ICAST INSTITUT POUR LA COMMUNICATION ET L'ANALYSE DES SCIENCES ET DES TECHNOLOGIES

L'écologie industrielle: avenir de l'économie

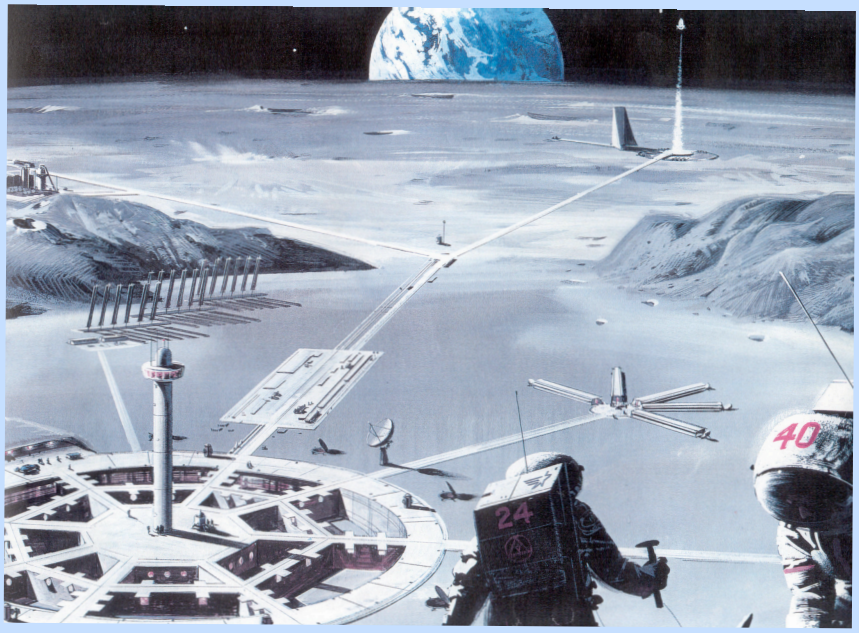
Sélection de transparents pour polycopié

Suren ERKMAN

ICAST, Genève / UNIL / EPFL

Formation continue DIP - Genève - 14 novembre 2006

Programme AURORA (ESA): Lune, Mars, astéroïdes



Source: ESA

Programme Aurora

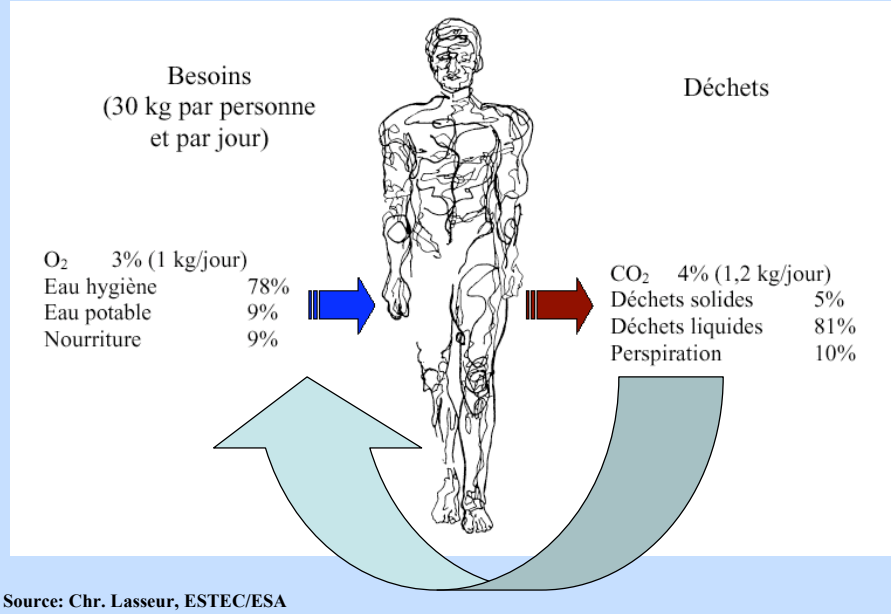
Votre mission *(si vous l'acceptez…)*:

- **Planifier une mission de 1'000 jours vers Mars pour un équipage de quatre spationautes.**
- **Question: quel est le principal facteur limitant pour de telles missions spatiales de longue durée?**

Mission habitée vers Mars (1'000 jours)

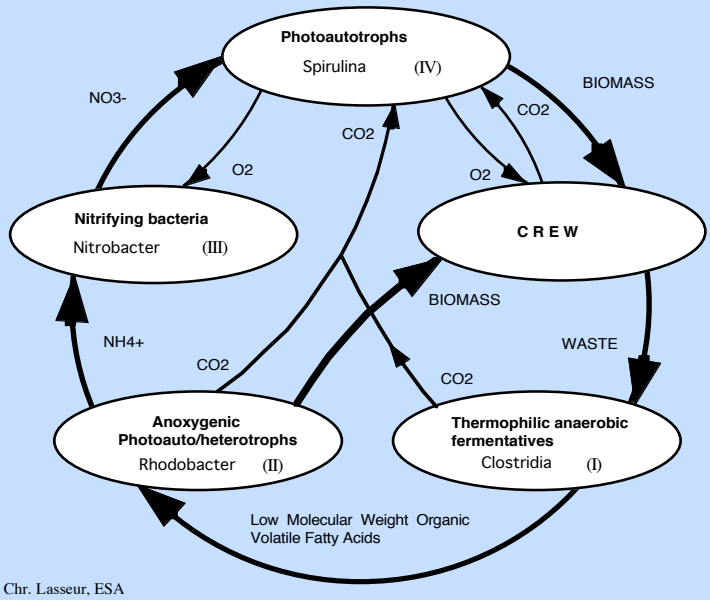
- **Avec les méthodes actuelles, le seul coût du transport de l'eau serait de… 11 milliards d'Euros!**
- **Solution?**

Solution? S'inspirer de la Biosphère…



Source: Chr. Lasseur, ESTEC/ESA

Ecosystème microbien artificiel: projet Melissa (ESA)



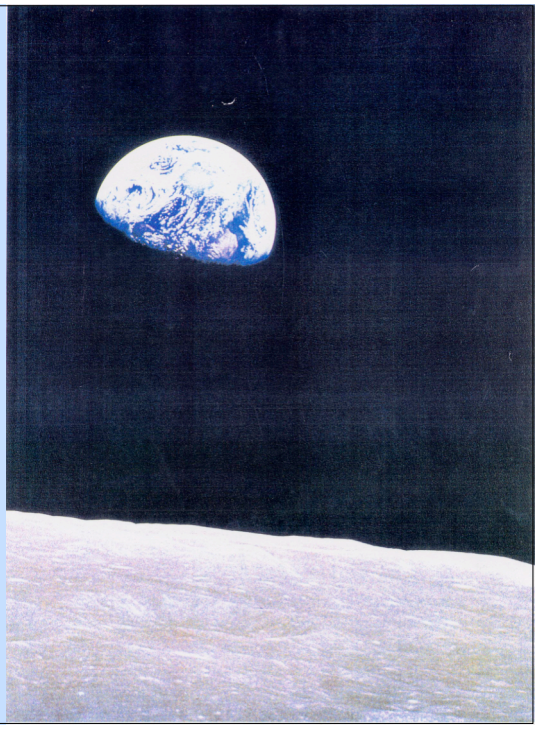
Source: Chr. Lasseur, ESA

Autres aspects de la mission…

- **Télécommunications**
- **Médicaux**
- **Vie quotidienne (hygiène, habits, loisirs)**
- **Psychologiques**
- **Exobiologie**
- **Applications terrestres**

Enjeux pour le développement durable (1):

- **Perception des limites**
- **Contraintes bientôt analogues sur Terre**
- **La Biosphère comme modèle pour l'économie**

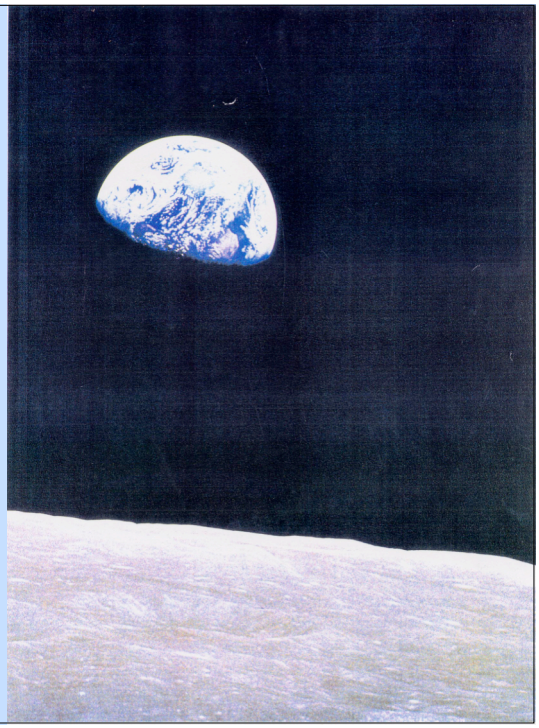


Enjeux pour

le développement durable

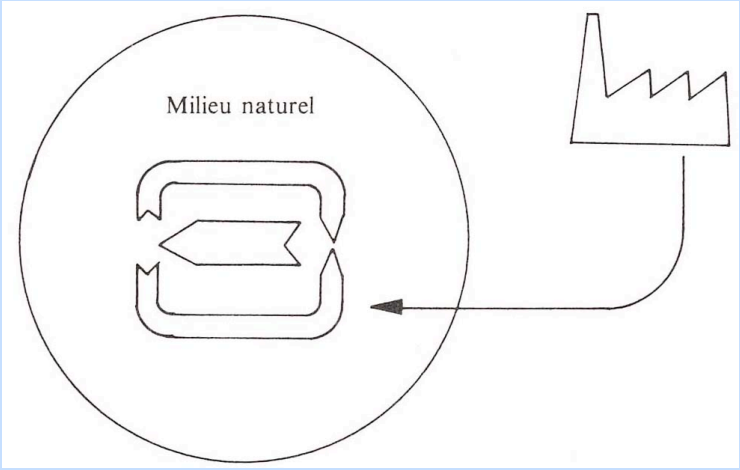
(2):

- **Ecologie industrielle…**
- **… comme justification de la mission**
- **DD = innovation!**



L'approche « end of pipe »

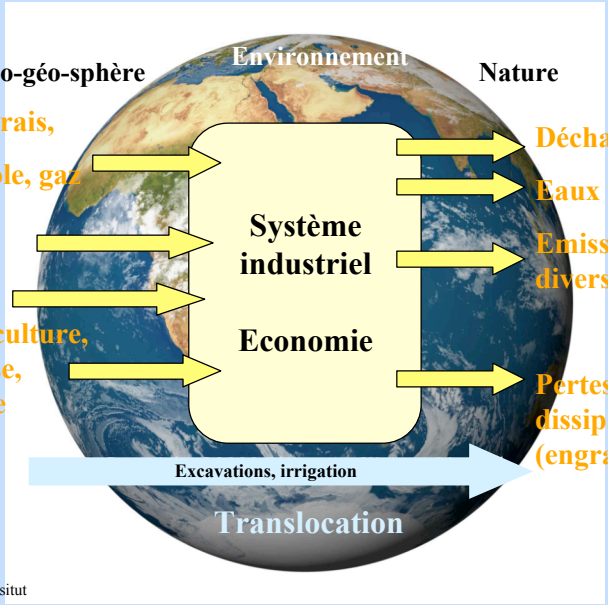
Le système industriel perçu comme séparé de la Biosphère



Source: L'écosystème Belgique, 1983

CA global: > 600 milliards $ / an

Ecologie industrielle: cadre conceptuel



Source: Wuppertal Insitut

Le concept d'écologie industrielle

«Le modèle simpliste actuel d'activité industrielle doit être remplacé par un modèle plus intégré: un écosystème industriel.»

R. Frosch & N. Gallopoulos, General Motors Laboratories, Pour la Science, novembre 1989

Le concept: «Ecologie industrielle»

Ecologie = étude scientifique des écosystèmes

Industriel = ensemble des activités humaines dans la société technologique moderne

Trois spécificités de l'écologie industrielle:

a) **Cadre conceptuel général et rigoureux (écologie scientifique)**

b) **Stratégie opérationnelle (mise en œuvre du développement durable)**

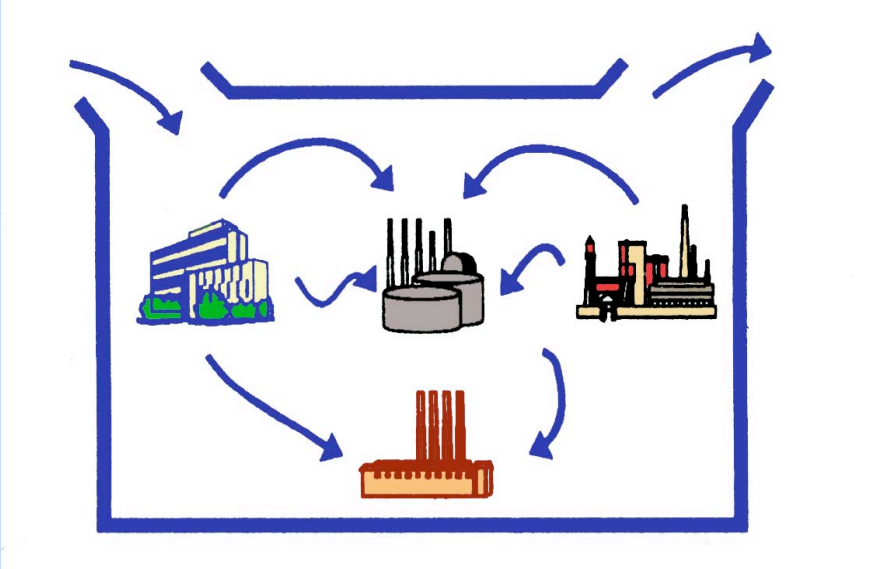
c) **Stratégie collective et coopérative (échelle systémique)**

Idée de départ:
«chaînes alimentaires»
ou «réseaux trophiques»
entre entreprises

«Dans un tel système, la consommation de matière et d'énergie est optimisée, et les effluents d'un processus servent de matière première à d'autres processus.»

R. Frosch & N. Gallopoulos, 1989

Parcs et réseaux éco-industriels



Source: R.P. Côté and al.

Impacts environnementaux d'un parc industriel

Nuisances pour les communautés avoisinantes - *bruit, transport, lumière*

Emissions de gaz

Pollution de l'air

Fuite de produits chimiques suite à un accident

Dégradation des ressources naturelles - *perte d'écosystèmes et de biodiversité, perte de terres agricoles*

Déchets dangereux

Pollution de l'eau et des sols

Effluents

Déchets solides

Contamination de l'eau, des sédiments et des espèces

Pollution des sols

Elargir le cadre conceptuel:

L'écologie industrielle vise un usage optimal

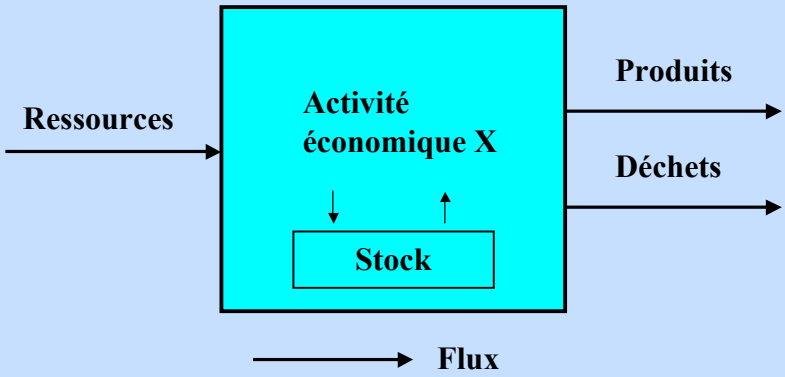
de l'ensemble des ressources,

***dans le cadre de l'écologie scientifique*,**

- pas seulement la valorisation des déchets!

Métabolisme des ressources matérielles

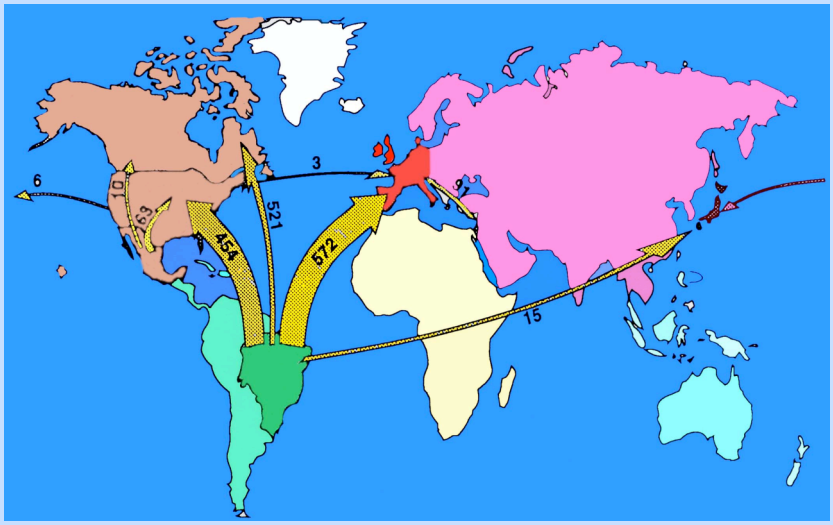
(Material Flow Analysis - MFA)



Principe: conservation de la masse et de l'énergie

Flux de jus d 'orange concentré

(milliers de tonnes par an)



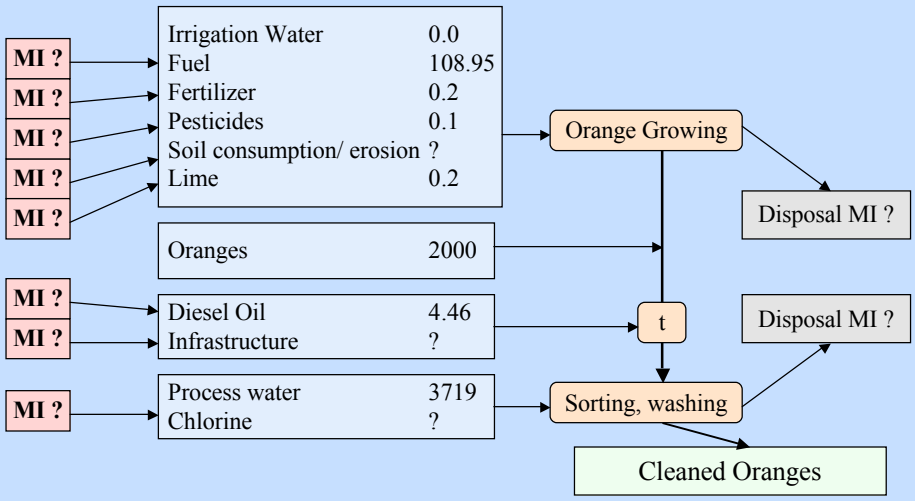
World-wide trade with frozen concentrated orange juice, 1991, in 1000 metric tonnes
(From: S. Bringezu, Wuppertal Institute)

Consommation de jus d'orange:

- **55 millions t. / an (production mondiale).**
- **Allemagne: 21 l. / capita / an.**
- **Brésil – Europe: 12'000 km., concentré à 8% de sa masse, congelé à –18 °C.**

Bilan de matière pour le jus d'orange

Matières en kg/t. jus



Source: S. Bringezu, Wuppertal Institut

Métabolisme industriel du jus d'orange:

- 100 kg. de pétrole pour une tonne de jus.
- 22 verres d'eau pour un verre de jus.
- En tout, 25 kg. de matière pour 1 l. de jus.
- … bien plus en tenant compte des «rucksacks» (p. ex.: 1 l. d'eau pour raffiner 1 kg. de pétrole)

Métabolisme industriel du jus d'orange:

- 24 m^2 de terrain pour produire 21 l. de jus.
- Donc: 150'000 hectares de terrain au Brésil pour désaltérer l'Allemagne.

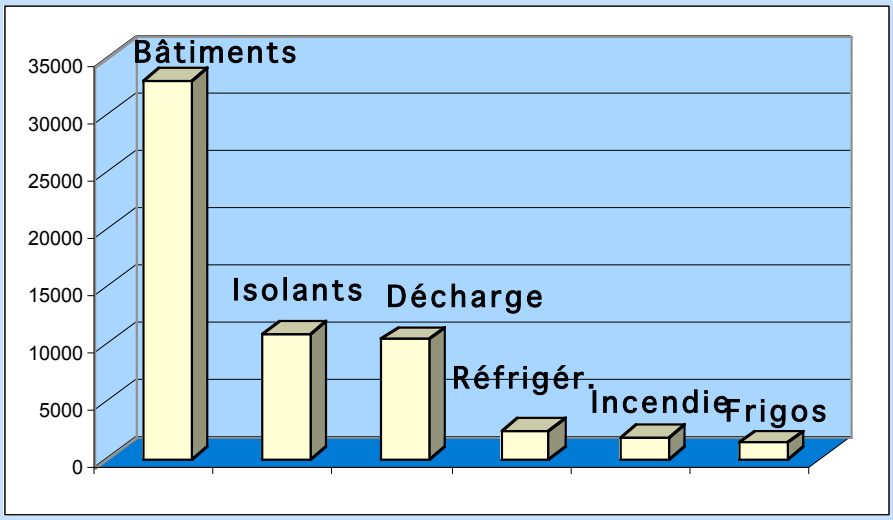
  (seulement 48'000 hect. pour les cultures fruitières en Allemagne)

Métabolisme du jus d'orange aux USA:

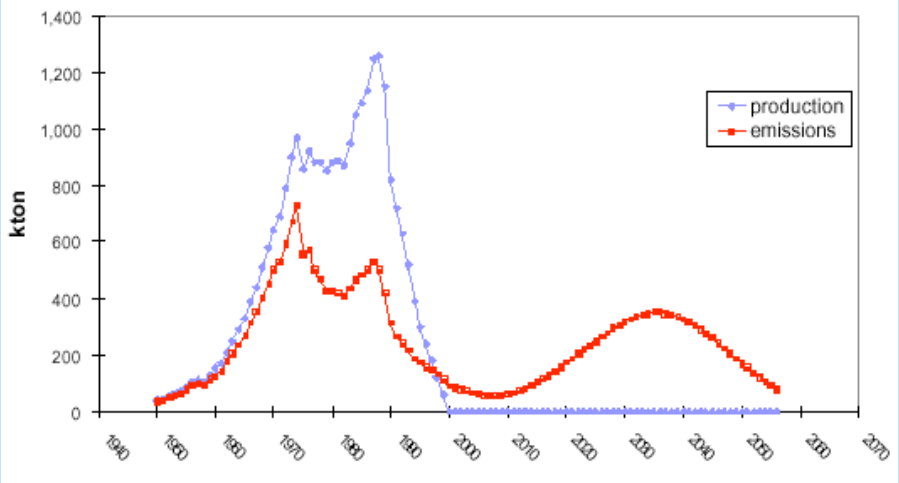
Pour UN litre de jus d'orange:

- **1000 l. d 'eau pour l'irrigation**
- **2 kg. de pétrole**

CFC en Autriche



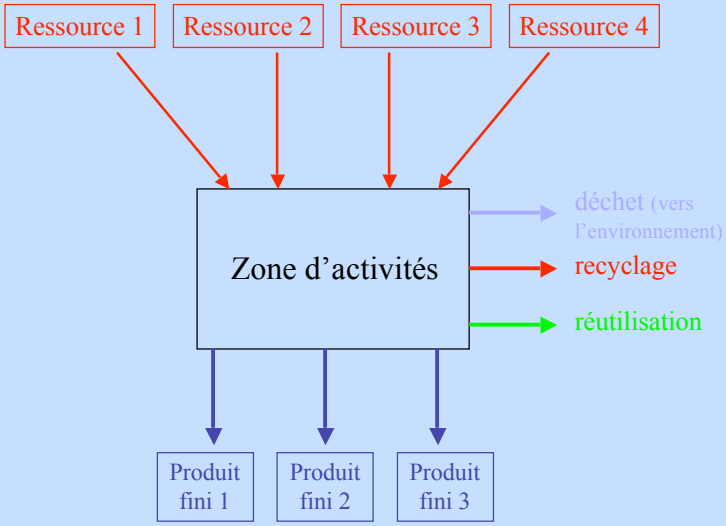
Production et émissions mondiales de CFC (modèle, en kilotonnes)



Source: R. Kleijn & E. van der Voet, Leiden Univ.

Le métabolisme régional: un outil de planification

Diagramme des flux de ressources locaux



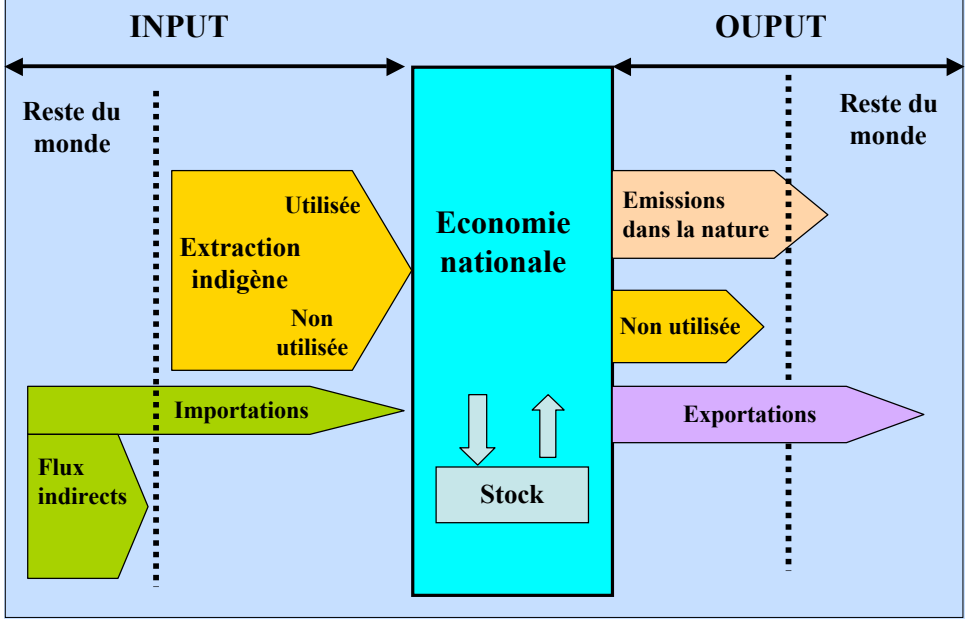
Métabolisme des activités économiques

Sommet du G8 (Evian, 2 juin 2003):

«Nous approfondirons notre connaissance des flux physiques de ressources et continuerons de travailler sur les indices de productivité de ces ressources, notamment dans le cadre de l'OCDE.»

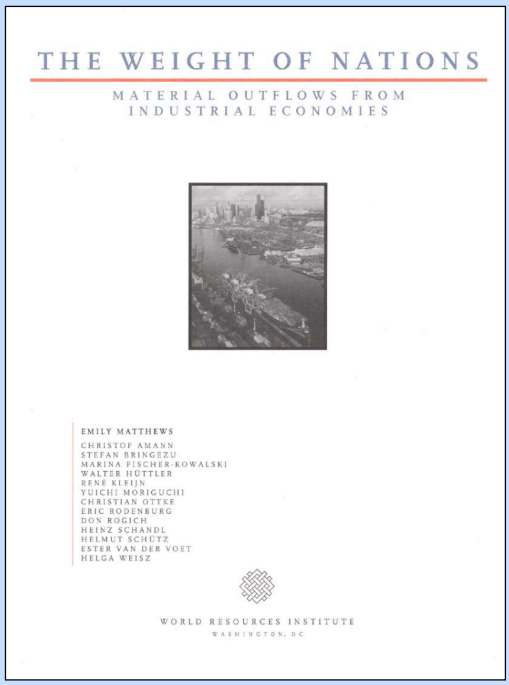
Science et technologie au service du développement durable - plan d'action du G8

Economie nationale: flux de ressources (modèle Eurostat)



Comptabilité publique physique:

la revanche de Lavoisier…



Ecologie industrielle à l'échelle territoriale: le cas du canton de Genève

Canton de Genève: Loi sur l'action publique en vue d'un développement durable (Agenda 21)

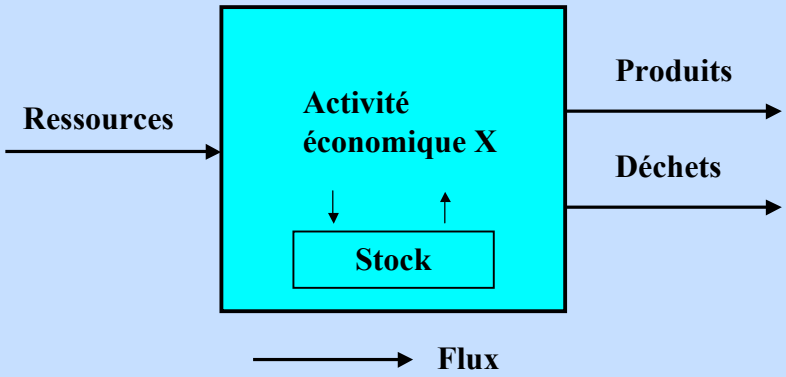
Article 12 (Ecosite):

«L'Etat favorise la prise en compte des synergies possibles entre activités économiques en vue de minimiser leur impact sur l'environnement.»

Projet Ecosite: questions préliminaires

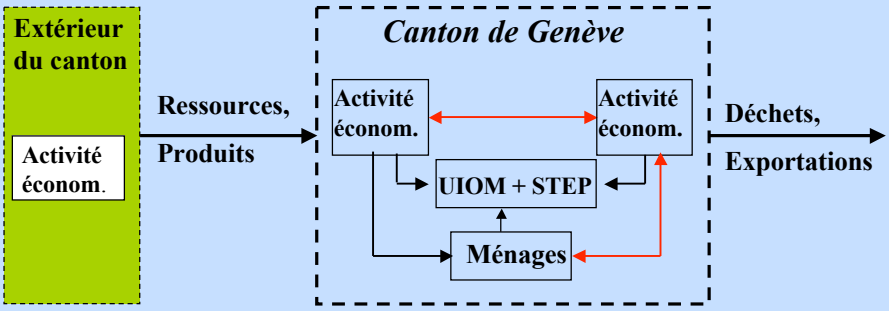
- **Quelles sont les priorités pour l'action?**
- **Quelles sont les ressources importantes?**
- **Quels sont les secteurs déterminants?**

Méthode: flux et stocks



N.B.: Données collectées selon les branches de la nomenclature NOGA (OFS)

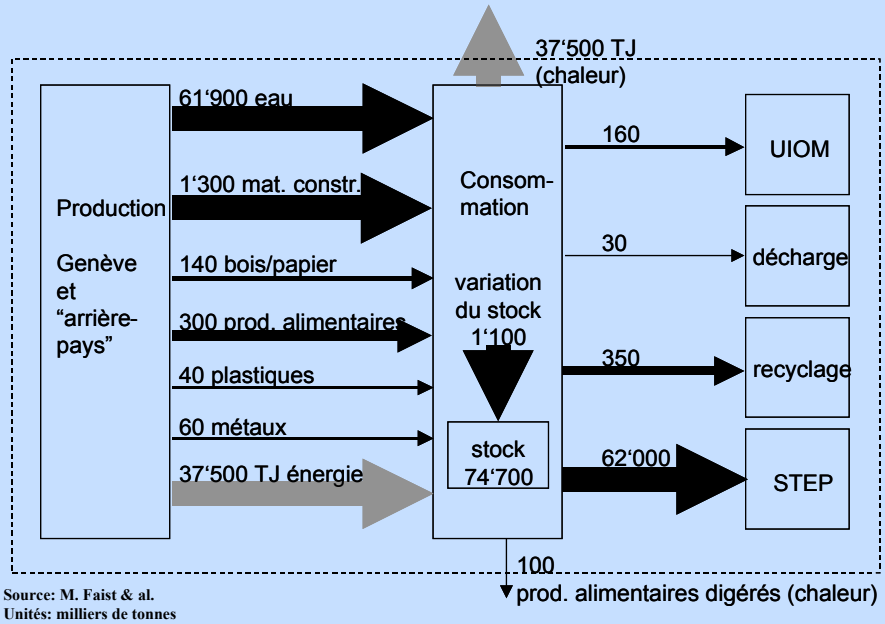
Limites du système étudié (2000)



UIOM = Usine d'incinération des ordures ménagères
STEP = Station d'épuration des eaux usées

Source: M.Faist & al.

Métabolisme du canton de Genève: flux totaux (2000)



Source: M. Faist & al.
Unités: milliers de tonnes

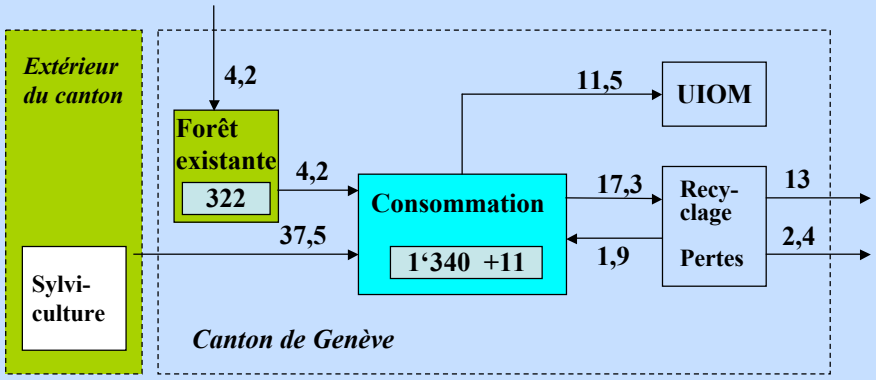
Importance relative des secteurs

	Secteur 1	Secteur 2	Secteur 3	Ménages
Eau	6%	25%	27%	42%
Energie (chaleur)	3%	10%	30%	57%
Energie (électr.)	3%	12%	60%	25%
Métaux (fer)	2%	13%	40%	45%
Bois	2%	26%	35%	36%
Plastiques	2%	10%	39%	49%
Mat. construction	2%	6%	43%	49%
Aliments	n.a.	4%	45%	51%

Source: M. Feist & al.

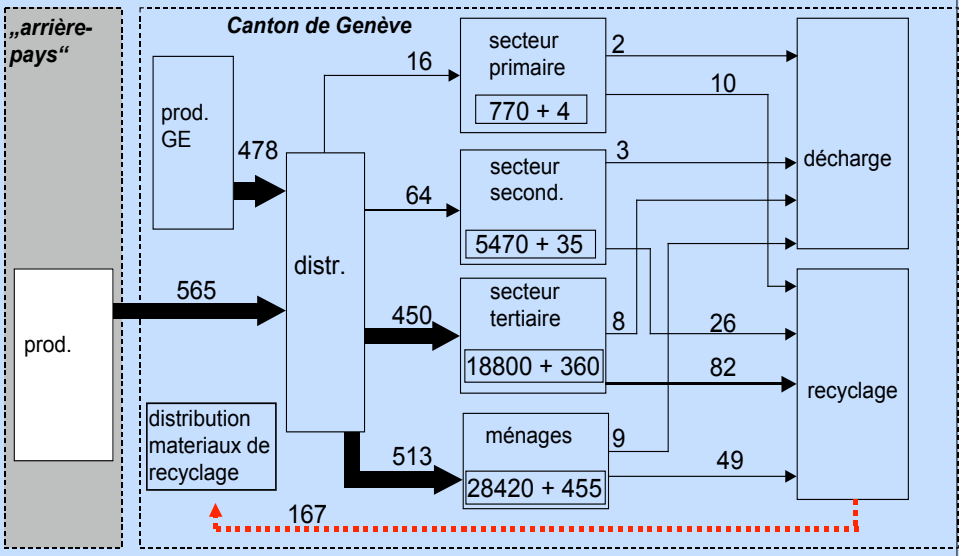
Bois

(milliers de tonnes par an, 2000)



Source: M. Faist & al.

Flux et stocks de béton et briques (milliers de tonnes)



Source: M. Faist & al., 2003

Enjeux du métabolisme des activités économiques

Outil pour:

- **Diagnostic (systémique)**
- **Détection avancée**
- **Suivi et évaluation**
- **Aide à la décision**

Brochure:

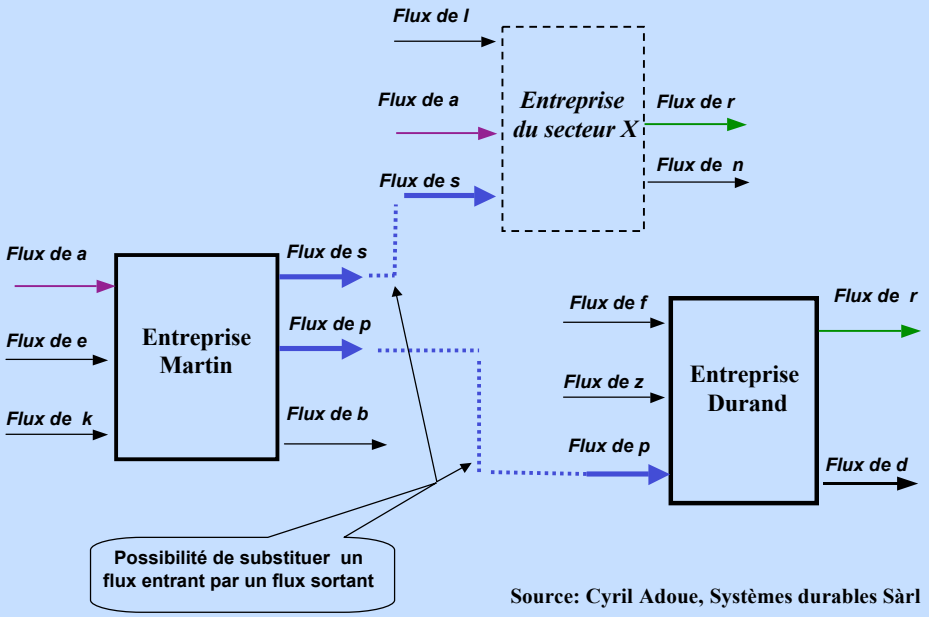
«Ecologie industrielle à Genève:

premiers résultats et perspectives.»

http://etat.geneve.ch/dt

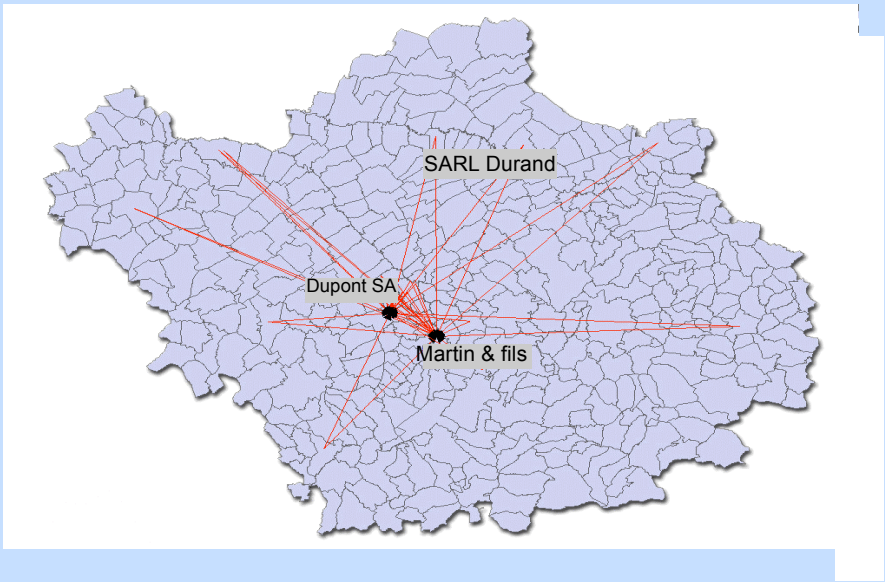
Mot clé:métabolisme

Détection de synergies intersectorielles



Source: Cyril Adoue, Systèmes durables Sàrl

Détection de synergies sur un territoire (EDF/SD)

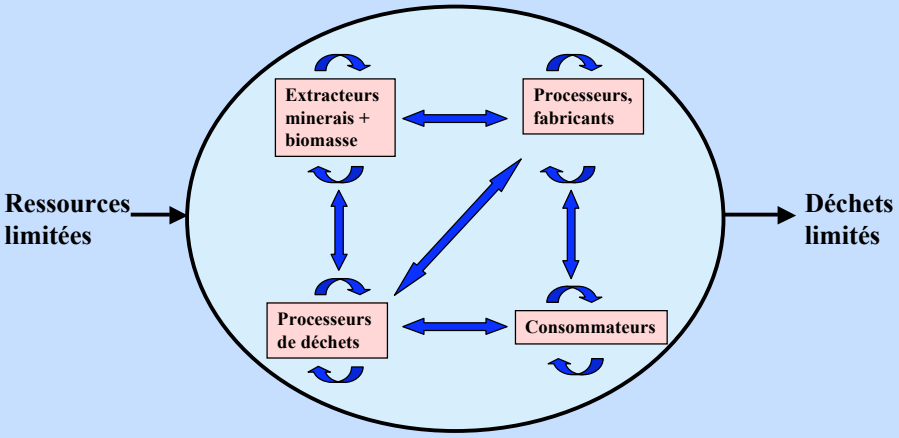


Source: Cyril Adoue, Systèmes durables Sàrl

Ecosystème «juvénile»

- Ressources «illimitées»
- Déchets «illimités»

Ecosystème industriel «mature»



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

Stratégie de «maturation»
des écosystèmes industriels:

1) Boucler

2) Etanchéifier

3) Intensifier (dématérialiser)

4) Equilibrer (décarboniser)

1) Boucler

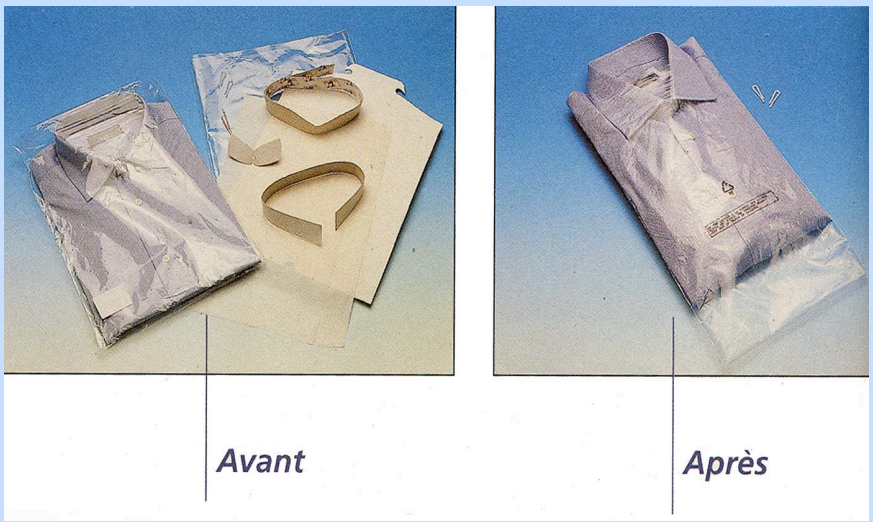
But: flux de ressources quasi-cycliques

- **Recyclage (au sens usuel)**
- **Réseaux éco-industriels**
  - **Qui prend soin du système?**
- **«Systèmes de valorisation»**

2) Etanchéifier

- **Objectif: minimiser ou rendre bénignes les pertes dissipatives durant tout le cycle de vie des produits et des services**

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) Dematérialisation

Objectif:

Découpler le bien-être de la consommation croissante de ressources.

Dématérialisation relative:

Plus de produits et de services avec proportionnellement moins de ressources.

Dématérialisation absolue:

Diminution en valeur absolue de la consommation de ressources.

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 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

- **Substitution de matériaux = transmatérialisation**

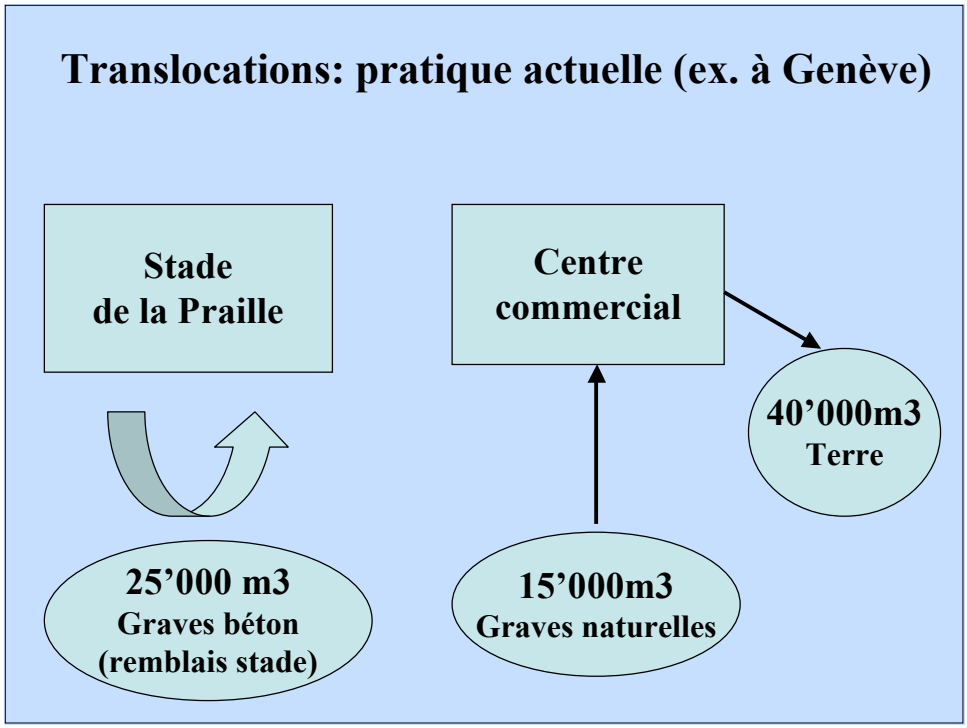
  (ex: cuivre / fibre optique)

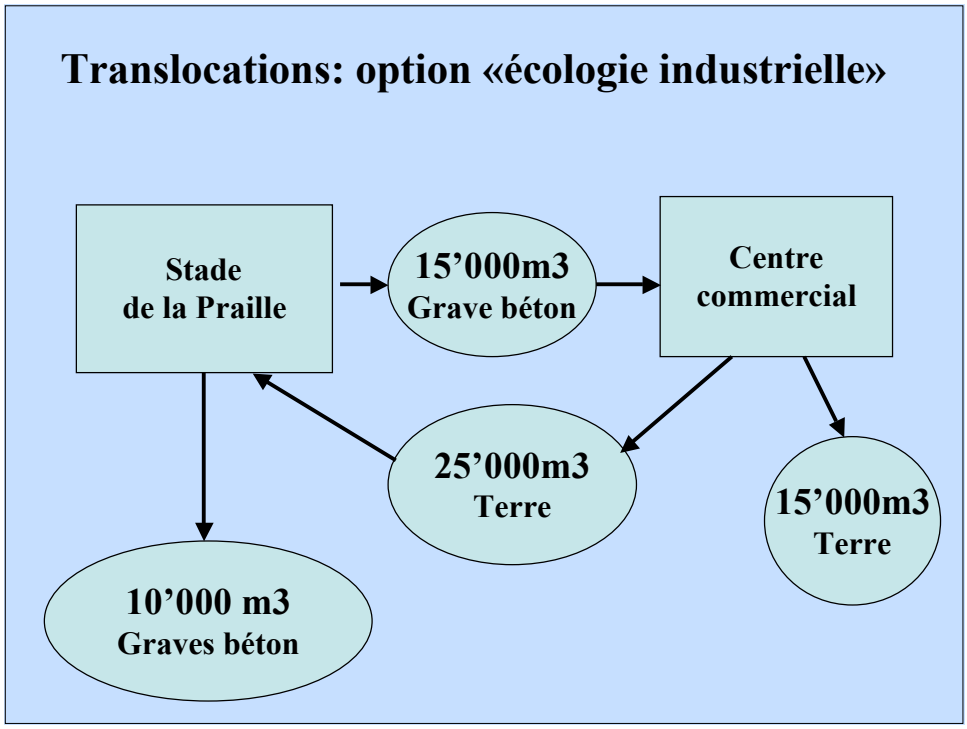
- **Immatérialisation ≠ dématérialisation !**

  (cf. «knowledge based economy»…)

Le paradis Terrestre...

(pour un économiste orthodoxe!)


Translocations: pratique actuelle (ex. à Genève)
Stade
de la Praille
Centre
commercial
40'000m3
Terre
25'000 m3
Graves béton
(remblais stade)
15'000m3
Graves naturelles


Translocations: option «écologie industrielle»
Stade
de la Praille
15'000m3
Grave béton
Centre
commercial
25'000m3
Terre
15'000m3
Terre
10'000 m3
Graves béton

Dématérialisation (6)

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 (7)

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

4) Décarboniser

But: moins de carbone fossile

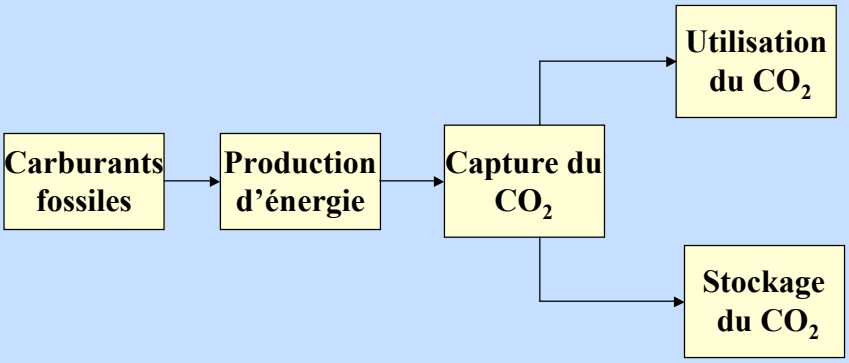
Idée générale:

Découpler la fonction «énergie» du carbone fossile

Décarbonisation absolue

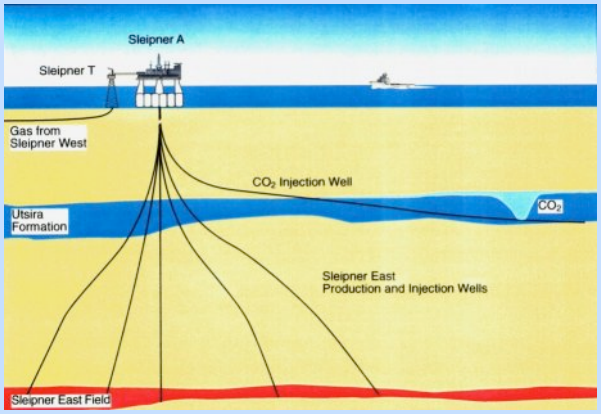
Décarbonisation relative

Séparation et stockage du CO_2 lors de la production d'énergie



Stockage de CO_2 dans une nappe souterraine d'eau salée

Injection d'un million de tonnes par an dans une couche aquifère saline à une profondeur de 800 m.



Source: www.ieagreen.org.uk

Planification énergétique territoriale
Projet de quartier «Genève Lac Nations»

Source: ScanE GE

Projet énergétique de quartier «Genève Lac-Nations»

- **Surface chauffée / climatisée: ~ 250'000 m^2.**
- **~ 1'500 tonnes de mazout / an économisées**
  i.e. ~ 4'800 tonnes/an équivalent CO_2.
- **~ 400'000 m^3 /an d'eau économisés.**
- **Economie pour Serono: 1 million CHF**

Axes opérationnels de l'écologie industrielle (1)

- **Valoriser les déchets et les sous-produits**
- **Utiliser les ressources des manière plus efficace**
- **Sécuriser l'approvisionnement en matières premières**
- **Détecter des marchés / concrétiser des opportunités**
- **Préserver / créer des emplois (locaux)**

Axes opérationnels de l'écologie industrielle (2)

- **Accroître l'attractivité d'un territoire**
- **Stimuler l'innovation (économique, sociale)**
- **Réduire les risques environnement / santé**
- **Prévenir de nouveaux risques potentiels !!!**
- **Etc.**

«The Master Equation»:

$$I = P \cdot A \cdot T$$

I = Impact

P = Population

A = Affluence (pouvoir d'achat)

T = Technology

Trajectoires technologiques

5 «clusters» principaux

depuis la Révolution industrielle:

1. **1750-1820: «Textiles»**
2. **1820-1870: «Vapeur» (canaux, charbon)**
3. **1870-1930: «Ingéniérie lourde» (acier, chemin de fer, télégraphe)**

Source: A. Grübler

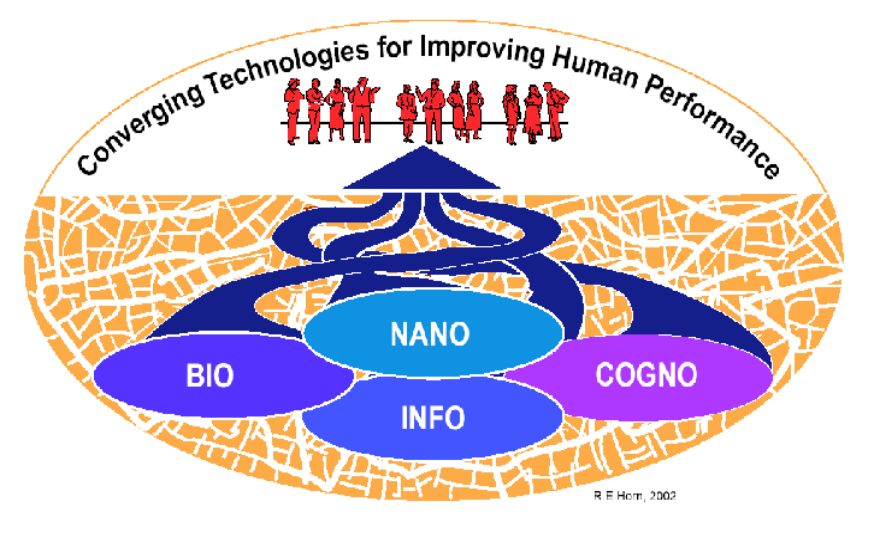
Trajectoires technologiques

5 «clusters» principaux depuis la Révolution industrielle:

4. 1930-1980: « Production et consommation de masse» (réseau routier, pétrochimie, TV, tourisme)

5. 1980-2???: «Qualité totale» (Ecologie industrielle = qualité totale à l 'échelle du système industriel?)

Dynamique technologique: la «Convergence NBIC»



Source: «Converging Technologies», NSF/DOC, 2002 (draft)

WIRED Archive | 8.04 - Apr 2000 | Feature

Why the future doesn't need us.

Our most powerful 21st-century technologies - robotics, genetic engineering, and nanotech - are threatening to make humans an endangered species.

By Bill Joy

Enjeu primordial du développement durable:

une bonne justice intra- et inter- générationnelle

«Quelle Terre laisserons-nous à nos enfants ?»

mais aussi...

Enjeu essentiel du développement durable:
une justice généalogique crédible

... et surtout:

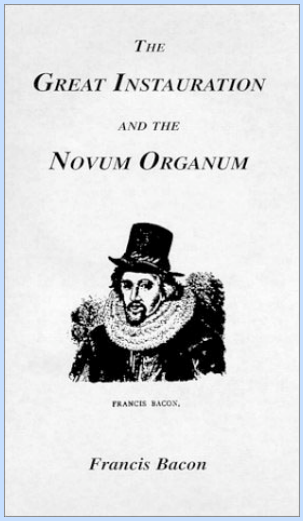
«...quels enfants laisserons-nous à la Terre?»

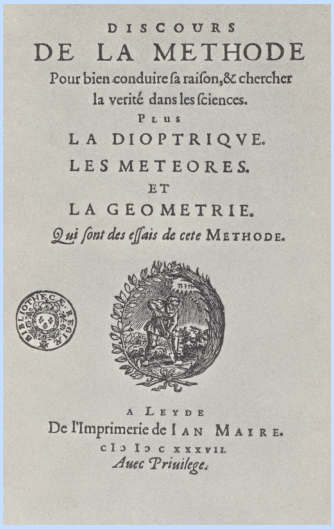
(Jaime Semprun)

Enjeu philosophique:

la fin du paradigme de l'expansion illimitée...

1620
(1561-1626)

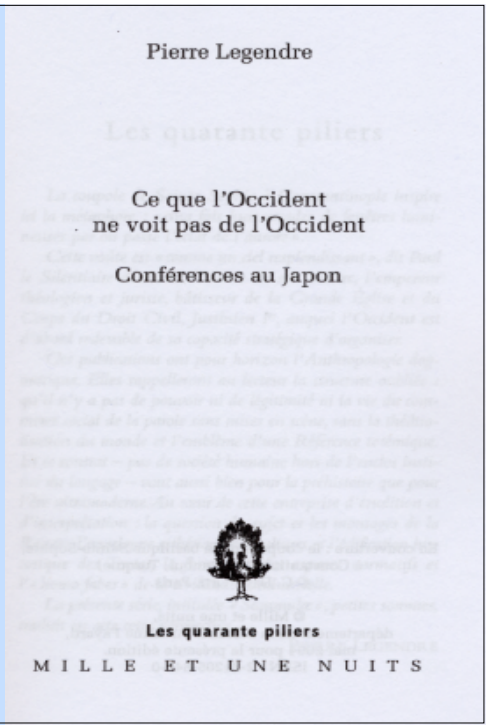




1637
(1596-1650)

«…le talon d'Achille des Occidentaux, quand ils s'imaginent que la techno-science-économie sera le dernier mot et scelle le Destin de l'humanité.»

Pierre Legendre



Des activités pour demain!

- **Analystes en métabolisme socio-industriel**
- **Ingénieurs de réseaux trophiques industriels**
- **Gestionnaires délégués à l'écosystème industriel**
- **Dématérialiseurs produits et systèmes**
- **Nanodissipateurs / Etanchéifieurs**
- **Diététiciens territoriaux**
- **Optimiseurs de fonctionnalité**