}} \times (580/100000) + S_{\text{processus2}} + S_{\text{processus3}}$$

On a : $E_S = 82\,225\text{ g}$, $S_S = 79\,530\text{ g}$ d'où **%S = 96,6**

Il est aussi intéressant (et utile par la suite pour le calcul de la propagation de la justesse des données sur le système complet) d'évaluer la contribution de chaque processus à chaque flux. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Sortants		Total (g)	Processus 1 (x 580/100000)		Processus 2		Processus 3	
			(g)	%	(g)	%	(g)	%
Effluents liquides	mat. sol. inorg.	25	0	0	25	100	0	0
	MES	1,74E-03	1,74E-03	100	0	0	0	0
	phénols	4	1,74E-05	0	4	100	0	0
	HC non poly.	1,74E-04	1,74E-04	100	0	0	0	0
Effluents gazeux	poussières	0,11496	0,06496	56,5	0	0	0,05	43,5
	CO	2,09	0,12	5,6	0,67	32,1	1,3	62,3
	NO _x	7,27	0,98	13,5	1,09	15,0	5,2	71,5
	SO ₂	3,01	1,62	53,9	0,99	32,8	0,4	13,3
	CH ₄	8,12E-03	8,12E-03	100	0	0	0	0
	HC	11,37	0,07	0,6	11,3	99,4	0	0
	CO ₂	4208,38	267,38	6,4	800	19,0	3141	74,6
Déchets	cendres	3,944	3,944	100	0	0	0	0
	sous-produits	46929,34	469,34	1	46460	99	0	0
	autres	4	0	0	4	100	0	0

III.1 Attribution des notes

Sur la base des grilles de qualification proposées dans la méthodologie, cette première phase consiste à attribuer des notes :

- à trois niveaux de l'inventaire :
 - niveau 1 : les flux,
 - niveau 2 : les processus,
 - niveau 3 : le système.

- à l'aide d'indicateurs à plusieurs composantes :
 - indicateur 1 : Justesse des données d'inventaire appliqué aux flux,
 - indicateur 2 : Complétude des données d'inventaire appliqué aux processus,
 - indicateur 3 : Représentativité des données d'inventaire appliqué aux processus,
 - indicateur 4 : Répétabilité de la méthode de définition du système.

La notation est présentée et commentée dans les tableaux ci-après (avec un rappel des grilles).

Niveau 1 :

FLUX

⇒ **INDICATEUR 1 : Justesse des Données**

Composante Score	Représentativité statistique	Age des données	Méthode d'acquisition des données
1	Donnée obtenue à partir d'un échantillon significatif du point de vue temporel et constitué d'un nombre d'observations suffisant (>30)	Récente (< 2 ans)	Donnée calculée ou mesurée ayant fait l'objet d'une validation par un vérificateur externe non impliqué dans l'étude
2	Donnée obtenue à partir d'un échantillon significatif du point de vue temporel mais constitué d'un nombre limité d'observations (< 30)	2 - 5 ans	Donnée calculée ou mesurée ayant fait l'objet d'une vérification
3	Donnée obtenue à partir d'un nombre limité d'observations	5 - 10 ans	Donnée calculée ou mesurée n'ayant pas fait l'objet d'une vérification
4	Donnée obtenue à partir d'une observation isolée	10 - 15 ans	Donnée estimée selon un expert
5	Représentativité inconnue	Age inconnu	Origine inconnue

Qualification de la justesse des données d'inventaire (INDICATEUR 1)

Composante	Notation			Commentaires
	J1	J2	J3	
J1 : Représentativité statistique				
J2 : Age des données				
J3 : Méthode d'acquisition des données				

Processus 1 Production d'électricité					
ENTRANTS					
Matières premières					
pétrole	2	2	1	D'une manière générale, les notes attribuées sont bonnes, ceci pour plusieurs raisons : - les données correspondent aux attentes de l'étude au niveau temporel, - les données sont issues de mesures ayant fait l'objet d'une vérification externe (condition nécessaire pour figurer dans la base de données).	
Oxygène	1	2	1		
SORTANTS					
Effluents liquides					
MES	1	2	1		
phénol	1	2	1		
HC non polycycliques	1	2	1		
Effluents gazeux					
poussières	1	2	1		
CO	1	2	1		
HC	1	2	1		
NOx	1	2	1		
SO2	1	2	1		
CH4	1	2	1		
CO2	1	2	1		
Déchets					
cendres	2	2	1		
Sous-produits	2	2	1		

Processus 2 Production de PE					
ENTRANTS					
Matières premières				Le fait que les données ne proviennent que d'une seule usine française est défavorable à ce processus (J3).	
pétrole	1	1	3		
additifs	1	1	3		
eau	1	1	3		
SORTANTS					
Produit PE	1	1	3		
Sous-produits	1	1	3		
Effluents liquides					
matières solides inorganiques	1	1	3		
phénol	1	1	3		
Effluents gazeux					
CO	2	1	3		
HC	2	1	3		
NOx	2	1	3		
SO2	2	1	3		
CO2	2	1	3		
Déchets	1	1	3		

Processus 3 Fabrication des emballages					
ENTRANTS					
Emballages PE	1	1	1	Dans ce cas précis où la majorité des données est issue de calculs théoriques, la notation selon les trois critères décrits de trouve inadaptée. Estimant la qualité de tels calculs, nous avons accordé la note de 1 pour les trois critères.	
Oxygène	1	1	1		
Azote	1	1	1		
SORTANTS					
Effluents gazeux					
H2O	1	1	1		
O2	1	1	1		
N2	1	1	1		
poussières	2	1	3		
CO	2	1	3		
NOx	2	1	3		
SO2	2	1	3		
CO2	1	1	1		
Déchets	2	1	3		

Niveau 2 :

PROCESSUS

⇒ INDICATEUR 2 : Complétude des Données

Composante Score	Exhaustivité des flux	Agrégation des flux	Equilibre du bilan masse
1	Par comparaison avec la bibliographie, pas de différence significative dans la nature des flux identifiés	Aucun flux n'est agrégé	Paramètre quantitatif directement calculé (cf chapitre correspondant)
2	Par comparaison à la bibliographie, quelques flux manquants mais leur importance qualitative est mineure compte tenu des objectifs de l'étude	Des flux qualitativement non importants sont agrégés	
3	Par comparaison avec la bibliographie, quelques flux qualitativement importants sont manquants. Leur proportion est inférieure à x% du nombre de flux totaux pour le processus	Des flux qualitativement importants ayant des propriétés environnementales voisines sont agrégés	
4	Par comparaison avec la bibliographie, la proportion des flux qualitativement importants qui sont manquants est supérieure à x% du nombre de flux totaux pour le processus	Des flux qualitativement importants ayant des propriétés environnementales différentes sont agrégés	
5	Aucune recherche bibliographique n'a été effectuée et il n'est pas possible de connaître le nombre ni le type de flux manquants	Le type d'agrégation entre flux différents n'est pas connu	Bilan massique non calculé

⇒ INDICATEUR 3 : Représentativité du processus

Composante Score	Représentativité Géographique	Représentativité Temporelle	Représentativité Technique
1	En relation directe avec le champ de l'étude	Récente (< 2 ans) ou en relation directe avec le champ de l'étude	Données provenant directement de l'industriel concerné ou en relation directe avec l'étude
2	Données moyennes issues d'études dont le champ englobe l'étude actuelle	Moins de 5 ans	Données relatives au même procédé ou matériau mais provenant d'une entreprise différente
3	Données issues d'études dont le champ est différent mais dont les conditions sont analogues	Moins de 10 ans	Données relatives au même procédé ou matériau mais se référant à une technologie différente
4	Données issues de conditions légèrement différentes	Moins de 15 ans	Données provenant d'un procédé ou matériau différent mais proche, mais se référant à la même technologie
5	Données issues d'une étude dont le cadre géographique n'est pas connu ou est très différent	> 15 ans ou inconnue	Données provenant d'un procédé en fonctionnement autre que celui qui est étudié

Qualification de la complétude et de la représentativité de chaque processus (INDICATEURS 2 et 3)

Composante	Notation						Commentaires
	C1	C2	C3	R1	R2	R3	
C1 : Exhaustivité des flux C2 : Agrégation des flux C3 : Equilibre du bilan masse (%) R1 : Représentativité géographique R2 : Représentativité temporelle R3 : Représentativité technique							
Processus 1 : Production d'électricité	5	4	0,55	2	2	2	Le critère R3 est problématique ; des difficultés sont rencontrées pour attribuer une note (voir discussion ci-après)
Processus 2 : Production de PE	5	4	5,3	1	1	3	même remarque
Processus 3 : Incinération des emballages	1	2	0,039	1	1	2	même remarque

Niveau 3 :

SYSTEME

⇒ INDICATEUR 4 : Répétabilité des Données

Score	Règles d'inclusion / exclusion des processus	Règles d'inclusion / exclusion des flux	Règles de définition de l'unité fonctionnelle	Règles d'allocation
1	<ul style="list-style-type: none"> • Transparents • Justifiés • Application homogène 	3 critères cumulés sur le système : <ul style="list-style-type: none"> • critère massif cumulé, et • critère énergétique cumulé, et • pertinence environnementale 	UF est au minimum composée d'une manière explicite des 3 unités suivantes : fonction, produit, temps	<ul style="list-style-type: none"> • Transparents • Justifiées et pertinentes • Application homogène
2	<ul style="list-style-type: none"> • Transparents • Justifiés • Non application homogène 	1 critère cumulé sur le système : <ul style="list-style-type: none"> • critère massif cumulé, ou • critère énergétique cumulé, ou • pertinence environnementale 	UF est au minimum composée d'une manière implicite des 3 unités précédentes	<ul style="list-style-type: none"> • Transparents • Justifiées et pertinentes • Non application homogène
3	<ul style="list-style-type: none"> • Transparents • Non justifiés • Non application homogène 	2 critères non cumulés sur système <ul style="list-style-type: none"> • critère massif / processus, et • critère énergétique / processus 	UF est au minimum composée d'une manière explicite de 2 des 3 unités précédentes	<ul style="list-style-type: none"> • Transparents • Justifiées mais manifestement non pertinentes
4	Non transparence sur les règles d'exclusion mais spécification des règles d'inclusion.	1 critère non cumulé sur système <ul style="list-style-type: none"> • critère massif / processus, ou • critère énergétique / processus 	UF est au minimum composée d'une manière explicite de 1 des 3 unités précédentes	<ul style="list-style-type: none"> • Transparents • Non justifiées • Non application homogène
5	Critères inconnus	Critères inconnus	UF n'est pas définie	Non transparentes

Qualification de la méthode de définition système (INDICATEUR 4)

Composante	Notation				Commentaires
	S1	S2	S3	S4	
S1 : Règles d'inclusion/exclusion des processus S2 : Règles d'inclusion/exclusion des flux S3 : Règles de définition de l'unité fonctionnelle S4 : Règles d'allocation					
Système	2	3	3	3	Dans ce cas précis (application de la méthodologie à un cas concret) nous avons choisi délibérément de limiter le nombre de processus dans le système complet. De ce fait, les notes attribuées aux diverses composantes sont faibles.

Remarques concernant l'attribution des notes

• Remarques d'ordre général

D'une manière générale, les difficultés rencontrées lors de l'attribution des notes relèvent davantage d'un manque d'adaptation des grilles de qualification des données vis-à-vis du système d'étude que d'un défaut profond des grilles.

Dans le terme "manque d'adaptation", nous entendons que parfois, aucun niveau de notation ne correspond au cas étudié.

→ exemple : le processus 3 (incinération des emballages) comporte en majorité des données calculées de manière théorique.

Les trois composantes de qualification de la fiabilité des flux sont problématiques :

- les données ne proviennent pas d'un échantillon,
- aucune vérification externe ne peut être faite,
- les données sont indépendantes du temps.

Estimant que de tels calculs sont de bonne qualité, nous avons attribué la meilleure note à tous les flux.

Deux solutions d'amélioration se présentent alors :

- l'élargissement du champ d'application des grilles en définissant d'autres niveaux.
Cet objectif semble toutefois difficile à atteindre sans alourdir les grilles et sans les rendre trop complexe,
- dans le cas où la première solution est exclue, la marche à suivre serait celle utilisée dans l'exemple précédent, c'est-à-dire que "l'attributeur des notes" fixerait lui-même la note qu'il juge bonne.

• Remarques spécifiques

En ce qui concerne les composantes de qualification retenues dans la méthodologie et leur cinq niveaux de notation, plusieurs observations peuvent être faites :

✓ Représentativité statistique (J1)

Ce facteur rend la part belle aux données issues d'un échantillon constitué d'un nombre d'observations important (au moins 20), ce qui semble un peu trop utopique dans le contexte général des ACV.

✓ Méthode d'acquisition des données (J3)

La meilleure note est attribuée à toute "donnée calculée ou mesurée ayant fait l'objet d'une validation par un vérificateur externe non impliqué dans l'étude". Dans le cas où l'objectif d'une ACV viserait à étudier le procédé particulier d'une usine X, les données provenant de cette usine seraient considérées comme les meilleures.

Cette remarque rejoint celle concernant le "manque d'adaptation" des grilles faite auparavant.

Il ressort de ces observations que "l'attributeur des notes" doit constamment "se coller au plus juste" par rapport au contexte de l'étude et revoir, si besoin est, la note à attribuer.

✓ Représentativité technique (R3)

Ce critère a posé des difficultés pour les trois processus considérés dans cette étude, dans le sens où :

- pour le processus 1, la notation est approximative,
- le processus 2 se voit attribuer une très bonne note (égale à 1) qu'il semble ne pas mériter dans le contexte de l'étude,
- le processus 3 ne trouve pas de niveau de notation auquel se rattacher.

En fait, ce critère a pour référence (note 1) "données provenant directement de l'industriel concerné". Les autres définitions (notes de 2 à 5) en déclinent .

Il semble alors évident que des contresens ou de mauvaises notations peuvent survenir, notamment lorsque l'objectif de l'ACV prend en compte une technologie représentative d'une région ou d'un territoire national et non la technologie de l'usine X.

C'est le cas pour le processus 2 dont les données proviennent directement d'un industriel. La note de 1 lui est attribuée alors que, dans le contexte de l'ACV, le processus 2 devrait représenter le territoire national. La note que nous lui attribuons est de 3 (note de qualité moyenne).

Dans le cas précis du processus 3, aucune note ne peut être attribuée selon la grille définie. Une note approximative de 2 est estimée (entre très bon et moyen).

- ✓ Par ailleurs, lorsque deux notes se présentent, la plus mauvaise des deux est prise en compte.
- exemple : pour le critère "Représentativité temporelle" relatif aux processus, l'âge des données peut être différent à l'intérieur d'un même processus, alors qu'une seule note doit, in fine, être attribuée au processus.

III.2 Traitement des données

Sur la base des notes attribuées précédemment aux flux, aux processus et au système, le traitement des données consiste à :

- présenter les notes sous un format précis permettant ensuite l'interprétation des résultats,
- calculer la fiabilité de chaque variable pour le système complet.

Le format de présentation des notes que nous proposons est le suivant :

- un index de qualité pour chaque flux, processus et système (traitement horizontal),
- un index de qualité par critère pour chaque processus et système (traitement vertical).

Le premier index contient les notes obtenues pour chaque composante ainsi que le coefficient d'acceptabilité associé. Le second contient uniquement le coefficient d'acceptabilité calculé pour chaque composante.

Remarque : se référer aux fiches 21, 22 et 23 pour la définition et le calcul du coefficient d'acceptabilité.

Les résultats du traitement des données sont présentés dans les tableaux des pages suivantes.

! Attention

En raison de la bonne qualité globale des flux, des processus et du système et donc des bonnes notes attribuées, il a été choisi de fixer le seuil d'acceptabilité à 2 au lieu de 3 (ceci en vue d'obtenir des coefficients d'acceptabilité différents de 100%).

CALCULS :

→ Coefficient d'acceptabilité : - par flux, par processus
- par composante

→ Ecart-type (au niveau processus) : $\sigma_{B_p} = \sqrt{[\sum (B_{i_p} - B_{m_p})^2 / n_p]}$

→ Données sur le système : contribution (q_j) du processus élémentaire j au flux total de i sur le système complet)

Qualification des flux

		FLUX						Indicateur de justesse	Données sur le système		
		Justesse									
Valeur	Unité	J1	J2	J3							
580 Wh		... pour chaque flux					14 flux		Contri. N = 3		
Processus 1 : Production d'électricité								processus			
ENTRANTS											
Matières premières											
pétrole	552	g	2	2	1	(2,2,1)	100%	1,67	0,01	0,0182	
Oxygène	196	g	1	2	1	(1,2,1)	100%	1,33	0,03	0,037	
SORTANTS											
Effluents liquides											
MES	1,74E-03	g	1	2	1	(1,2,1)	100%	1,33	1	1,3333	
phénol	1,70E-05	g	1	2	1	(1,2,1)	100%	1,33	4,25E-06	6E-06	
HC non polycycliques	1,74E-04	g	1	2	1	(1,2,1)	100%	1,33	1	1,3333	
Effluents gazeux											
poussières	0,065	g	1	2	1	(1,2,1)	100%	1,33	0,57	0,7536	
CO	0,12	g	1	2	1	(1,2,1)	100%	1,33	0,06	0,0766	
HC	7,00E-05	g	1	2	1	(1,2,1)	100%	1,33	0,00	8E-06	
NOx	0,98	g	1	2	1	(1,2,1)	100%	1,33	0,13	0,1797	
SO2	1,62	g	1	2	1	(1,2,1)	100%	1,33	0,54	0,7176	
CH4	0,008	g	1	2	1	(1,2,1)	100%	1,33	1	1,3333	
CO2	267,38	g	1	2	1	(1,2,1)	100%	1,33	0,06	0,0847	
Déchets											
cendres	3,9	g	2	2	1	(2,2,1)	100%	1,67	1	1,6667	
Sous-produits	469,3	g	2	2	1	(2,2,1)	100%	1,67	0,01	0,0167	
								Moy.	1,40		
... pour le processus 1		100%	100%	100%				Ecart-type : $\sigma B1 = 0,14$ ou 9,74% de la valeur moyenne			
		(100%, 100%, 100%)									

		FLUX						Indicateur de justesse	Données sur le système		
		Justesse									
Valeur	Unité	J1	J2	J3							
1 kg de PE		... pour chaque flux					13 flux				
Processus 2 : Production de PE								processus			
ENTRANTS											
Matières premières											
pétrole	50 000	g	1	1	3	(1,1,3)	67%	1,67	0,99	1,6485	
additifs	10	g	1	1	3	(1,1,3)	67%	1,67	1	1,6667	
eau	1000	g	1	1	3	(1,1,3)	67%	1,67	1	1,6667	
SORTANTS											
Produit PE											
Produit PE	1000	g	1	1	3	(1,1,3)	67%	1,67	1	1,6667	
Sous-produits	46460	g	1	1	3	(1,1,3)	67%	1,67	0,99	1,65	
Effluents liquides											
matières solides inorganiques	25	g	1	1	3	(1,1,3)	67%	1,67	1	1,6667	
phénol	4	g	1	1	3	(1,1,3)	67%	1,67	1,00	1,6667	
Effluents gazeux											
CO	0,67	g	2	1	3	(2,1,3)	67%	2,00	0,32	0,6411	
HC	11,3	g	2	1	3	(2,1,3)	67%	2,00	1,00	2	
NOx	1,09	g	2	1	3	(2,1,3)	67%	2,00	0,15	0,2999	
SO2	0,99	g	2	1	3	(2,1,3)	67%	2,00	0,33	0,6578	
CO2	800	g	2	1	3	(2,1,3)	67%	2,00	0,19	0,3802	
Déchets											
	4	g	1	1	3	(1,1,3)	67%	1,67	1	1,6667	
								Moy.	1,79		
... pour le processus 2		100%	100%	0%				Ecart-type : $\sigma B2 = 0,16$ ou 9,04% de la valeur moyenne			
		(100%, 100%, 0%)									

		FLUX						Indicateur de justesse	Données sur le système		
		Justesse									
Valeur	Unité	J1	J2	J3							
1 kg de PE		... pour chaque flux					12 flux				
Processus 3 : Incinération des emballages								processus			
ENTRANTS											
Emballages PE											
Emballages PE	1000	g	1	1	1	(1,1,1)	100%	1	1	1	
Oxygène	6854	g	1	1	1	(1,1,1)	100%	1	0,97	0,9723	
Azote	22613	g	1	1	1	(1,1,1)	100%	1	1	1	
SORTANTS											
Effluents gazeux											
H ₂ O	1286	g	1	1	1	(1,1,1)	100%	1	1	1	
O ₂	3426	g	1	1	1	(1,1,1)	100%	1	1	1	
N ₂	22619	g	1	1	1	(1,1,1)	100%	1	1	1	
poussières	0,05	g	2	1	3	(2,1,3)	67%	2	0,43	0,8696	
CO	1,3	g	2	1	3	(2,1,3)	67%	2	0,62	1,244	
NOx	5,2	g	2	1	3	(2,1,3)	67%	2	0,72	1,4305	
SO ₂	0,4	g	2	1	3	(2,1,3)	67%	2	0,13	0,2658	
CO ₂	3141	g	1	1	1	(1,1,1)	100%	1	0,75	0,7464	
Déchets											
ε		g	2	1	3	(2,1,3)	67%	2			
								Moy.	1,42		
... pour le processus 3		100%	100%	50%				Ecart-type : $\sigma B3 = 0,49$ ou 34,8% de la valeur moyenne			
		(100%, 100%, 50%)									

CALCULS :

→ Coefficient d'acceptabilité : - par flux
- par composante

→ Justesse des flux sur le système complet : $\beta_i = q_1 B_{i_1} + q_2 B_{i_2} + \dots + q_j B_{i_j} + \dots + q_N B_{i_N}$

→ Ecart-type de biais (niveau système) : $\sigma_{BS} = \sqrt{[\sum (\beta_i - \beta_m)^2 / n_s]}$

Calcul de l'inventaire et Propagation des notes de justesse

	Valeur	Unité	Système complet			Justesse	Indicateur de justesse (Bi) d'un flux nS = 24 flux
			Justesse				
			J1	J2	J3		
1 kg de PE							
ENTRANTS							
Matières premières							
pétrole	50552	g	1,01	1,01	2,98	(1,01 ; 1,01 ; 2,98) 67%	1,67
additifs	10	g	1,00	1,00	3,00	(1 ; 1 ; 3) 67%	1,67
eau	1000	g	1,00	1,00	3,00	(1 ; 1 ; 3) 67%	1,67
Emballages PE	1000	g	1,00	1,00	1,00	(1 ; 1 ; 1) 100%	1,00
Oxygène	7049,6	g	1,00	1,03	1,00	(1 ; 1,03 ; 1) 100%	1,01
Azote	22613	g	1,00	1,00	1,00	(1 ; 1 ; 1) 100%	1,00
SORTANTS							
Produit PE	1000	g	1,00	1,00	3,00	(1 ; 1 ; 3) 67%	1,67
Sous-produits	46 929	g	1,01	1,01	2,98	(1,01 ; 1,01 ; 2,98) 67%	1,67
Effluents liquides							
matières solides inorganiques	25	g	1,00	1,00	3,00	(1 ; 1 ; 3) 67%	1,67
MES	1,74E-03	g	1,00	2,00	1,00	(1 ; 2 ; 1) 100%	1,33
phénol	4,00	g	1,00	1,00	3,00	(1 ; 1 ; 3) 67%	1,67
HC non polycycliques	1,74E-04	g	1,00	2,00	1,00	(1 ; 2 ; 1) 100%	1,33
Effluents gazeux							
H ₂ O	1286	g	1,00	1,00	1,00	(1 ; 1 ; 1) 100%	1,00
O ₂	3426	g	1,00	1,00	1,00	(1 ; 1 ; 1) 100%	1,00
N ₂	22619	g	1,00	1,00	1,00	(1 ; 1 ; 1) 100%	1,00
poussières	0,115	g	1,43	1,57	1,87	(1,43 ; 1,57 ; 1,87) 100%	1,62
CO	2,09	g	1,94	1,06	2,89	(1,94 ; 1,06 ; 2,89) 67%	1,96
HC	11,30	g	2,00	1,00	3,00	(2 ; 1 ; 3) 67%	2,00
NOx	7,27	g	1,87	1,13	2,73	(1,87 ; 1,13 ; 2,73) 67%	1,91
SO ₂	3,01	g	1,46	1,54	1,92	(1,46 ; 1,54 ; 1,92) 100%	1,64
CH ₄	0,008	g	1,00	2,00	1,00	(1 ; 2 ; 1) 100%	1,33
CO ₂	4208,38	g	1,19	1,06	1,38	(1,19 ; 1,06 ; 1,38) 100%	1,21
Déchets	4	g	1,00	1,00	3,00	(1 ; 1 ; 3) 67%	1,67
Cendres	3,9	g	2,00	2,00	1,00	(2 ; 2 ; 1) 100%	1,67
			100%	100%	54%		Moy. 1,47
			(100%, 100%, 54%)				

Ecart-type : $\sigma_{BS} = 0,326$
ou 22,16% de la valeur moyenne

Qualification du système

Système					Bilan matière
Complétude					
S1	S2	S3	S4		
2	3	3	3	(2,3,3,3) 25%	96,60%

CALCULS :

→ Coefficient d'acceptabilité : - par processus
- par composante

→ Ecart-type (exhaustivité - niveau système) : $\sigma_{C1} = \sqrt{[\sum (C1_i - C1_m)^2 / P]}$

→ Ecart-type (agrégation - niveau système) : $\sigma_{C2} = \sqrt{[\sum (C2_i - C2_m)^2 / P]}$

Qualification des processus

Processus			
Complétude			
	C1	C2	C3
Processus 1	5	4	0,55
Processus 2	5	4	5,3
Processus 3	1	2	0,039

... pour chaque processus

(5, 4, 0,55%)	33%
(5, 4, 5,3%)	0%
(1, 2, 0,039%)	100%

... pour chaque critère

	33%	
--	-----	--

Moyenne des scores

	3,67	3,33
--	------	------

	Valeur inverse
Ecart-type $\sigma_{C1} = 1,89$ ou 51,43% de la valeur moyenne	0,53
Ecart-type $\sigma_{C2} = 0,94$ ou 28,28% de la valeur moyenne	1,06

Processus			
Représentativité			
	R1	R2	R3
Processus 1	2	2	2
Processus 2	1	1	3
Processus 3	1	1	2

... pour chaque processus

(2,2,2)	100%
(1,1,3)	67%
(1,1,2)	100%

... pour chaque critère

	100%	100%	67%
--	------	------	-----

TABLEAU SYNTHETIQUE

	JUSTESSE Ind. 1			COMPLETUDE Ind. 2			REPRESENT. Ind. 3			REPETABILITE Ind. 4				INCERT. Ind. 5	
	Comp.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
FLUX (par processus)															
PROCESSUS 1															
FLUX OBJECTIF DE QUALITE	2	2	2												
Ecart-Type (*) RESULTAT	9,7%														
Coefficient d'acceptabilité RESULTATS	100%	100%	100%												
PROCESSUS 2															
FLUX OBJECTIF DE QUALITE	2	2	2												
Ecart-Type (*) RESULTATS	9%														
Coefficient d'acceptabilité RESULTATS	100%	100%	0%												
PROCESSUS 3															
FLUX OBJECTIF DE QUALITE	2	2	2												
Ecart-Type (*) RESULTATS	34,8%														
Coefficient d'acceptabilité RESULTATS	100%	100%	50%												
PROCESSUS															
PROCESSUS OBJECTIF DE QUALITE	2	2	95%	2	2	2									
PROCESSUS 1 RESULTATS	5	4	99%	2	2	2									
PROCESSUS 2 RESULTATS	5	4	94%	1	1	3									
PROCESSUS 3 RESULTATS	1	2	100%	1	1	2									
Ecart-Type (exhaustivité) RESULTATS	51,4%														
Ecart-Type (agrégation) RESULTATS	28,3%														
Coefficient d'acceptabilité RESULTATS	33%	33%				100%	100%	67%							
SYSTEME															
SYSTEME OBJECTIF DE QUALITE	2	2	2	2											
SYSTEME RESULTATS	2	3	3	3											
Coefficient d'acceptabilité RESULTATS	100%	0%	0%	0%											
FLUX (système complet)															
FLUX OBJECTIF DE QUALITE	2	2	2												
pétrole RESULTATS	1,01	1,01	2,98												
additifs RESULTATS	1,00	1,00	3,00												
eau RESULTATS	1,00	1,00	3,00												
Emballages PE RESULTATS	1,00	1,00	1,00												
Oxygène RESULTATS	1,00	1,03	1,00												
Azote RESULTATS	1,00	1,00	1,00												
Produit PE RESULTATS	1,00	1,00	3,00												
Sous-produits RESULTATS	1,01	1,01	2,98												
tières solides inorganiques RESULTATS	1,00	1,00	3,00												
MES RESULTATS	1,00	2,00	1,00												
phénol RESULTATS	1,00	1,00	3,00												
HC non polycycliques RESULTATS	1,00	2,00	1,00												
H2O RESULTATS	1,00	1,00	1,00												
O2 RESULTATS	1,00	1,00	1,00												
N2 RESULTATS	1,00	1,00	1,00												
poussières RESULTATS	1,43	1,57	1,87												
CO RESULTATS	1,94	1,06	2,89												
HC RESULTATS	2,00	1,00	3,00												
NOx RESULTATS	1,87	1,13	2,73												
SO2 RESULTATS	1,46	1,54	1,92												
CH4 RESULTATS	1,00	2,00	1,00												
CO2 RESULTATS	1,19	1,06	1,38												
Déchets RESULTATS	1,00	1,00	3,00												
Cendres RESULTATS	2,00	2,00	1,00												
Ecart-Type (*) RESULTATS	22,2%														
Coefficient d'acceptabilité RESULTATS	100%	100%	54%												
														18,34% (**)	
														19,23% (**)	

(*) pour l'ensemble des trois composantes de justesse, exprimé en % de la valeur moyenne

(**) correspondant à des plages d'incertitude des variables d'entrée de 30%

III.3 Interprétation des résultats

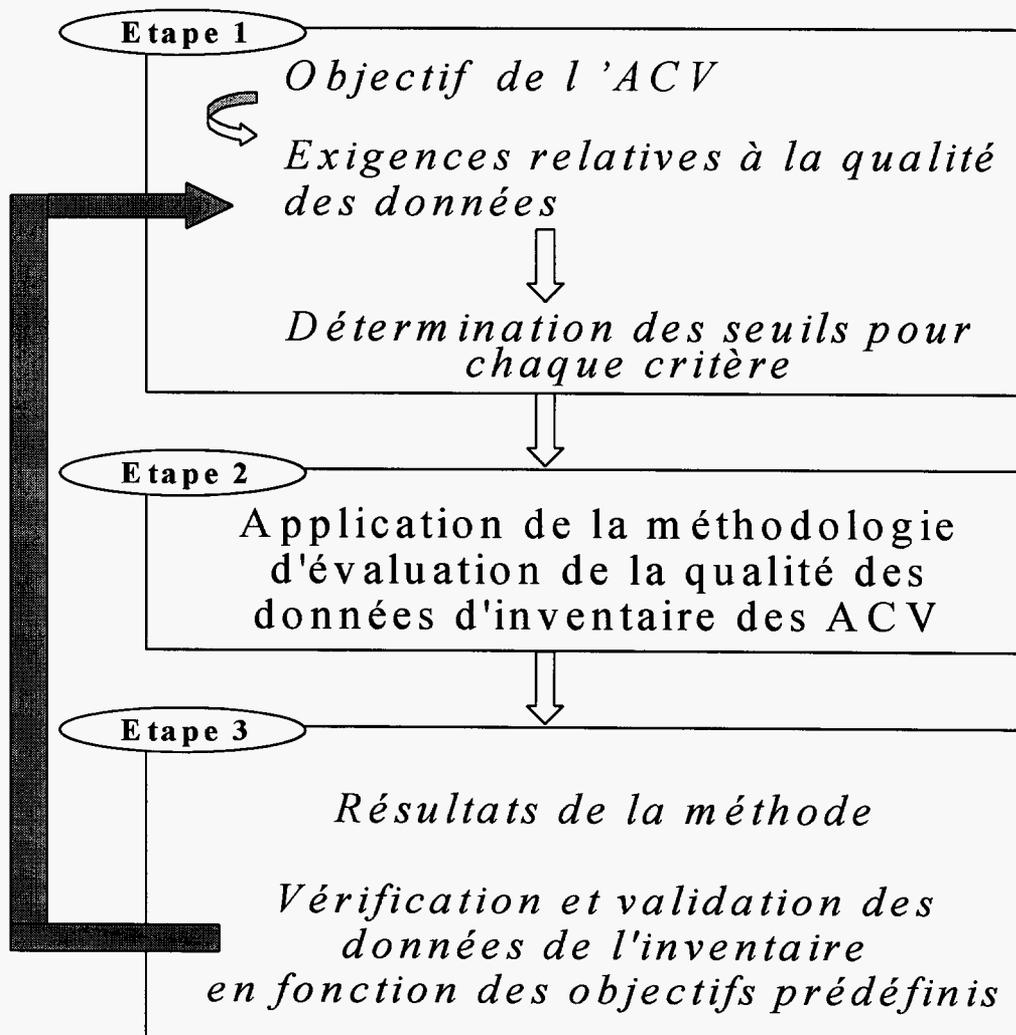
Sur la base des tableaux de résultats et des index de qualité calculés à la phase précédente, l'interprétation des résultats est directe : tous les flux, processus ou toutes les composantes possédant un coefficient d'acceptabilité différent de 100% nécessitent une réflexion complémentaire. Cette réflexion doit aboutir à l'acceptation ou au rejet de la donnée concernée de manière argumentée.

D'une manière plus générale, il apparaît que la méthodologie d'évaluation de la qualité des données d'inventaire des ACV s'inscrit dans un cadre beaucoup plus vaste que l'on peut décrire en 3 étapes (schéma ci-dessous).

On peut envisager de fixer des seuils de qualité différents selon les critères qualitatifs. Par exemple, dans le cas où le paramètre temporel est prépondérant, le seuil pris en compte pour le calcul du coefficient d'acceptabilité des critères J2 et R2 (notés comme tel dans l'application) pourra être de 1 ou 2 (très bonnes notes) ; toutes les données ayant une note inférieure à 2 seront réexaminées. A l'opposé, un critère jugé moins important dans le contexte de l'étude pourra se voir attribué un seuil de 4.

Dans tous les cas, suite aux deux premières étapes, il est nécessaire de vérifier et de valider les données d'inventaire en fonction des objectifs prédéfinis.

Cette approche globale se veut itérative. Elle envisage, suite aux conclusions de l'étape 3, une modification éventuelle des exigences relatives à la qualité des données définies à l'étape 1, voire une modification de l'objectif de l'ACV.



CHAPITRE IV

QUALIFICATION DE L'INVENTAIRE EN TERME D'INCERTITUDE SELON LA TECHNIQUE DE MONTE-CARLO

La réalisation de l'inventaire d'analyse de cycle de vie correspondant à l'exemple traité a permis de calculer les effluents liquides, les effluents gazeux et les déchets correspondant à 1 kg de polyéthylène.

La technique de Monte-Carlo va maintenant être appliquée afin de quantifier l'incertitude associée aux flux de l'inventaire.

Objectif :

- 1) estimer l'incertitude associée à une sélection de flux compte tenu des incertitudes associées aux variables d'entrée.
- 2) identifier les paramètres clés d'un inventaire afin de minimiser l'incertitude de celui-ci.

Procédure :

⇒ Sélection de variables pertinentes résultant du cacul de l'inventaire.

Après analyse des résultats de l'inventaire, il nous semble opportun d'évaluer l'incertitude associée au CO₂ et celle associée au SO₂. En effet dans ce cas précis, la répartition des flux de CO₂ et de SO₂ entre les processus constituant le système est relativement homogène.

⇒ Formalisation des relations permettant de calculer le CO₂ et le SO₂ pour chacun des processus et par conséquent pour l'ensemble du système étudié :

$$\begin{aligned} \text{SO}_2 &= \text{SO}_2\text{elec} * (\text{ELEC} / \text{Celec}) + \text{SO}_2\text{PE} + \text{var1} * \text{PE} \\ \text{CO}_2 &= \text{CO}_2\text{elec} * (\text{ELEC} / \text{Celec}) + \text{CO}_2\text{PE} + (\text{var1} * \text{PE} - \text{var2} * \text{CO}) \end{aligned}$$

Ces équations se présentent bien la somme de trois termes correspondant aux trois processus du système étudié (le processus de production électrique, le processus de production du PE et le processus d'incinération). La signification des différentes variables est exposée sur le tableau de la page suivante.

⇒ Estimation des incertitudes associées aux variables et des types de distributions associées à chacune des variables .

Afin d'estimer l'incertitude sur la variable SO₂ par exemple, on identifie l'incertitude associée aux variables SO₂elec, ELEC, Celec, SO₂PE et var1. Ces incertitudes sont difficiles à évaluer pour cet exemple et de façon plus générale le niveau d'incertitude associé à chacun des flux sera délicat à effectuer. Les résultats, correspondant au premier scénario, ont été obtenus en fixant de façon arbitraire les plages d'incertitudes pour chacune de ces variables à 10% (sauf pour la quantité de Polyéthylène, PE, qui n'est pas affecté d'une plage d'incertitude)

Hypothèse : on estime que les lois de distribution associées aux variables, dans cet exemple, répondent à des lois de distribution uniforme.

⇒ Application de la méthode Monte-Carlo (voir Guide méthodologique)

⇒ Identification de scénarios correspondant à des études de sensibilité pertinentes (exemples)

Pour aller au-delà d'une simple évaluation de l'incertitude associée à quelques flux de l'inventaire, cette technique de propagation des incertitudes a été appliquée à divers scénarios permettant ainsi d'effectuer une étude de sensibilité et d'identifier les paramètres sensibles du point de vue de l'incertitude des résultats.

3 scénarios ont été sélectionnés : le premier correspond à une estimation des plages d'incertitudes de 10% pour l'ensemble des variables; le second correspond à 30% d'incertitude et le dernier affecte une plage d'incertitude de 30% uniquement au paramètre identifié comme dominant (les autres plages d'incertitude restant fixées à 10%).

⇒ Constitution de la distribution des fréquences obtenues pour la variable de sortie pour chacun des scénarios. Calcul de la moyenne, de l'écart-type et de la médiane.

Résultat des calculs pour la variable SO2

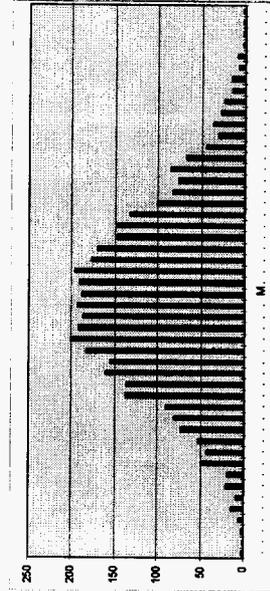
Selon la formule $SO2 = SO2_{elec} * (ELEC / Celec) + SO2PE + (var1 * PE)$

SO2elec = 280 g
 ELEC = 580 Wh
 Celec = 10000 Wh
 SO2PE = 0,99 g

var1 = 0,4E-3
 PE = 1000 g

Scénario 1 (=10%)

Moyenne	3,02
Médiane	3,02
Ecart type (valeur)	0,18
Ecart type (en % de la moyenne)	5,82%
Minimum	2,50
Maximum	3,62
Etendue	1,12

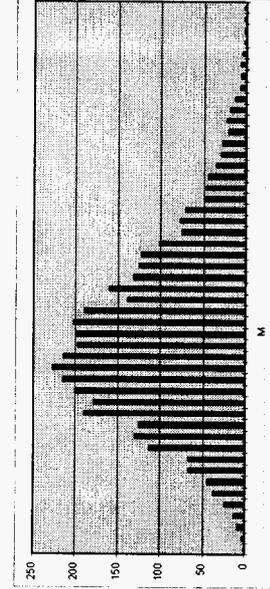


Ecart type
 (en % de la moyenne)

5,82%

Scénario 2 (=30%)

Moyenne	3,06
Médiane	3,00
Ecart type (valeur)	0,55
Ecart type (en % de la moyenne)	18,34%
Minimum	1,69
Maximum	5,19
Etendue	3,50

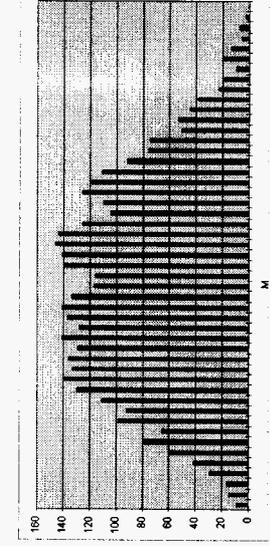


Ecart type
 (en % de la moyenne)

18,34%

Scénario 3 (=10 % sauf SO2elec=30%)

Moyenne	3,01
Médiane	3,00
Ecart type (valeur)	0,31
Ecart type (en % de la moyenne)	10,44%
Minimum	2,32
Maximum	3,93
Etendue	1,61



Ecart type
 (en % de la moyenne)

10,44%

⇒ Résultats

Le tableau suivant donne les résultats correspondant à ces 3 scénarios pour la variable SO₂. Les distributions correspondant à ces résultats figurent sur la page ci-contre.

	SO ₂ elec (g)	ELEC (Wh)	Celec	SO ₂ PE (g)	var1	PE (g)	SO ₂ (g) Ecart-type
Valeur	280	580	100 000	0,99	0,4	1 000	3,02
Plage d'incertitude (Scénario 1)	10 %	10 %	10 %	10 %	10 %	--	5,82%
Plage d'incertitude (Scénario 2)	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	--	18,34%
Plage d'incertitude (Scénario 3)	30 %	10 %	10 %	10 %	10 %	--	10,44%

⇒ Analyse des résultats

- La courbe de distribution des fréquences cumulées obtenue au scénario 1 pour le flux de SO₂ est de type normale, alors que les distributions associées aux variables avaient été définies comme uniformes. Ce résultat est significatif du resserrement de la plage d'incertitude associée au SO₂. La distribution du SO₂ s'apparentant à une distribution normale, il est alors possible de définir, par exemple, l'intervalle de confiance à 67% de ce flux, à partir du calcul de l'écart-type: (moyenne +/- * Ecart-type), c'est à dire (moyenne +/- 5,82%).
- La courbe de distribution correspondant au scénario 2 peut également s'apparenter à une loi de type normale, et on constate bien qu'en triplant les plages d'incertitudes pour chacune des variables, par rapport au scénario 1, (30% au lieu de 10%), on retrouve effectivement le triple de l'écart-type au niveau des résultats pour le SO₂. (18,34 % au lieu de 5,88%)
- Ayant identifié que le processus de production électrique était dominant au sein du système complet pour le flux de SO₂, il a été intéressant dans le scénario 3, d'affecter une forte plage d'incertitude uniquement à ce paramètre dominant tout en conservant une plage d'incertitude relativement faible aux autres paramètres. Par ce seul changement, on constate que l'écart-type a doublé par rapport au scénario 1. Les résultats de ce dernier scénario montrent l'intérêt d'exploiter cette propagation des incertitudes au niveau des données d'un inventaire car elle permet d'identifier les paramètres sensibles du point de vue de la qualité des données.

A noter : la forme de la distribution correspondant au scénario 3 ne peut plus s'assimiler à une distribution de type normale comme pour les deux premiers scénarios. En effet la distribution associée à la variable SO₂ est quelconque et elle s'apparente plus à une distribution uniforme. Ce résultat est logique puisqu'il restitue assez fidèlement la distribution de la variable dominante, "SO₂elec" qui répond à une loi uniforme et pour laquelle une grande plage d'incertitude a été définie (30%) par différence aux autres variables qui ont conservées des plages d'incertitudes faibles (10%). Le phénomène naturel de rétrécissement de la courbe de distribution constatée pour les scénarios 1 et 2 ne peut se reproduire du fait de cette disparité. Dans ce cas, il n'est pas possible d'exprimer une plage d'incertitude autrement que par l'étendue des résultats.

Résultat des calculs pour la variable CO2

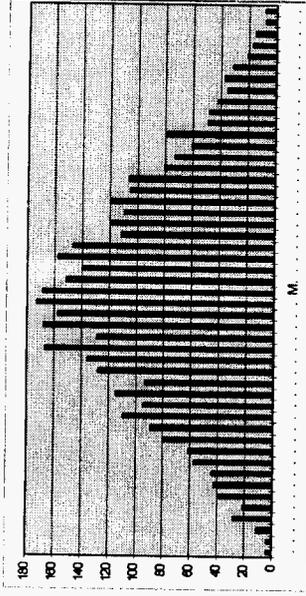
Selon la formule $CO_2 = CO_{2elec} * (ELEC / Celec) + CO_{2PE} + (var1 * PE - var2 * CO)$

CO2elec = 46100 g
 ELEC = 580 Wh
 Celec = 10000 Wh
 CO2PE = 800 g

var1 = 3,1428
 var2 = 1,5714
 PE = 1000 g
 CO = 1,3 g

Scénario 1 (=10%)

Moyenne	4 207,21
Médiane	4 204,59
Ecart type (valeur)	262,61
Ecart type (en % de la moyenne)	6,25%
Minimum	3 552,51
Maximum	4 933,95
Etendue	1 381,44

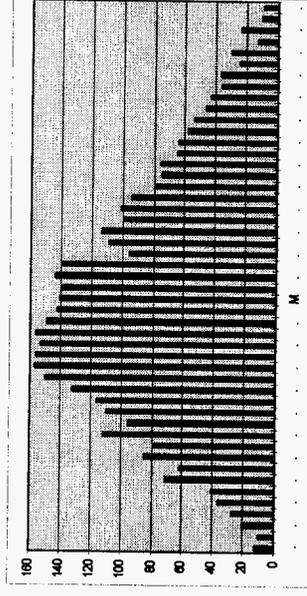


Ecart type
 (en % de la moyenne)

6,25%

Scénario 2 (=30%)

Moyenne	4 220,45
Médiane	4 147,84
Ecart type (valeur)	797,50
Ecart type (en % de la moyenne)	19,23%
Minimum	2 477,18
Maximum	6 367,91
Etendue	3 890,73

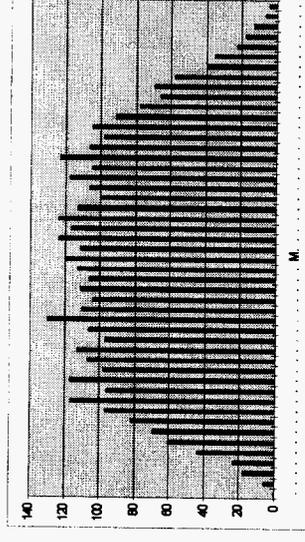


Ecart type
 (en % de la moyenne)

19,23%

Scénario 3 (=10 % sauf var1=30%)

Moyenne	4 217,86
Médiane	4 220,11
Ecart type (valeur)	578,26
Ecart type (en % de la moyenne)	13,70%
Minimum	2 961,62
Maximum	5 623,82
Etendue	2 662,20



Ecart type
 (en % de la moyenne)

13,70%

⇒ Cette illustration de la propagation de l'incertitude des paramètres a été menée pour un autre flux, le CO₂ pour lequel les interprétations et les conclusions se montrent très semblables à celles du CO₂, avec la "var2" comme paramètre dominant.

Variables	CO ₂ elec (g)	ELEC (Wh)	Celec	CO ₂ PE (g)	var1	PE (g)	var2	CO(g)	CO ₂ (g)
Valeur	46 100	580	100 000	800	3,143	1 000	1,57	1,3	3,02
Facteur variation (Scénario 1)	10 %	10 %	10 %	10 %	10 %	--	10%	10%	6,26%
Facteur variation (Scénario 2)	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	--	30%	30%	19,23%
Facteur variation (Scénario 3)	30 %	10 %	10 %	10 %	10 %	--	10%	10%	13,70%

ANNEXES

Annexe 1

**Processus 3 : Incinération des emballages en PE
Calcul théorique du bilan massique**

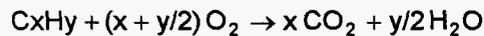
Annexe 2

**Processus 3 : Incinération des emballages en PE
Développement des calculs relatifs aux relations entre les
variables**

L'emballage considéré étant en polyéthylène (de formule $H-(C_2H_4)_n-H$), nous estimons que le carbone et l'hydrogène représentent respectivement 6/7 et 1/7 en masse de la molécule. Par la suite, nous raisonnons par rapport à 1 kg de PE.

- ✓ Dans un premier temps, nous nous plaçons dans des conditions de combustion complète et sans excès d'air.

La combustion du PE peut s'écrire de la manière suivante :



Aussi, en considérant les relations existantes entre les nombres de mole, on en déduit le besoin en oxygène pour réaliser la combustion, le volume d'air nécessaire en entrée, et les caractéristiques des fumées (voir tableau suivant).

Déchet	Oxygène	Fumées
Carbone : $\frac{857,14}{12} = 71,4$ moles	→ 71,4 moles	CO ₂ : 71,4 moles
Hydrogène : $\frac{142,86}{2} = 71,43$ moles	→ 35,71 moles	H ₂ O : 71,43 moles
Combustion	107,11 moles	O ₂ : 0 N ₂ : 403,8 moles

Comme 107,11 moles d'oxygène sont utilisées pour la combustion complète d'1 kg de PE, alors 510,9 moles d'air* sont nécessaires, dont 403,8 moles d'azote qui se retrouvent dans les fumées.

Le volume d'air théorique pour la combustion d'1 kg de PE est donc de 11,44 Nm^{3**}. Le volume des fumées humides est lui de 12,24 Nm³ et le volume des fumées sèches de 10,64 Nm³ (sans les 71,43 moles d'H₂O).

- ✓ Dans les conditions réelles, nous considérons un excès d'air (e) de 100 %, c'est-à-dire un coefficient d'excès d'air (λ) égal à 2.

En effet, on a : $\lambda = \frac{V_{\text{air réel}}}{V_{\text{air théorique}}}$

et $e = \frac{V_{\text{air réel}} - V_{\text{air théorique}}}{V_{\text{air théorique}}} \times 100$

* Dans l'air, 3,77 moles d'azote sont attribuées pour 1 mole d'oxygène

** Volume d'air (m³) = n_{air} x 22,4 . 10⁻³

On recalcule alors les paramètres relatifs à la combustion d'1 kg de PE :

Comburant (air : O ₂ + N ₂)	Fumées
$V_{\text{air réel}} = 2 \times V_{\text{air th}} = 22,88 \text{ Nm}^3$ $n_{\text{air}} = 1021,8 \text{ moles}$ dont 807,6 moles d'azote et 214,2 moles d'oxygène	CO ₂ : 71,4 moles H ₂ O : 71,43 moles N ₂ : 807,6 moles O ₂ : 107,1 moles $V_{\text{fumées hum.}} = 23,69 \text{ Nm}^3$

Le bilan massique de la combustion du PE est alors le suivant :

Déchet	Comburant	Fumées
1 kg	O ₂ : 6 854,4 g N ₂ : 22 612,8 g	CO ₂ : 3 141,6 g H ₂ O : 1 285,7 g O ₂ : 3 427,2 g N ₂ : 22 612,8 g
Total : 1 kg	29 467,2 g	30 467,3 g

Annexe 2**Processus 3 : Incinération des emballages en PE
Développement des calculs relatifs aux relations entre les
variables**

Les calculs sont développés pour les molécules présentes dans les fumées ci-après :
 O_2 , NO_x , CO_2 , N_2 , H_2O , CO , SO_2 .

Oxygène

L'oxygène dépend de l'oxygène présent en entrée et de l'oxygène ayant réagi avec le carbone et l'hydrogène lors de la combustion.

$$\begin{cases} n_{O_2\text{entrée}} = n_{O_2\text{th}} \times \lambda = (n_c + \frac{1}{2} n_{H_2}) \times \lambda \\ n_{O_2\text{comb}} = n_c + \frac{1}{2} n_{H_2} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} m_{O_2} &= (n_{O_2\text{entrée}} - n_{O_2\text{comb}}) \times M_{O_2} \\ &= (n_c + \frac{1}{2} n_{H_2}) (\lambda - 1) \times M_{O_2} \\ &= \left(\frac{m_c}{M_c} + \frac{1}{2} \frac{m_{H_2}}{M_{H_2}} \right) (\lambda - 1) \times M_{O_2} \\ &= \left(\frac{6}{7} \times m_{PE} \times \frac{1}{12} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{7} m_{PE} \times \frac{1}{2} \right) (\lambda - 1) \times M_{O_2} \\ &= \left(\frac{1}{14} m_{PE} + \frac{1}{28} m_{PE} \right) (\lambda - 1) \times M_{O_2} \\ &= \frac{3}{28} \times m_{PE} (\lambda - 1) \times 32 \end{aligned}$$

$$m_{O_2} = \frac{24}{7} \times m_{PE} \times (\lambda - 1) \quad (1)$$

Rappel : λ : coefficient d'excès d'air, $\lambda = \frac{V_{\text{air réel}}}{V_{\text{air th.}}}$

A un degré moindre, voire négligeable, l'oxygène dépend également de l' O_2 consommé lors de la formation de divers composés oxygénés tels que le SO_2 , le NO_x et le CO .

Il faut alors soustraire à l'équation (1) les masses d'oxygène nécessaires à leur formation (rapportées des équations (3), (10), (12)).

$$\text{On a alors : } m_{O_2} = \frac{24}{7} m_{PE} (\lambda - 1) - \frac{1}{2} m_{SO_2} - \frac{8}{57} m_{NO_x} - \frac{4}{7} m_{CO} \quad (2)$$

Oxydes d'azote

La combinaison de l'azote avec l'oxygène se produit généralement à de hautes températures de combustion. Jusqu'à 950 °C, tout l'azote de l'air en entrée se retrouve sous forme d'azote dans les fumées. Au-delà de cette température, il y a production d'oxydes d'azote (NO et NO₂).

Pour les calculs, nous estimons une production équivalente d'oxyde et de dioxyde d'azote.

$$\text{d'où } n_{\text{NOx}} = n_{\text{NO}} + n_{\text{NO}_2} \quad \text{avec : } \begin{cases} \text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO} & , \quad n_{\text{NO}} = 2n_{\text{O}_2} \\ \frac{1}{2} \text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2 & , \quad n_{\text{NO}_2} = n_{\text{O}_2} \end{cases}$$

$$\text{On a alors : } n_{\text{NOx}} = 3n_{\text{O}_2}$$

$$m_{\text{O}_2} = \frac{1}{3} \frac{M_{\text{O}_2}}{M_{\text{NOx}}} \cdot m_{\text{NOx}} \quad \text{avec } M_{\text{NOx}} = (M_{\text{NO}} + M_{\text{NO}_2}) = 76 \text{ g/mol}$$

$$m_{\text{O}_2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{32}{76} \times m_{\text{NOx}}$$

$$\boxed{m_{\text{O}_2} = \frac{8}{57} \times m_{\text{NOx}}} \quad (3)$$

$$\text{Et aussi, avec : } \begin{cases} n_{\text{NO}} = 2n_{\text{N}_2} \\ n_{\text{NO}_2} = 2n_{\text{N}_2} \end{cases}$$

$$\text{On a : } n_{\text{NOx}} = n_{\text{NO}} + n_{\text{NO}_2} = 4n_{\text{N}_2}$$

$$\text{D'où : } m_{\text{N}_2} = \frac{M_{\text{N}_2}}{M_{\text{NOx}}} \times \frac{1}{4} \times m_{\text{NOx}}$$

$$m_{\text{N}_2} = \frac{28}{32} \times \frac{1}{4} \times m_{\text{NOx}}$$

$$\boxed{m_{\text{N}_2} = \frac{7}{38} \times m_{\text{NOx}}} \quad (4)$$

Dioxyde de carbone

En faisant l'hypothèse d'une combustion complète, le nombre de moles de CO_2 est égal au nombre de moles de carbone dans le PE.

$$\begin{aligned}n_{\text{CO}_2} &= n_{\text{C}} \\m_{\text{CO}_2} &= \frac{M_{\text{CO}_2}}{M_{\text{C}}} \times m_{\text{C}} = \frac{44}{12} \times \frac{6}{7} \times m_{\text{PE}} \\m_{\text{CO}_2} &= \frac{22}{7} \times m_{\text{PE}} \quad (5)\end{aligned}$$

A un degré moindre, voire négligeable, le dioxyde de carbone dépend également du carbone consommé lors de la formation de l'oxyde de carbone.

Il faut alors soustraire à l'équation (5) la masse nécessaire à la formation de ce composé (équation (11)).

On a alors :

$$m_{\text{CO}_2} = \frac{22}{7} \times m_{\text{PE}} - \frac{11}{7} \times m_{\text{CO}} \quad (6)$$

Par ailleurs, la quantité d'oxygène nécessaire à la formation de dioxyde de carbone est :

$$\begin{aligned}n_{\text{O}_2} &= n_{\text{CO}_2} \\m_{\text{O}_2} &= \frac{M_{\text{O}_2}}{M_{\text{CO}_2}} \times m_{\text{CO}_2} = \frac{32}{44} \times m_{\text{CO}_2} \\m_{\text{O}_2} &= \frac{8}{11} \times m_{\text{CO}_2} \quad (7)\end{aligned}$$

Azote

L'azote est proportionnel au volume d'air en entrée et dépend de la formation de NO_x (voir la partie "oxydes d'azote").

On a :

$$n_{\text{N}_2} = n_{\text{N}_2\text{entrée}} - n_{\text{N}_2\text{pour NOx}}$$

Comme

$$n_{\text{N}_2\text{entrée}} = n_{\text{N}_2\text{th}} \times \lambda = 3,77 \times n_{\text{O}_2\text{th}} \times \lambda$$

et

$$n_{\text{O}_2\text{th}} = n_{\text{O}_2\text{comb}} = n_{\text{C}} + \frac{1}{2} n_{\text{H}_2} = \frac{3}{28} m_{\text{PE}} \quad (\text{voir la partie "oxygène"})$$

alors

$$n_{\text{N}_2} = 3,77 \times \frac{3}{28} \times m_{\text{PE}} \times \lambda - n_{\text{N}_2\text{pour NOx}}$$

$$m_{\text{N}_2} = 3,77 \times 3 m_{\text{PE}} \times \lambda - \frac{7}{38} m_{\text{NOx}} \quad (8)$$

Eau

La réaction exothermique de l'hydrogène avec l'oxygène découlant de sa combustion aboutit à la formation d'eau.

On a : $n_{\text{H}_2\text{O}} = n_{\text{H}_2}$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2}} \times m_{\text{H}_2} = \frac{18}{2} \times \frac{1}{7} m_{\text{PE}}$$

$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{9}{7} \cdot m_{\text{PE}}$ (9)

Monoxyde de carbone

La formation de monoxyde de carbone dépend des conditions de combustion du déchet. Elle a lieu en cas de combustion en milieu réducteur, c'est-à-dire par manque d'air et donc d'oxygène. L'apport d'air dans un second temps permet de poursuivre la combustion et aboutit à l'émission de CO_2 .

Ainsi, dans des conditions de combustion avec excès d'air, on voit que la formation de monoxyde de carbone est négligeable. Toutefois, en cas de formation de monoxyde de carbone, la consommation d'oxygène serait :

On a : $2\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$, $n_{\text{O}_2} = \frac{1}{2} n_{\text{CO}}$

$$m_{\text{O}_2} = \frac{M_{\text{O}_2}}{M_{\text{CO}}} \times \frac{1}{2} m_{\text{CO}} = \frac{32}{28} \times \frac{1}{2} m_{\text{CO}}$$

$m_{\text{O}_2} = \frac{4}{7} \cdot m_{\text{CO}}$ (10)

Le dioxyde de carbone qui, lui, ne serait pas formé, serait :



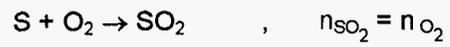
$$m_{\text{CO}_2} = \frac{M_{\text{CO}_2}}{M_{\text{CO}}} \times m_{\text{CO}} = \frac{44}{28} \cdot m_{\text{CO}}$$

$m_{\text{CO}_2} = \frac{11}{7} \times m_{\text{CO}}$ (11)

Dioxyde de soufre

Le soufre peut provenir des bouteilles en PE par le biais des étiquettes (colorants). Nous estimons donc que la masse de dioxyde de soufre est proportionnelle à la masse de bouteilles en PE.

Par ailleurs, l'oxygène nécessaire à la formation de dioxyde de soufre est :



$$m_{\text{O}_2} = \frac{M_{\text{O}_2}}{M_{\text{SO}_2}} \times m_{\text{SO}_2} = \frac{32}{64} \times m_{\text{SO}_2}$$

$$\boxed{m_{\text{O}_2} = \frac{1}{2} m_{\text{SO}_2}} \quad (12)$$
