

Introduction à l'écologie industrielle

Cours du Prof. Suren ERKMAN

Séance du 18 janvier 2007

Master SIE - ENAC - EPFL - 2006 / 2007

Programme:

17 janvier: Stratégie de maturation (dématérialisation)

25 janvier: Stratégie de maturation (décarbonisation)

1er février: Trajectoires technologiques

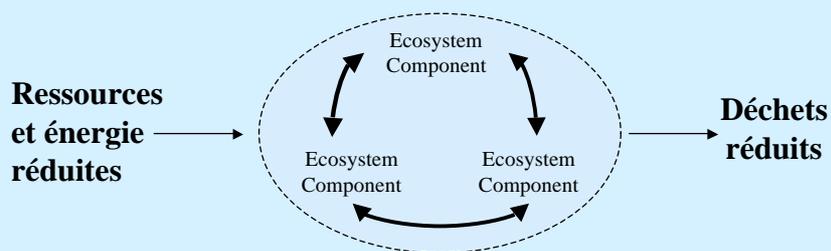
8 février: Genève + PVD

Ecosystème «Type I»



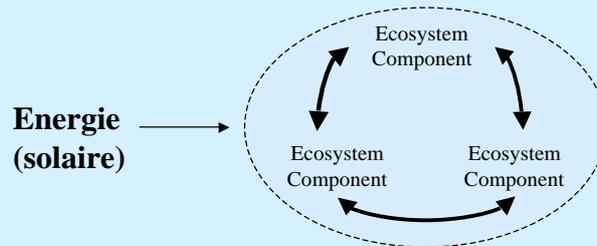
- Ressources «illimitées»
- Déchets «illimités»

Ecosystème «Type II»



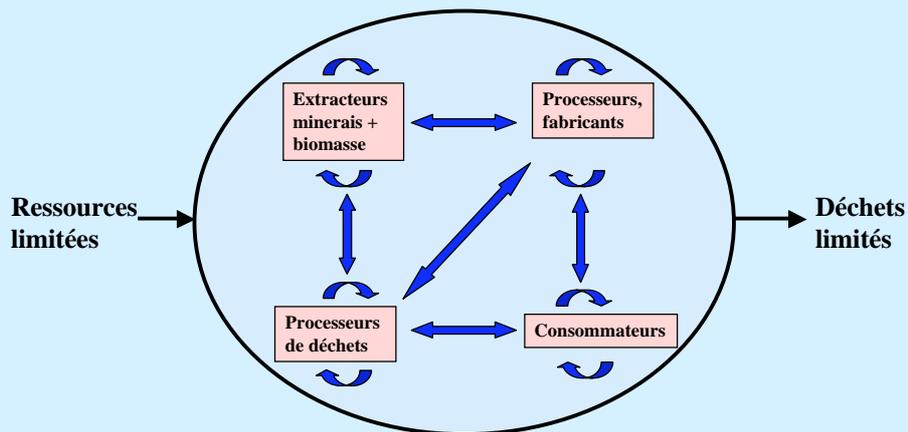
- Ressources limitées
- Déchets limités

Ecosystème «Type III»



- Faible consommation de ressources
- Flux de matière quasi-cycliques

Ecosystème industriel «mature»



- «Extracteurs»
- «Processeurs» matériaux
- «Processeurs» déchets
- «Consommateurs»

Ecosystèmes « juvéniles »

Exemple: agriculture intensive

- **Faible recyclage de la matière, flux de matière ouverts**
- **Peu d'interactions entre espèces**
- **Compétition entre espèces**
- **Chaînes alimentaires simples**
- **Productivité élevée**

Ecosystèmes « matures »

Exemple: forêt adulte

- **Fort taux de recyclage des éléments**
- **Flux de matière quasi-cycliques**
- **Interactions complexes entre espèces: symbiose, parasitisme, etc.**
- **Chaînes alimentaires complexes**
- **Productivité faible**

Stratégie de «maturation» des écosystèmes industriels:

1) Boucler

But: flux de matière quasi-cycliques

2) Etanchéifier

But: minimiser les pertes dissipatives durant la totalité du cycle de vie

3) Dématérialiser (Intensifier)

But: accroître la quantité de services par unité de matière (dématérialiser)

4) Equilibrer (Alléger, Décarboniser)

But: décarboniser la diète industrielle

1) Boucler

But: flux de ressources quasi-cycliques

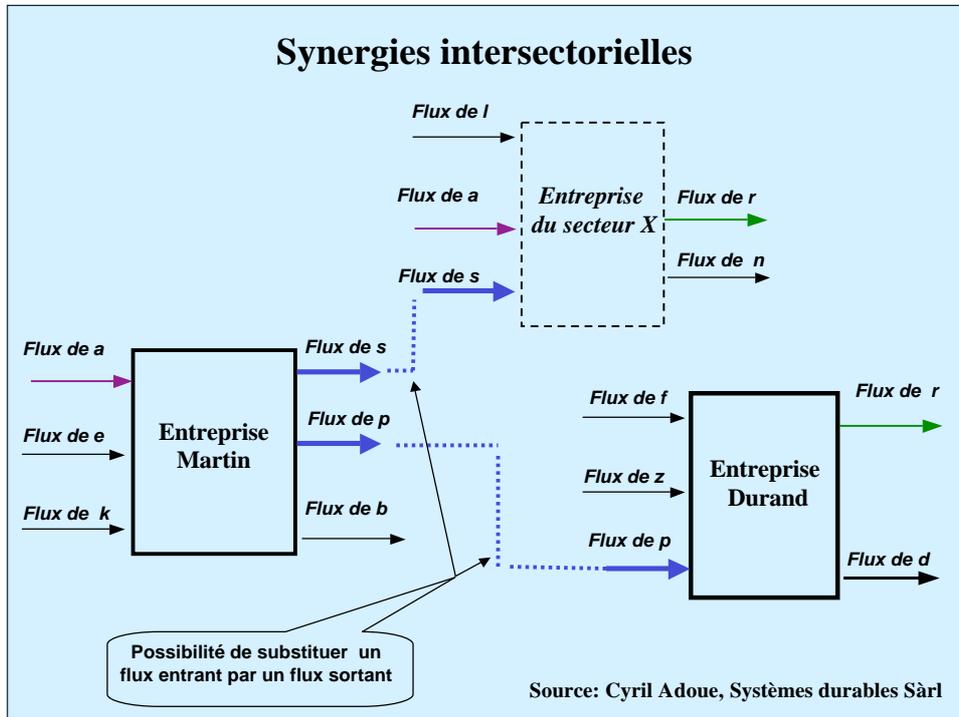
- **Recyclage (au sens usuel)**

- **Réseaux éco-industriels**

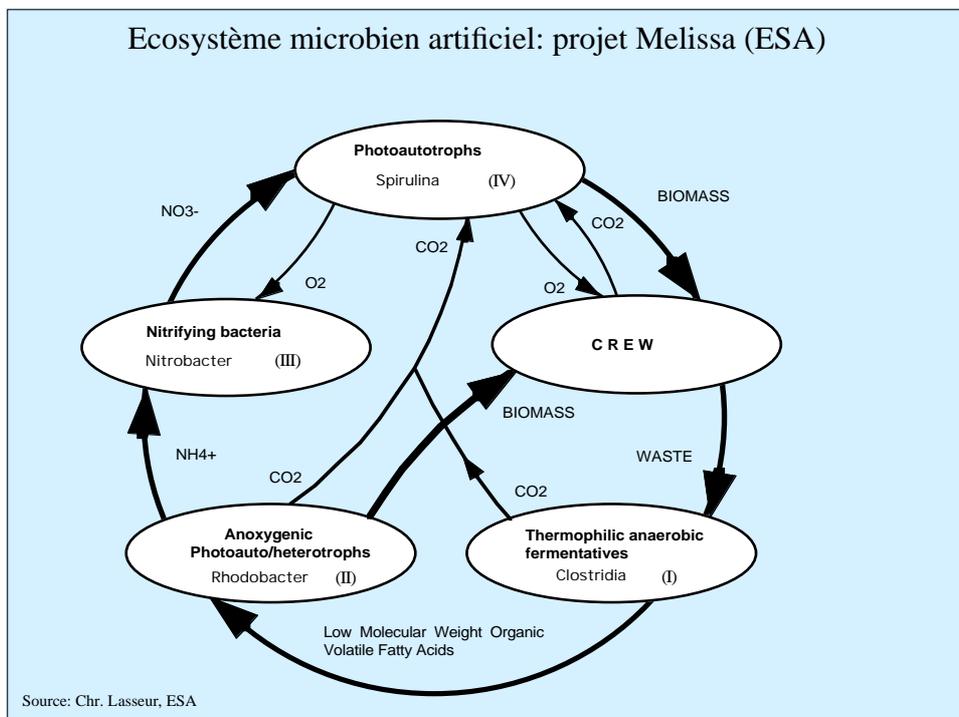
–Qui prend soin du système? Comment? Selon quelles modalités?

- **«Systèmes de valorisation»:** intégration de techniques physico-chimiques, biotechnologiques, etc.

Synergies intersectorielles



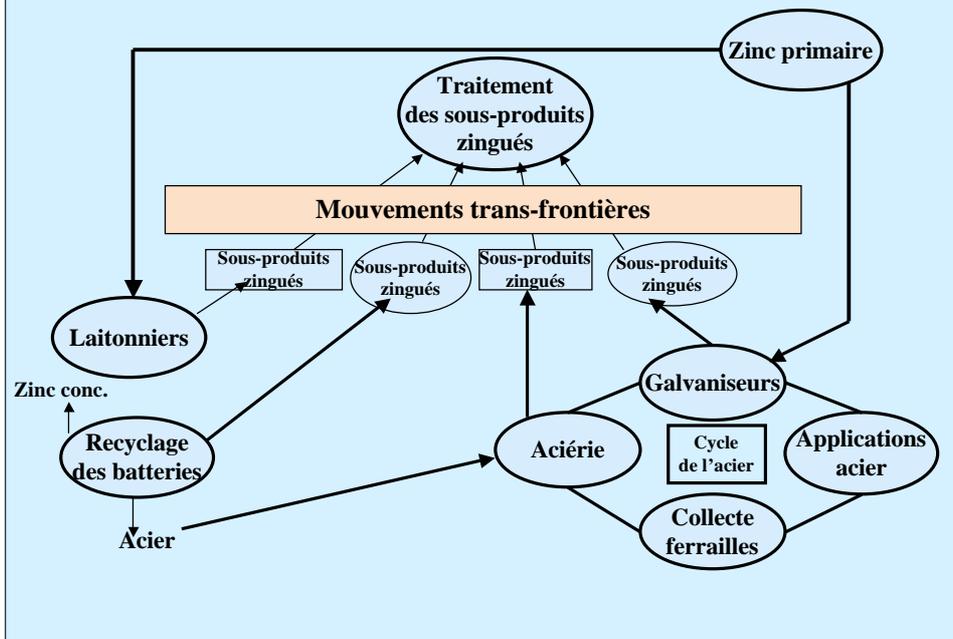
Ecosystème microbien artificiel: projet Melissa (ESA)



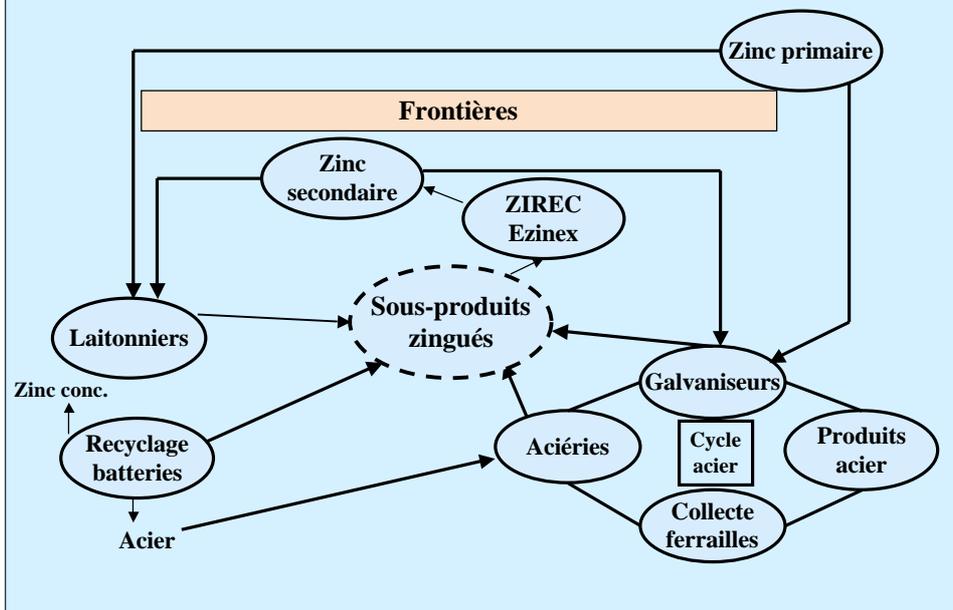
La gestion des sous-produits zingués en Suisse



Gestion actuelle des sous-produits zingués en Suisse



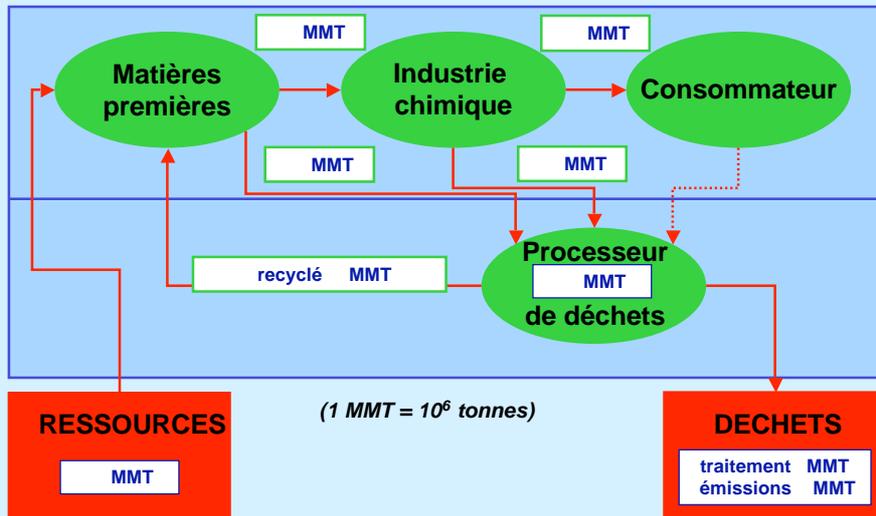
Gestion future des sous-produits zingués en Suisse



2) Etanchéifier

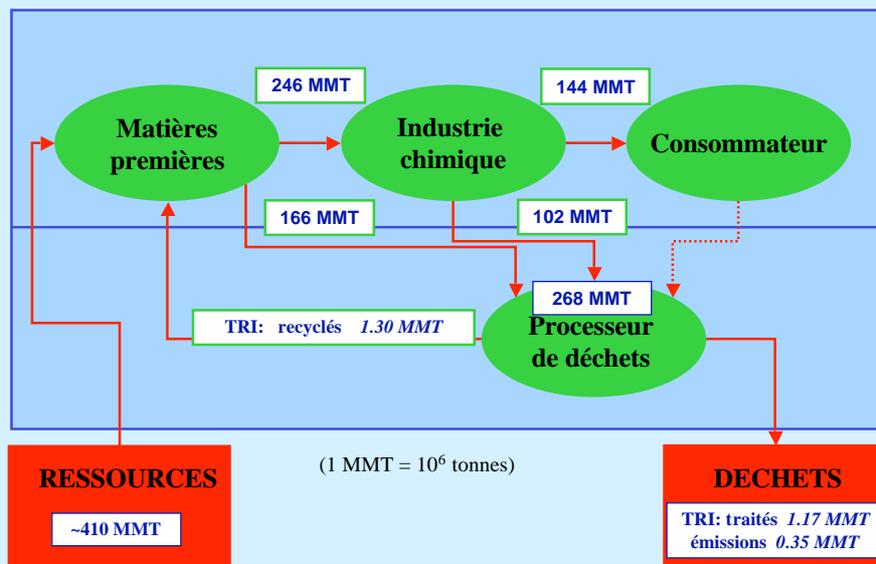
- **Objectif:** minimiser ou rendre bénignes les pertes dissipatives durant tout le cycle de vie des produits et des services
- **Exemples:**
 - Green Chemistry
 - Economie atomique, mécanosynthèse
 - «Rent a molecule» (solvants de Dow)
 - Production «on site on demand»

Flux de matières dans l'industrie chimique:



Source: Colin Francis

Estimation des flux de matières pour l'industrie chimique (USA)



Source: Colin Francis; USA, 1988; données TRI pour 1991)

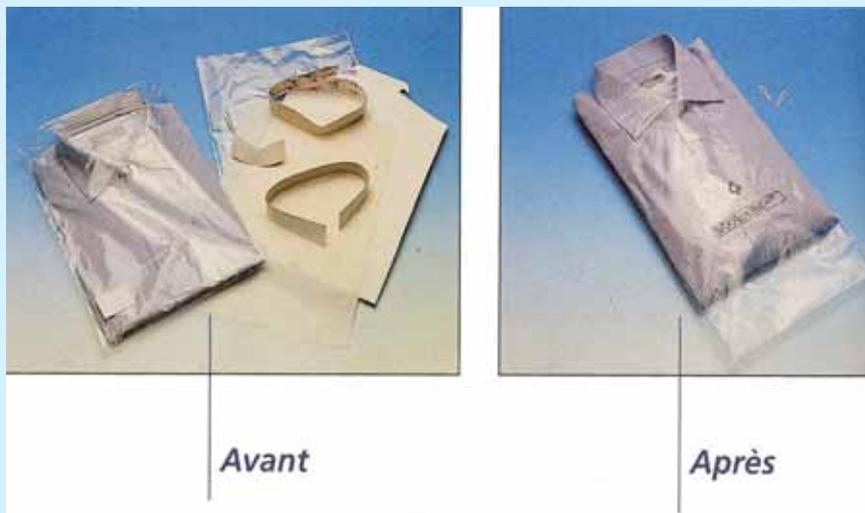
**Industrie électronique:
production «on site, on demand» de l'arsine (1)**

- **Arsine (AsH₃): gaz mortel utilisé pour la fabrication de semiconducteurs**
- **Tentatives de variantes moins toxiques par alkylation (rajout de groupes RCH₂): pas concluant.**
- **Solution, analogue à certains processus biologiques: synthèse «on site, on demand», par procédé électrochimique (cathode en As métallique, dans une cellule électrolytique avec KOH).**

**Industrie électronique:
production «on site, on demand» de l'arsine (2)**

- **Intérêt de l'électrochimie: les réactions se déroulent généralement à T et P ambiantes, et sont en général plus sélectives que par thermochimie.**
- **Licence croisée AT&T / Electron Transfer Technologies (1989). Premier brevet déposé par Texas Instruments en... 1968.**
- **Donc: la pression pour de tels changements proviendra des utilisateurs, pas des fabricants, de ces produits chimiques.**

Prévention des pertes dissipatives par dématérialisation



Source: Catalogue de la prévention des déchets, ministère de l'environnement, Paris

Prévention des déchets d'emballages Les 3 Suisses

BILAN	%	tonne
EMBALLAGE DE VENTE		
CARTON		-17,5 t.
PE		-1 t.
AUTRES PLASTIQUES		-2 t.
ACIER		-0,5 t.
TOTAL DES RÉDUCTIONS ANNUELLES	70%	-21 t.

Source: Catalogue de la prévention des déchets, ministère de l'environnement, Paris

3) Demat rialisation

Objectif:

Découpler les activités économiques et la consommation de ressources matérielles.

Demat rialisation

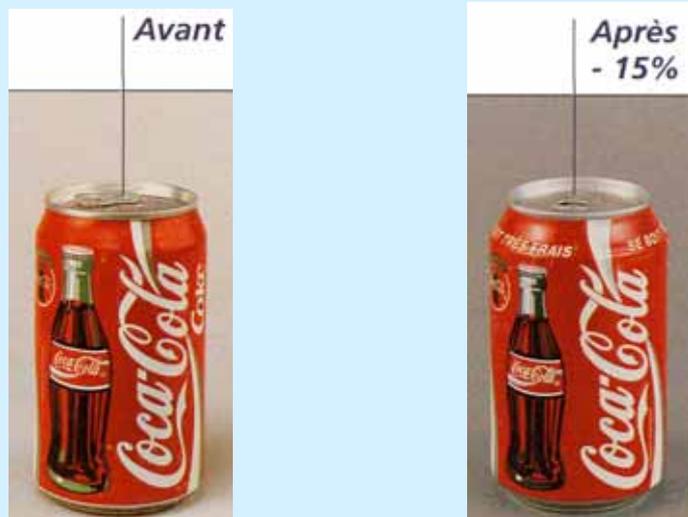
Dématérialisation relative:

Plus de produits et de services avec proportionnellement moins de ressources («Facteur 4»).

Dématérialisation absolue:

Diminution en valeur absolue de la consommation de ressources («Club du Facteur 10»).

Dématérialisation des emballages



Source: Catalogue de la prévention des déchets, ministère de l'environnement, Paris

Dématérialisation des emballages (Coca Cola)

BILAN	%	tonne
EMBALLAGE DE VENTE		
ALUMINIUM	15%	-830 t.
TOTAL DES RÉDUCTIONS ANNUELLES		-830 t.

Source: Catalogue de la prévention des déchets, ministère de l'environnement, Paris

Dématérialisation des emballages



Source: Catalogue de la prévention des déchets, ministère de l'environnement, Paris

Dématérialisation des emballages (Nestlé)

BILAN	%	tonne
EMBALLAGE DE VENTE		
COMPLEXE PAPIER/ALU/PE		-56 t.
CARTON		-106 t.
EMBALLAGE DE TRANSPORT		
FILM PE		-3 t.
TOTAL DES RÉDUCTIONS ANNUELLES	22%	-165 t.

Source: Catalogue de la prévention des déchets, ministère de l'environnement, Paris

Dématérialisation par compactification granulométrique



Source: Catalogue de la prévention des déchets, ministère de l'environnement, Paris

Dématérialisation par compactification (Nesquik)

BILAN	%	tonne
EMBALLAGE DE VENTE		
PEHD	9%	-41 t.
EMBALLAGE DE TRANSPORT		
CARTON ONDULÉ		-227 t.
TOTAL DES RÉDUCTIONS ANNUELLES		-268 t.

Source: Catalogue de la prévention des déchets, ministère de l'environnement, Paris

Dématérialisation (1)

- **La dématérialisation de la production peut entraîner une «rematérialisation» par la consommation**
- **Difficulté: comment mesurer la dématérialisation ?**
(Ex. Material Intensity per Service Unit - MIPS)

Dématérialisation (2)

- **Substitution de matériaux = transmatérialisation**
(ex: cuivre / fibre optique)
- **Immatérialisation \neq dématérialisation !**
(cf. «knowledge based economy»...)

Dématérialisation (3)

- **Autres avantages de la dématérialisation:**
 - **diminution des émissions dissipatives**
 - **diminution de la consommation d'énergie**

Dématérialisation (4)

- **Enjeu principal:**
la «dématérialisation systémique»
(infrastructures, domaine bâti, aménagement du territoire).

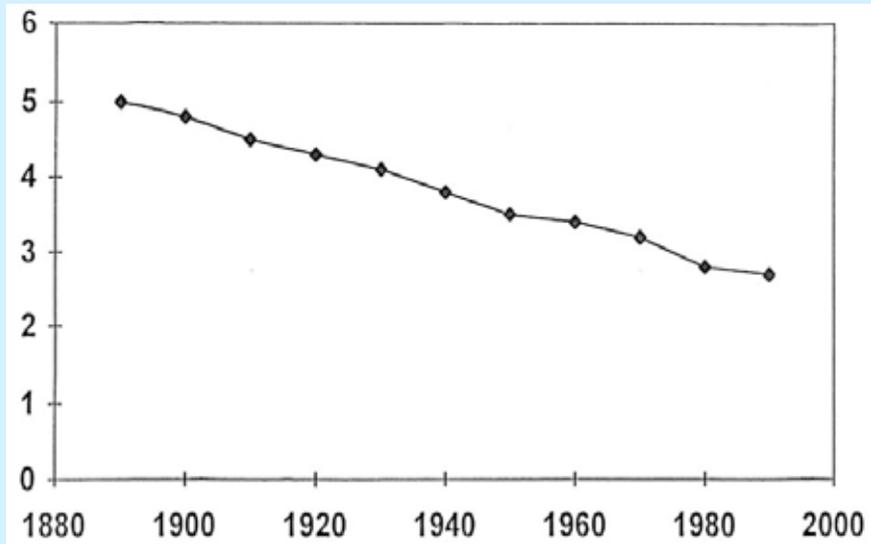


Compactification urbaine



Diminution des translocations

**Matérialisation de la fonction «habitat»
(Nombre d'occupants par unité d'habitation, USA)**

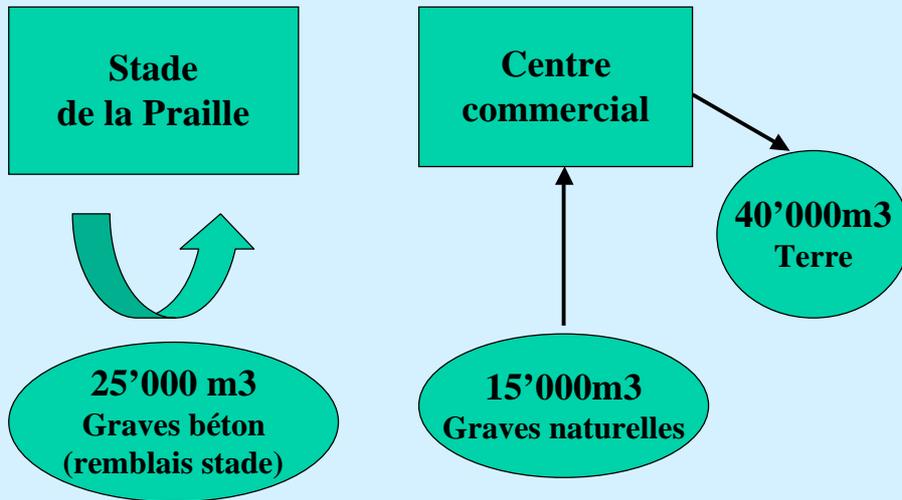


Source: I. Wernick, J. Ausubel

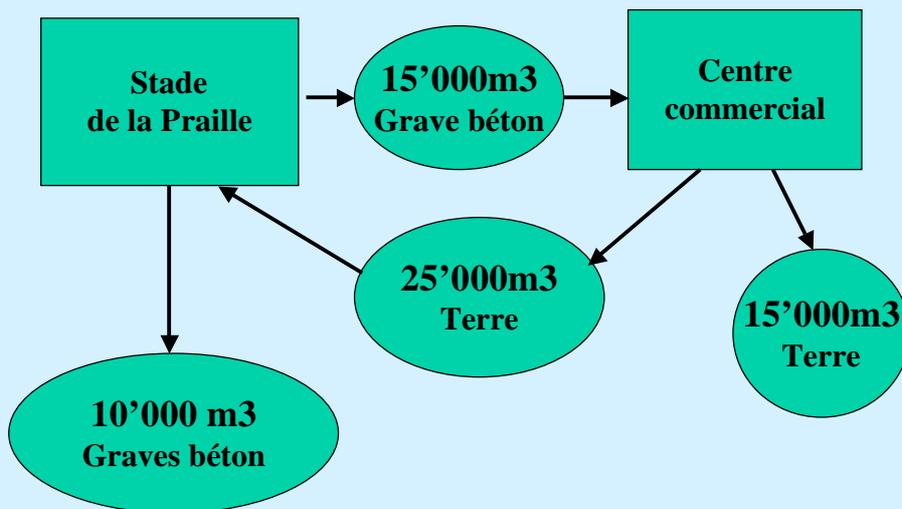
Construction du nouveau stade de Genève (mai 2002):



Translocations: pratique actuelle (ex. à Genève)



Translocations: option «écologie industrielle»



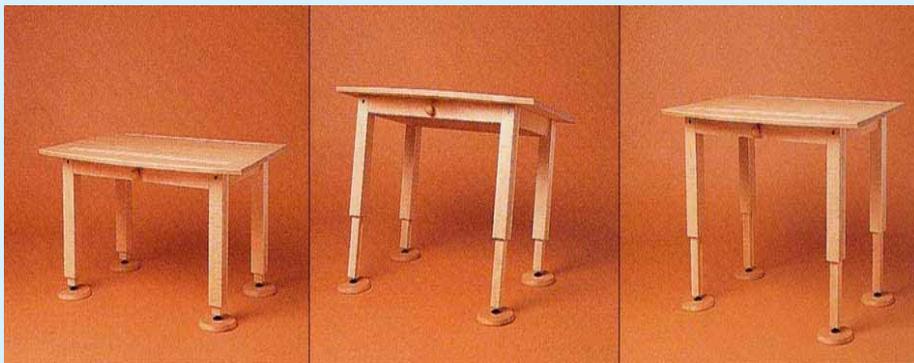
Dématérialisation (5)

Stratégie de la «durabilité»:

- 1) Réutilisation
- 2) Réparation
- 3) Remise en état («remanufacturing»)
- 4) Recyclage (dernière option!)

Walter Stahel, Institut de la durée: <http://www.product-life.org>

Dématérialisation par durabilité fonctionnelle



Dématérialisation (6)

Economie de fonctionnalité («functionality economy»)

Concept:

Vendre la fonction (le service) au lieu du produit.

Déplacement du «centre de gravité» de l'activité économique

Vendre la fonction au lieu du produit:

Exemple: le chauffage

Qu'est-ce que le Contracting?

Le contracting énergétique consiste à sous-traiter la planification, le financement, l'installation et l'exploitation d'installations de production d'énergie.

<http://www.swisscontracting.ch>

Economie de fonctionnalité (functionality economy)

Quelques implications (1):

- **Primauté des activités d'entretien**
- **Emplois plus nombreux, plus stables, plus variés**
- **Relocalisation de l'économie et des emplois**

Economie de fonctionnalité (functionality economy)

Quelques implications (2):

- **Ralentissement et diminution des flux de ressources**
(≠ recyclage!)
- **Nouvelle conception de la garantie**
- **«Rent a Molecule», etc.**

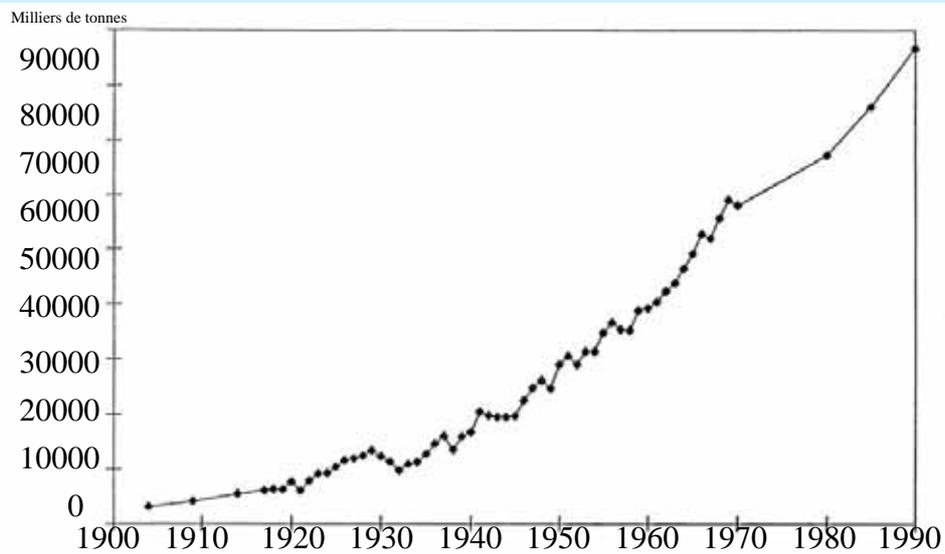
Dématérialisation (7)

Défi majeur:

«l'effet de rebond»

- Ex.: le bureau sans papier («paperless office»...)

«Effet de rebond»: consommation de papier 1900-1990, USA



Source: I. Wernick, J. Ausubel

L'économie de l'Internet et «l'effet de rebond»

**«Dig more coal --
the PCs are coming»**

Peter W. Huber, [Forbes Magazine](#), 31 mai 1999

**Une livre de charbon pour créer, stocker, transporter 2
MB de données... car aux USA, environ 60% de
l'électricité provient de la combustion du charbon.**

Premier

«Sommet mondial sur la société de l'information»

World Summit on Information Society (WSIS)

(Genève, 2003 ; Tunis, 2005)

<http://www.wsis.org>

<http://www.wsis.ethz.ch>