

# **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**

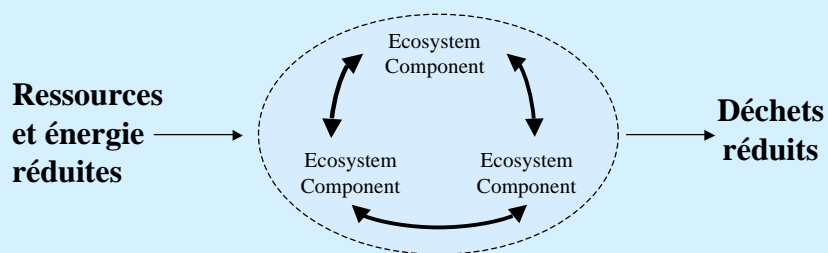
**8 février: Genève + PVD**

## Ecosystème «Type I»



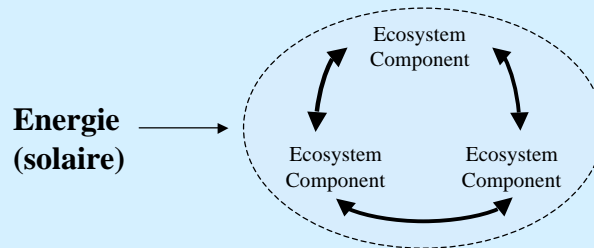
- Ressources «illimitées»
- Déchets «illimités»

## Ecosystème «Type II»



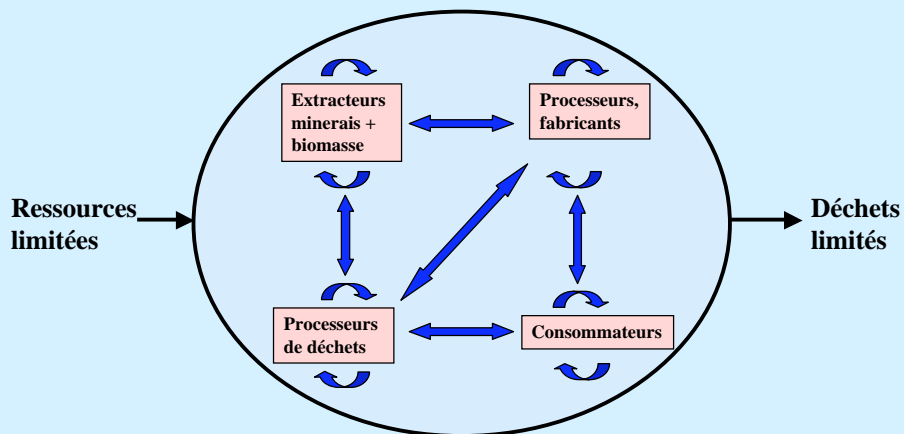
- Ressources limitées
- Déchets limités

## 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) Etanchéfier**

**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

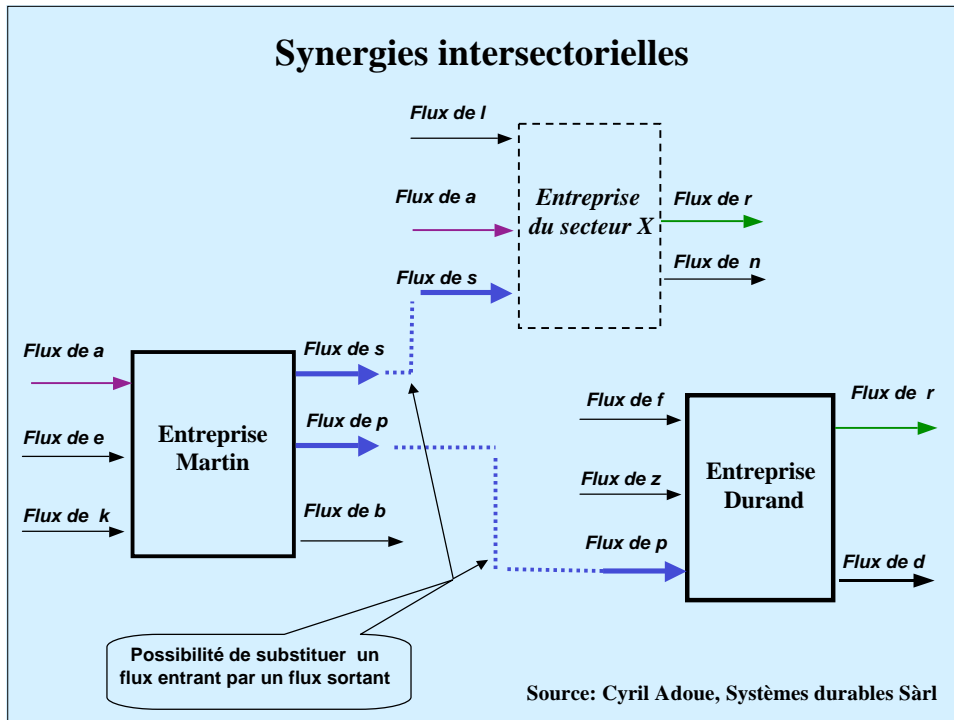
- **Recyclage (au sens usuel)**

- **Réseaux éco-industriels**

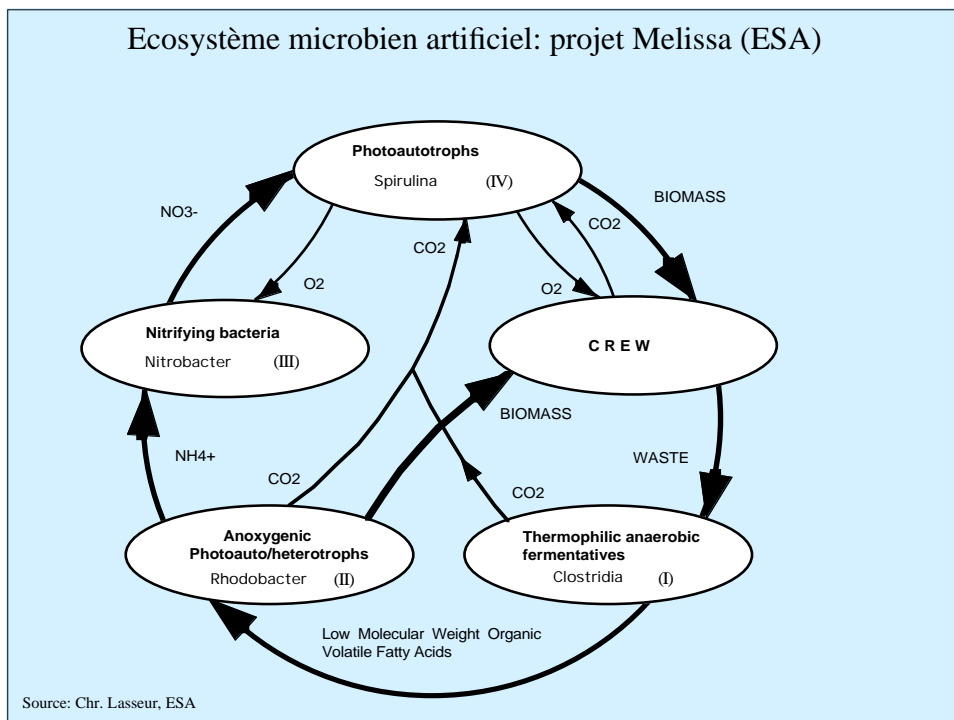
–Qui prend soin du système? Comment? Selon quelles modalités?

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

## Synergies intersectorielles



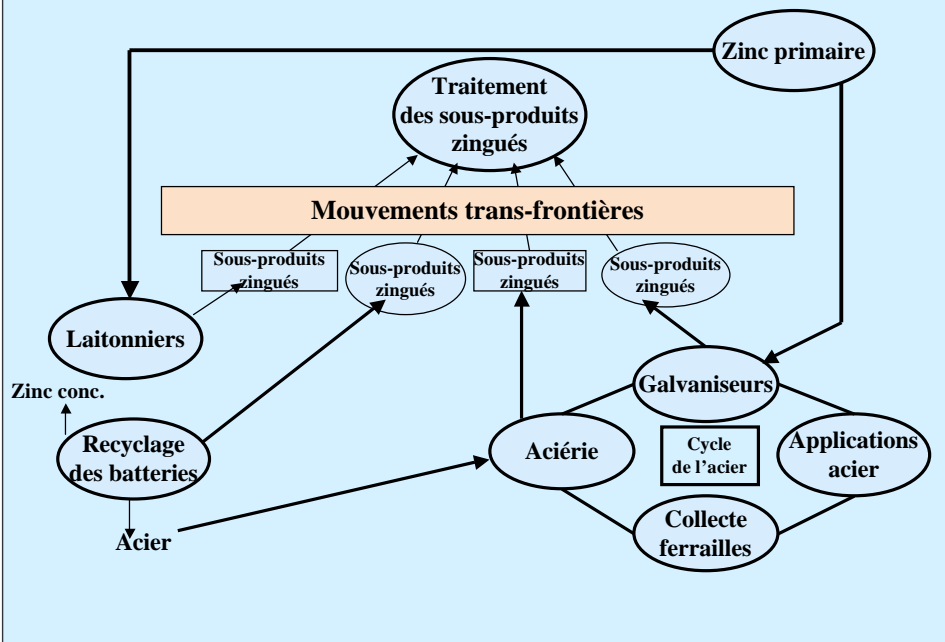
## Ecosystème microbien artificiel: projet Melissa (ESA)



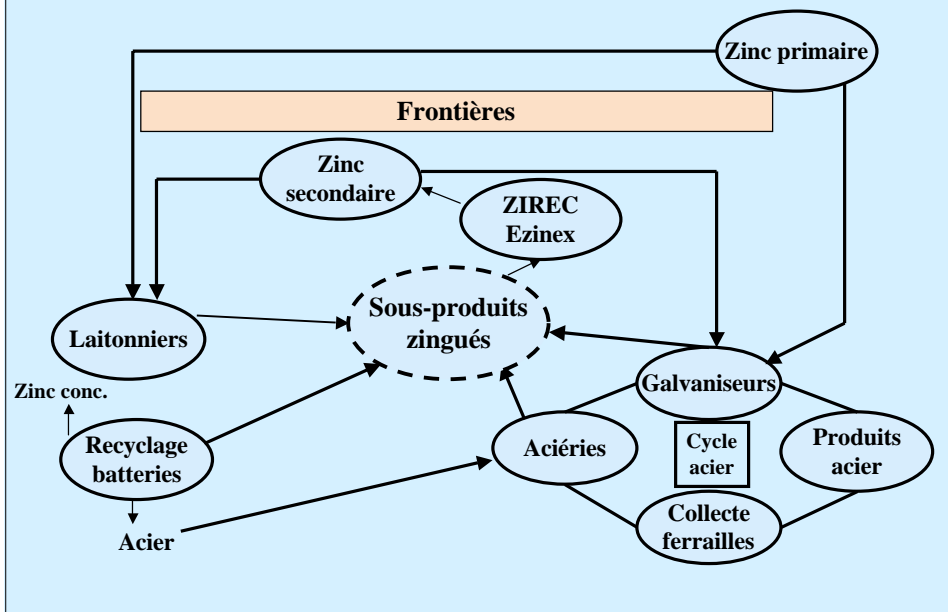
## La gestion des sous-produits zingués en Suisse



## Gestion actuelle des sous-produits zingués en Suisse



## Gestion future des sous-produits zingués en Suisse

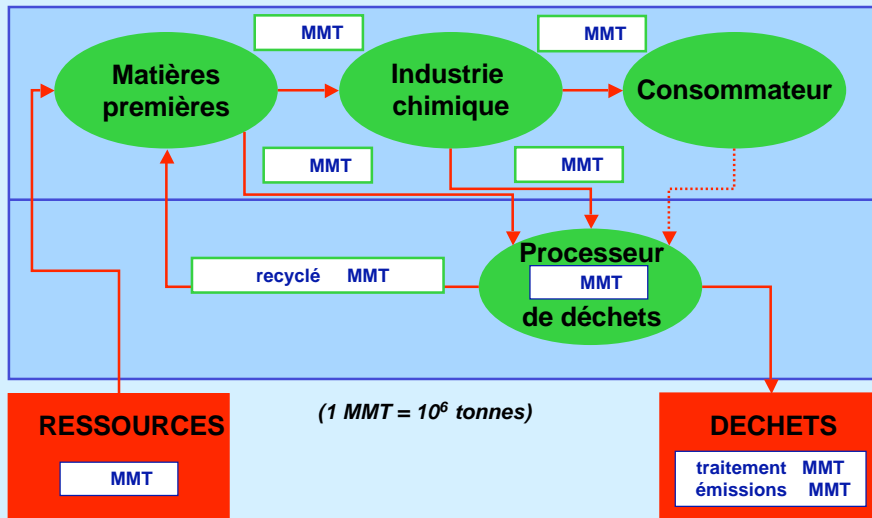


## 2) Etanchéifier

- **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»

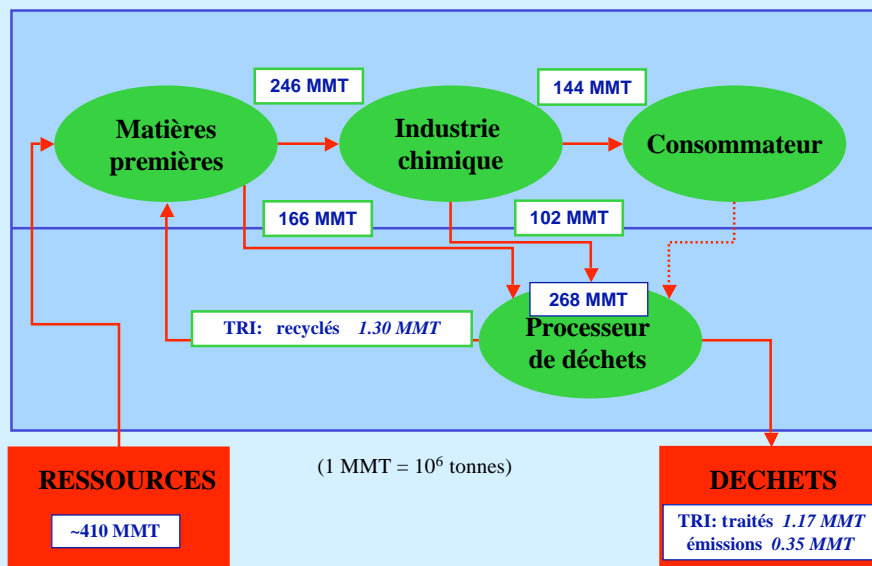


### Flux de matières dans l'industrie chimique:



Source: Colin Francis

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



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

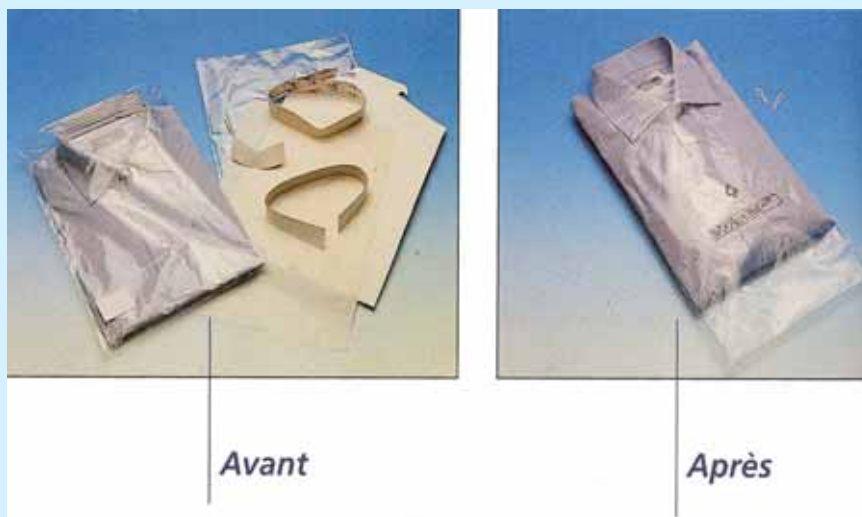
**Industrie électronique:  
production «on site, on demand» de l'arsine (1)**

- **Arsine (AsH<sub>3</sub>): gaz mortel utilisé pour la fabrication de semiconducteurs**
- **Tentatives de variantes moins toxiques par alkylation (rajout de groupes RCH<sub>2</sub>): 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         |
|---------------------------------------|-----|---------------|
| <b>EMBALLAGE DE VENTE</b>             |     |               |
| CARTON                                |     | -17,5 t.      |
| PE                                    |     | -1 t.         |
| AUTRES PLASTIQUES                     |     | -2 t.         |
| ACIER                                 |     | -0,5 t.       |
| <b>TOTAL DES RÉDUCTIONS ANNUELLES</b> | 70% | <b>-21 t.</b> |

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**

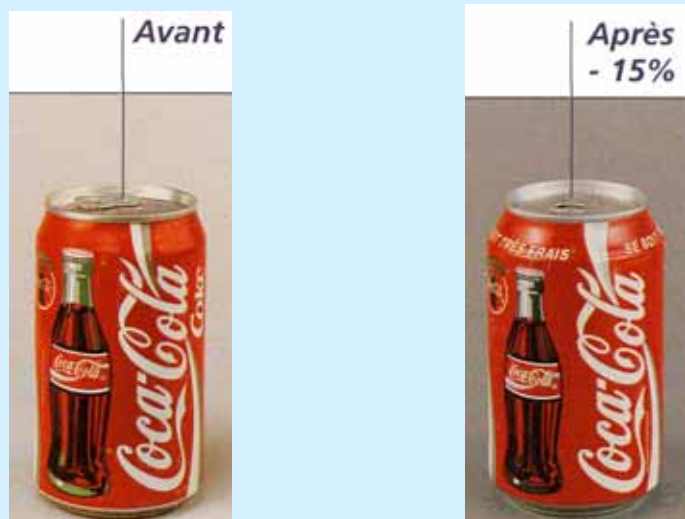
#### **Dématérialisation relative:**

**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          |
|---------------------------------------|-----|----------------|
| <b>EMBALLAGE DE VENTE</b>             |     |                |
| ALUMINIUM                             | 15% | -830 t.        |
| <b>TOTAL DES RÉDUCTIONS ANNUELLES</b> |     | <b>-830 t.</b> |

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

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          |
|---------------------------------------|----|----------------|
| <b>EMBALLAGE DE VENTE</b>             |    |                |
| PEHD                                  | 9% | -41 t.         |
| <b>EMBALLAGE DE TRANSPORT</b>         |    |                |
| CARTON ONDULÉ                         |    | -227 t.        |
| <b>TOTAL DES RÉDUCTIONS ANNUELLES</b> |    | <b>-268 t.</b> |

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).**

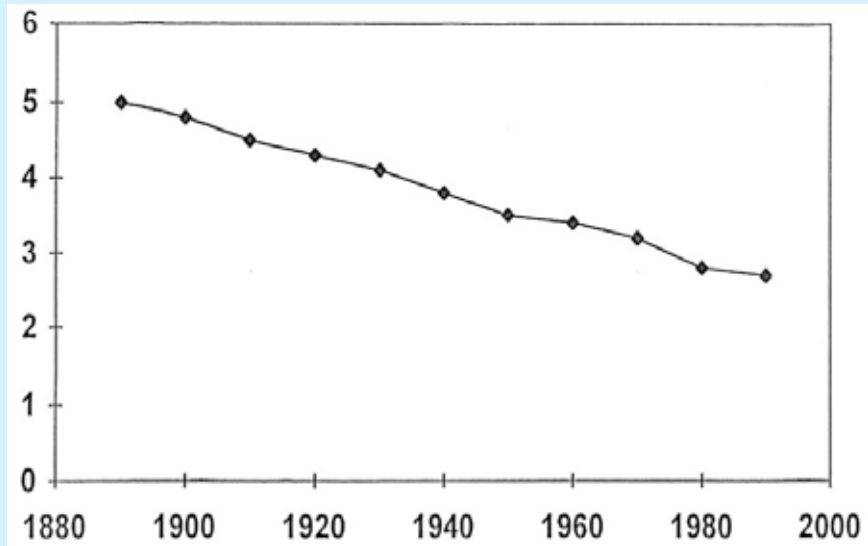


**Compactification urbaine**



**Diminution des translocations**

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

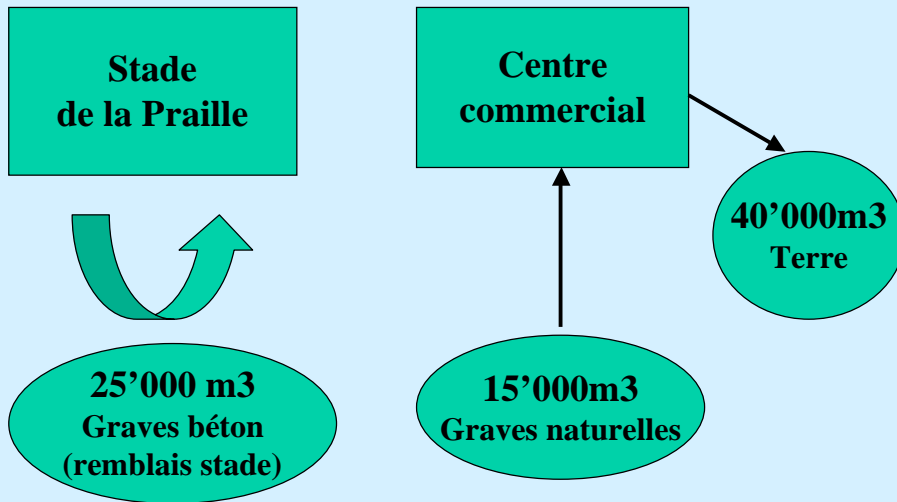


Source: I. Wernick, J. Ausubel

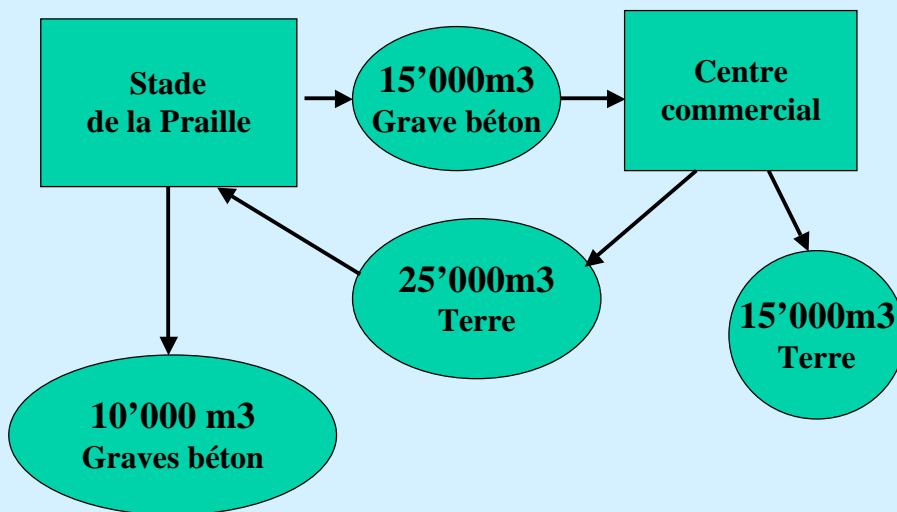
**Construction du nouveau stade de Genève (mai 2002):**



### Translocations: pratique actuelle (ex. à Genève)



### Translocations: option «écologie industrielle»



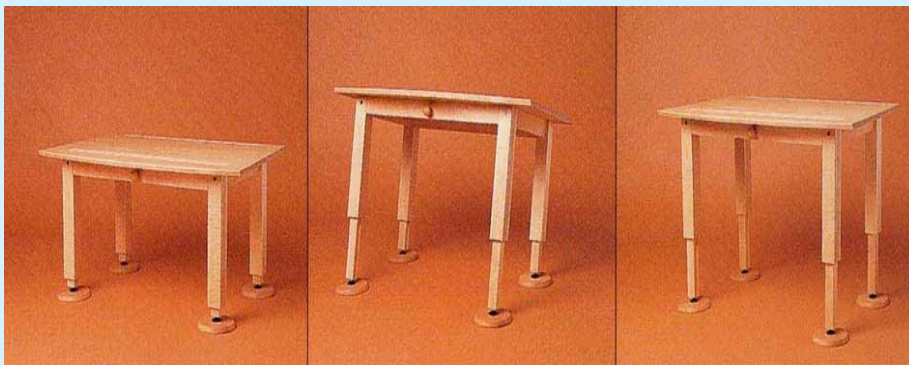
## Dématérialisation (5)

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.**

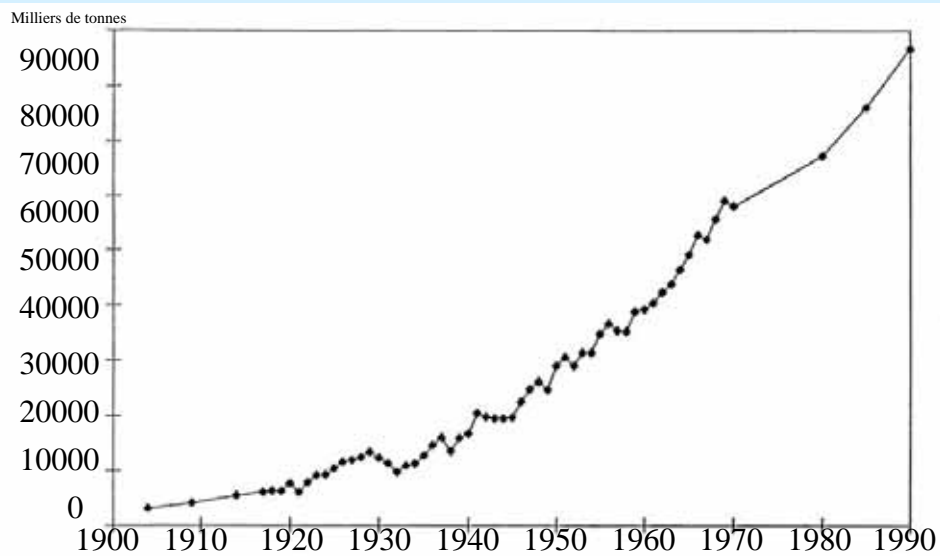
## Dématérialisation (7)

**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>