

**L'écologie industrielle:**

**Avenir du système industriel**

**Prof. Suren ERKMAN**

**Université de Lausanne / SOFIÉS, Genève**

**Philosophie & Management Asbl**

**Bruxelles, 13 octobre 2011**

**Pour en savoir plus:**

**Livre:**

**S. Erkman: *Vers une écologie industrielle***

**Paris, ECLM, 2004.**

**Disponible gratuitement sur: [www.eclm.fr](http://www.eclm.fr)**

**(Aller dans «Catalogue» puis «Recherche»)**

## **Pour en savoir plus:**

**Livre:**

**S. Erkman & R. Ramaswamy: *Applied Industrial Ecology*.**

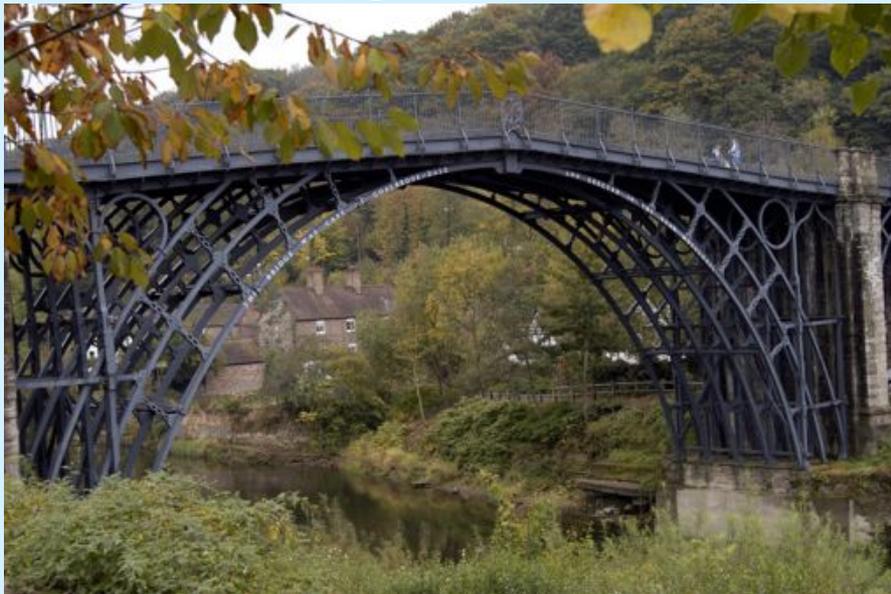
**Bangalore, Aicra Publ., 2003.**

**Disponible gratuitement sur: [www.roi-online.org](http://www.roi-online.org)**

**(Aller dans «Download Books»)**

## **Iron Bridge, 1779**

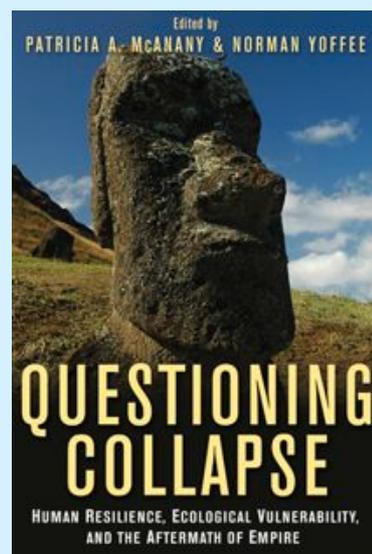
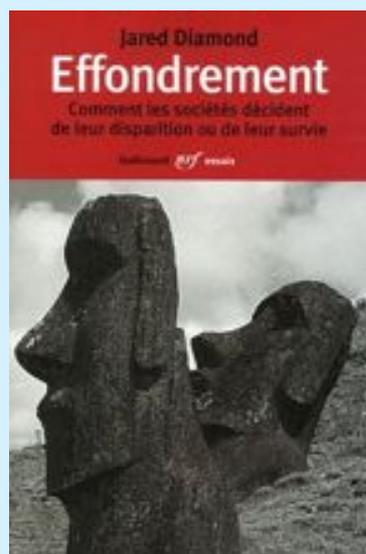
**(Severn River, Shropshire, ~ 60 km NO Birmingham)**



*Le système industriel:*

*ange ou démon?*

**Les visions catastrophistes...  
«Collapse» de la société industrielle**





## De quoi avons-nous besoin ?

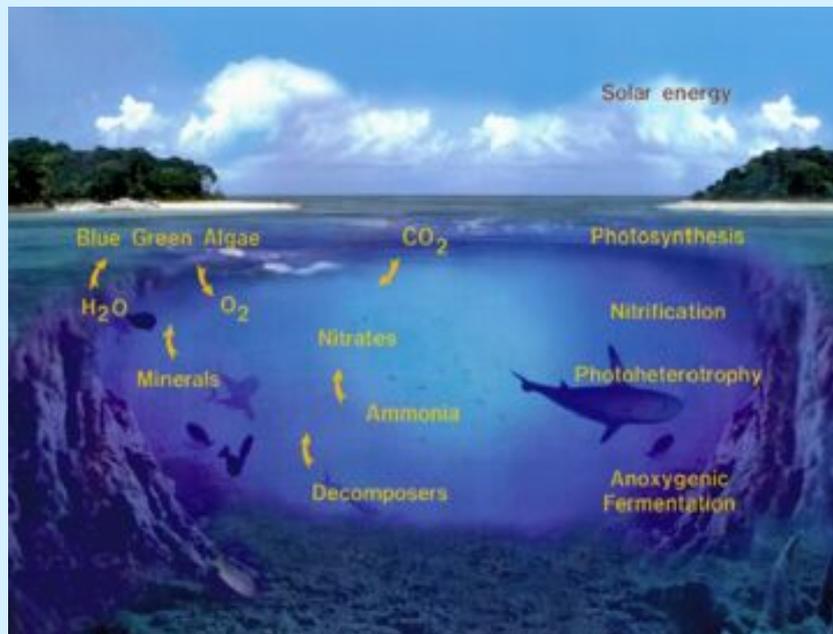
- a) **Cadre conceptuel général et rigoureux**  
(écologie scientifique)
- b) **Stratégie opérationnelle**  
(mise en œuvre du développement durable)
- c) **Stratégie collective et coopérative**  
(échelle systémique, structurelle)

## **Le concept: «Ecologie industrielle»**

**Ecologie = étude scientifique des écosystèmes**

**Industriel = ensemble des activités humaines dans la société technologique moderne**

### **Biosphère: contraintes et source d'inspiration pour l'économie**



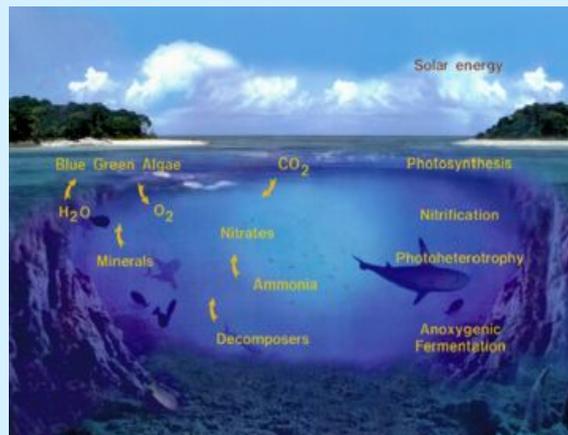
## Ecologie industrielle: épistémologie

**Analogie:**  
**écosystèmes - système industriel**

- **Modèle ?**
- **Métaphore ?**

**Les effets de représentation:**

«Ceci n'est pas un écosystème...»



**Schématisation visuelle du concept d'écosystème**

**Le paradigme de l'écologie industrielle:**

- 1) Analogie: modèle + métaphore**
- 2) Artificialisation de la Nature**
- 3) Naturalisation de l'économie**
- 4) Objectif: équilibre dynamique (co-évolution) du système industriel avec la Biosphère**

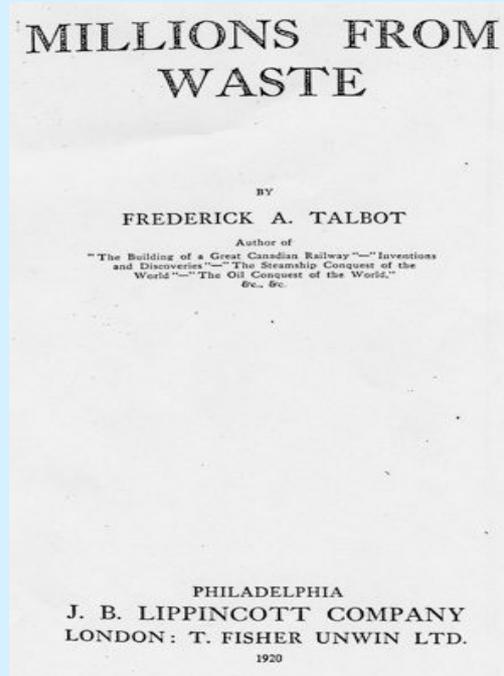
**Le paradigme de l'écologie industrielle:**

**Deux niveaux:**

- 1) Stratégie d'optimisation du système industriel**
- 2) Stratégie de co-évolution avec la Biosphère**

**«Des millions  
à partir des déchets»**

**Londres, 1920**



**Elargir le cadre conceptuel:**

**L'écologie industrielle vise un usage optimal**

**de l'ensemble des ressources**

**- pas seulement la valorisation des déchets! -**

***dans le cadre conceptuel de l'écologie scientifique.***

**Le paradigme de l'écologie industrielle:**

**Biomimétisme ?**

- 1) Stratégie d'optimisation «bio-inspirée»**
- 2) Approche souvent «idéologique» (présomption d'inocuité, argument de légitimation)**

**Ecologie industrielle: perspective historique**

**Double généalogie:**

- Ecologie écosystémique**
- Ingénierie industrielle**

Made in United States of America  
Reprinted from THE SCIENTIFIC MONTHLY  
Vol. LXVII, No. 6, December, 1948

## ON LIVING IN THE BIOSPHERE

G. E. HUTCHINSON

*In the article below, which is from a paper presented in the symposium on "The World's Natural Resources" (AAAS Centennial, September 13-17), Professor Hutchinson claims originality only for some of the computations and part of the interpretation—most of the fundamental data are easily accessible in the scientific literature. Professor Hutchinson is on the staff of the Department of Zoology at Yale and consultant in biogeochemistry, American Museum of Natural History.*

IN discussing the subject of "The World's Natural Resources," I want first to make a number of general observations that will provide an intellectual framework into which our developing knowledge, both academic and practical, may be fitted. We live in a rather restricted zone of our planet, at the base of its gaseous envelope and on the surface of its solid phase, with temporary excursions upwards, downwards, or sideways onto or into the oceans. These regions in which we can live and which we can explore are characterized by their temperature, which does not depart far from that at which water is a liquid, and by their closeness to regions on which solar radiation is being delivered. This zone of life is spoken of as the biosphere. Within it, certain natural products can be utilized in both biological and cultural life. It is customary to consider these re-

from atomic energy, and a little volcanic heat which presumably is actually of radioactive origin, all industrial energy is solar and due to one or the other of these three processes.

The material requirements of life are extremely varied. Between thirty and forty chemical elements appear to be normally involved. Industrially, some use appears to be found for nearly all the natural elements, and some of the new synthetic ones also. Looking at man from a strictly geochemical standpoint, his most striking character is that he demands so much—not merely thirty or forty elements for physiological activity, but nearly all the others for cultural activity. What we may call the anthropogeochemistry of cultural life is worth examining. We find man scurrying about the planet looking for places where certain substances are abundant: then removing them elsewhere, often

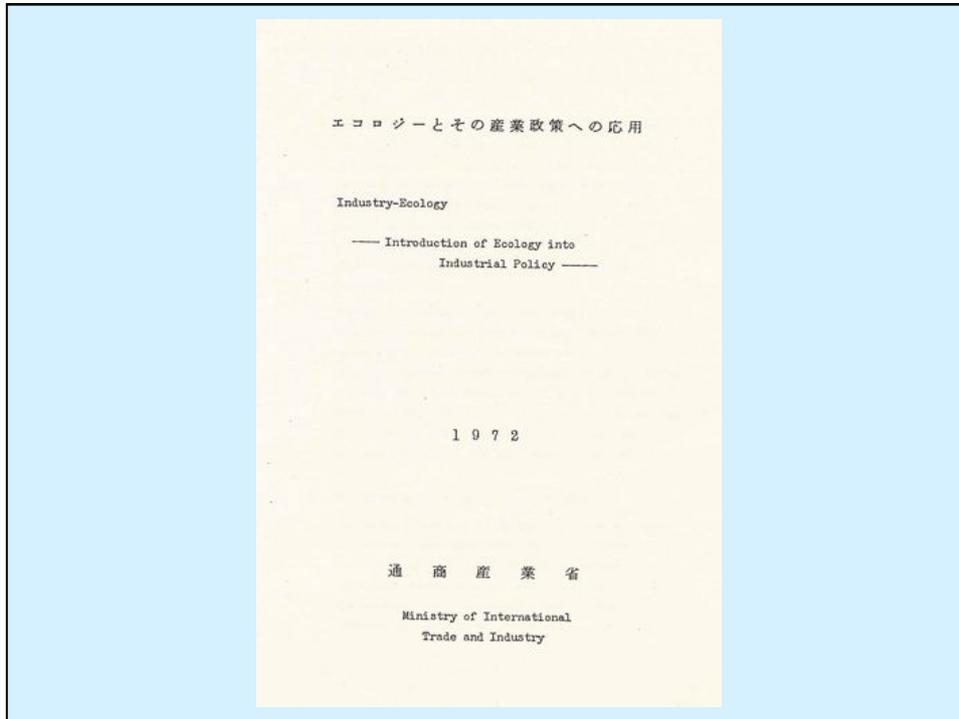
Source: G.E. Hutchinson, On living in the biosphere, The Scientific Monthly, 1948

Gilles Billen, Francine Toussaint, Philippe Peeters,  
Marc Sapir, Anne Steenhout, Jean-Pierre Vanderborgh

# L'écosystème Belgique

Essai d'écologie industrielle

Centre de recherche et d'information socio-politiques - CRISP



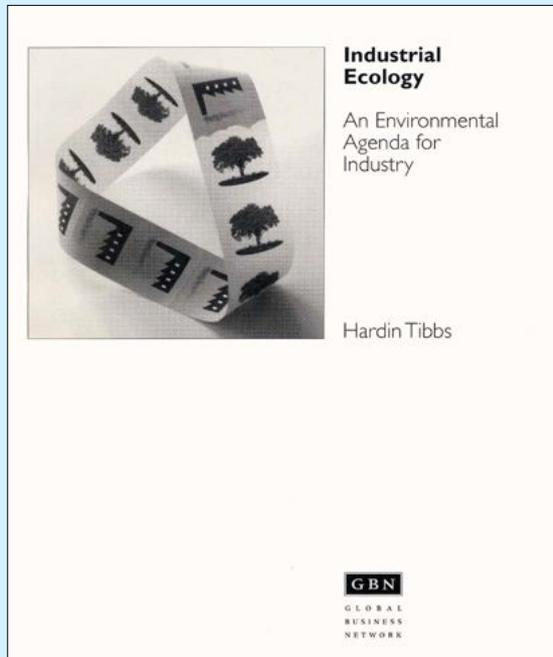
## **Le concept d'écologie industrielle**

***«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***

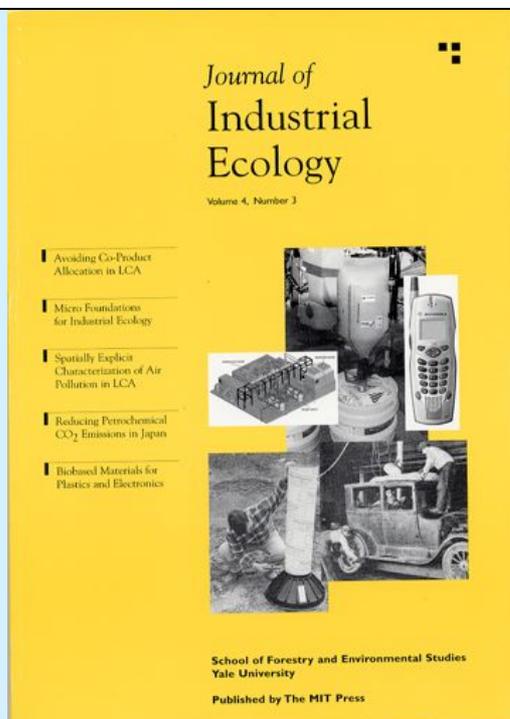
**1992:**  
**Arthur D. Little**  
**(Boston)**

**Global Business**  
**Network**  
**(San Francisco)**



**International Society**  
**for Industrial Ecology**

**[www.is4ie.org](http://www.is4ie.org)**





**«En termes psychologiques, le rêve de maîtriser la nature est la solution régressive qu’adopte notre culture pour résoudre le problème posé par le narcissisme – régressive parce qu’elle cherche à retrouver l’illusion primale de l’omnipotence et refuse d’accepter les limites de notre autonomie collective. (...)**

**La science de l’écologie – exemple d’une attitude «exploratrice» envers la nature, opposée à l’attitude faustienne - ne nous laisse aucun doute sur l’impossibilité dans laquelle nous sommes d’échapper à cette dépendance.»**

**In : Christopher Lasch, *La Culture du Narcissisme*, Castelnau-le-Lez, Editions Climats, 2000 (traduit par Michel L. Landa, préfacé par Jean-Claude Michéa ; 1979 pour l’édition originale américaine), p. 302.**

## **Ecologie industrielle:**

### **Que fait-on?**

**a) Mesurer, analyser, évaluer, comprendre**

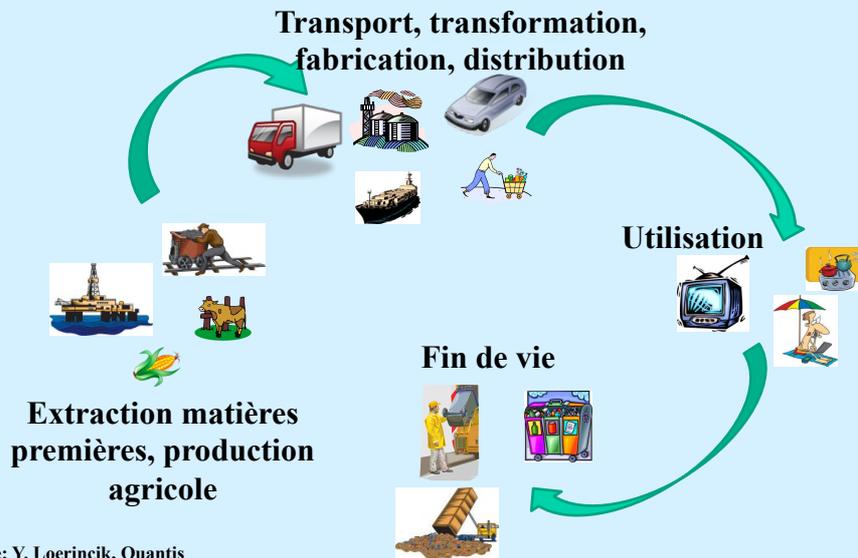
**b) Mettre en œuvre**

*.... aux différentes échelles pertinentes*

### **Besoin de nouvelles «métriques» pour l'activité économique:**

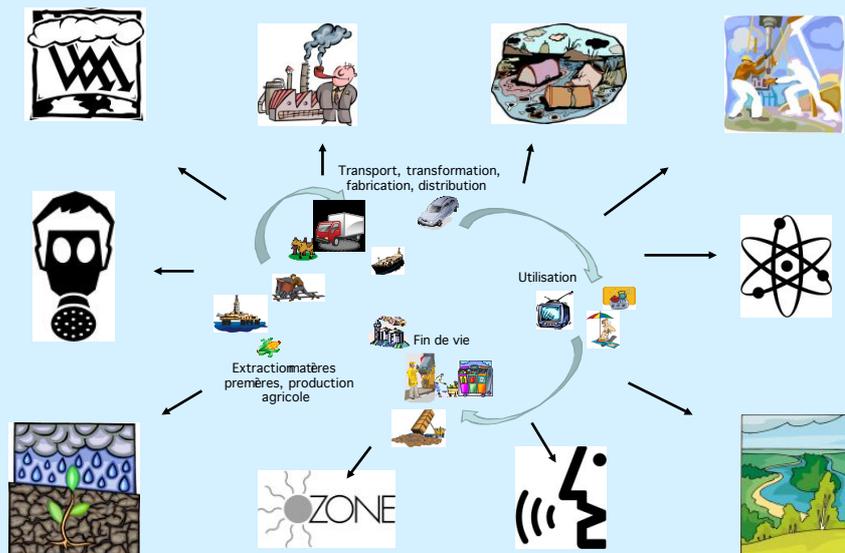
- 1) Analyse du cycle de vie (ACV) / Life Cycle Analysis (LCA) qui étudie *les impacts potentiels* sur l'environnement et la santé**
- 2) Métabolisme (Material Flow Analysis, MFA), qui étudie *les flux et les stocks de matière (et d'énergie)***

## L'approche «Cycle de Vie»

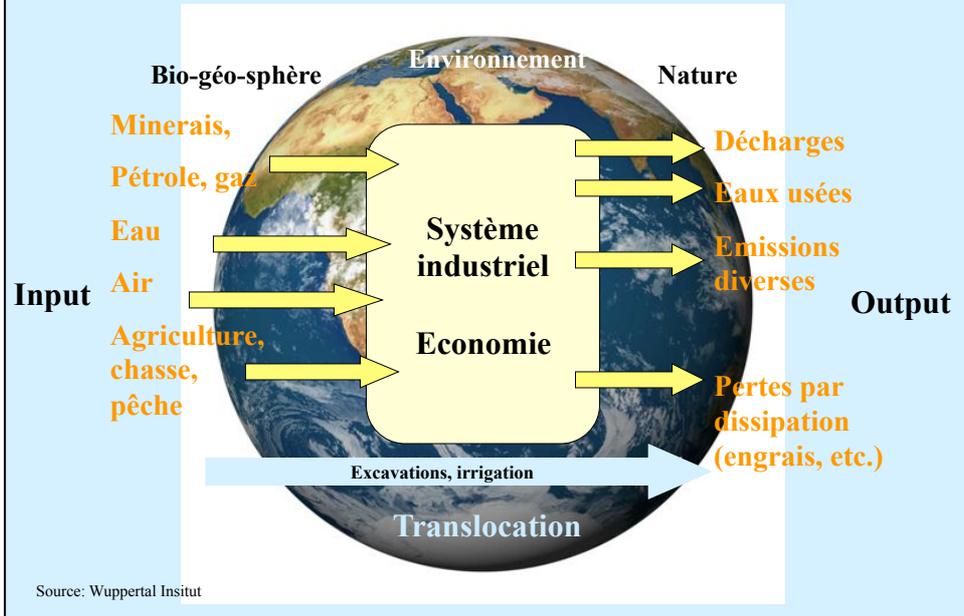


Source: Y. Loerincik, Quantis

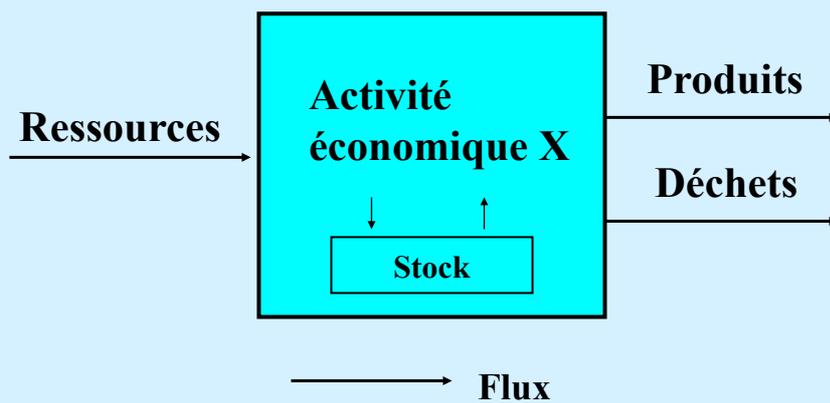
## Impacts sur l'environnement



## Métabolisme industriel: cadre conceptuel

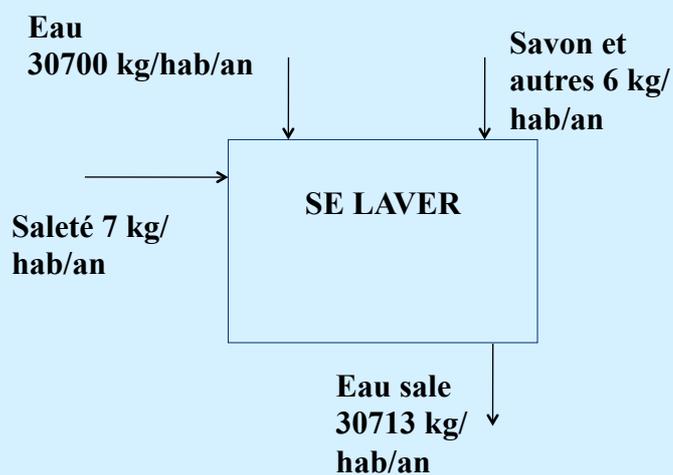


## Métabolisme des activités économiques



**MFA: Material Flow Analysis**

## Métabolisme de la douche...



Source: Tourane Corbière

## Empreinte hydrique pour une tasse de café: ~ 140 litres

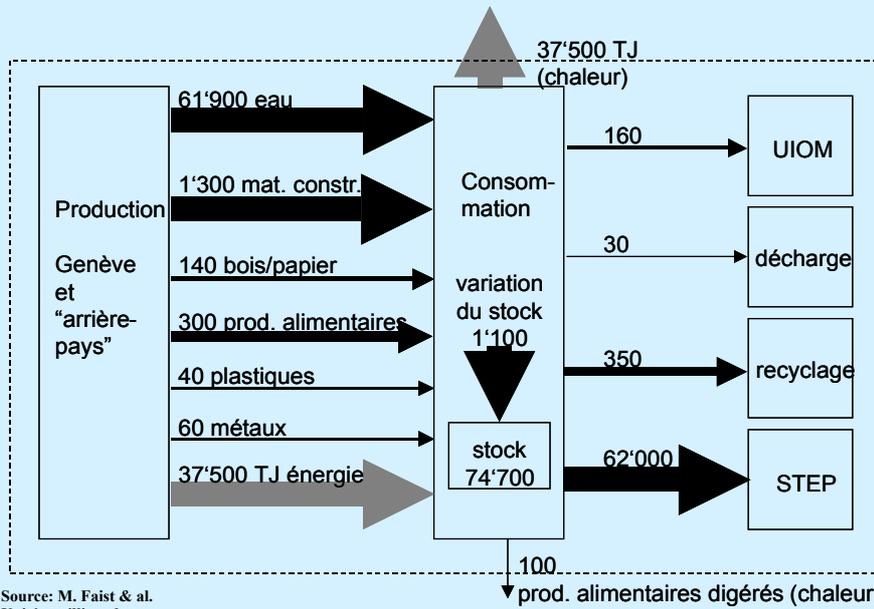


Env. 21' 000 l./kg  
de café torréfié

~ 2% de l'eau pour  
l'agriculture

Source: Water Footprint

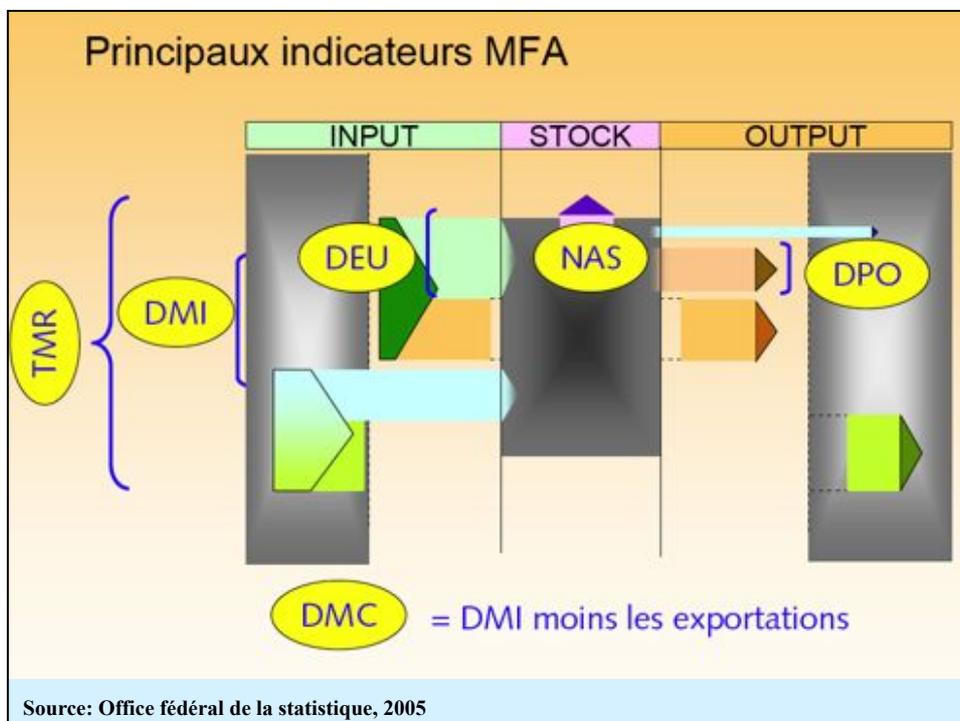
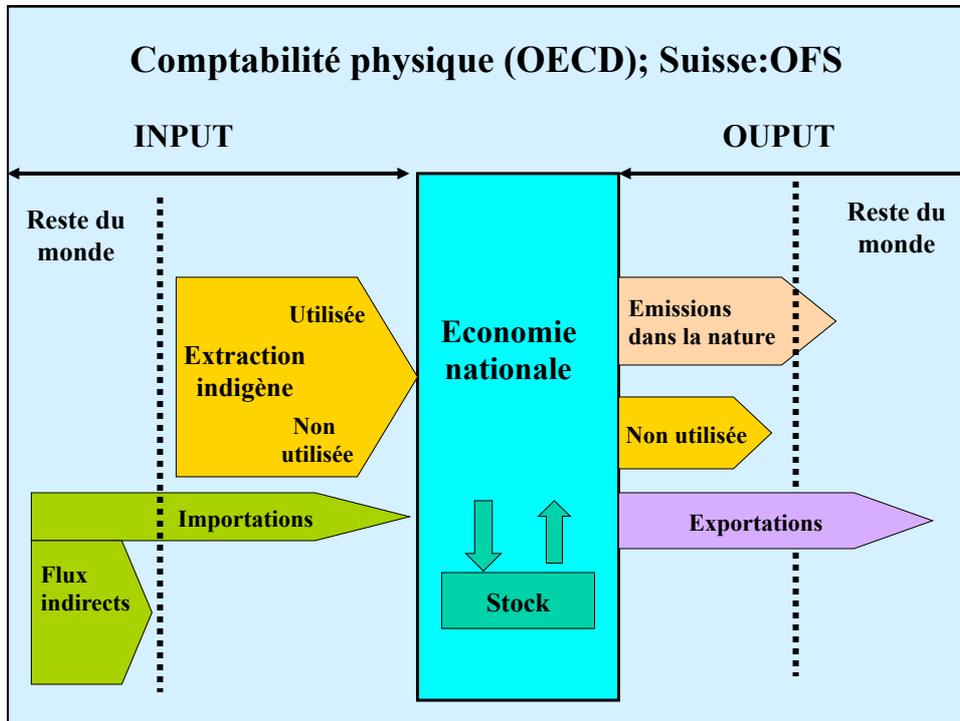
## Métabolisme du canton de Genève: flux totaux (2000)



## Documentation:



<http://etat.geneve.ch/dt> (Mot clé: métabolisme)



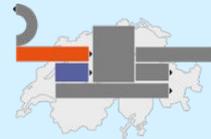
Source: Office fédéral de la statistique, 2005

## Principaux indicateurs MFA (OCDE)

- **TMR = Total Material Requirement**
- **DMI = Direct Material Input**
- **DMC = Direct Material Consumption**
- **DEU = Domestic Extraction Used**
- **NAS = Net Addition to Stock**
- **DPO = Domestic Processed Output**

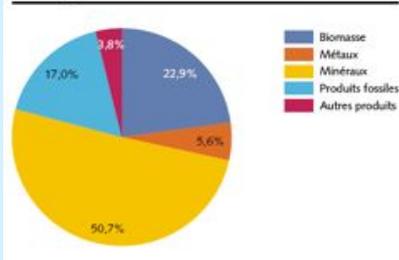
## Matières directement utilisées DMI

~ 15 tonnes par habitant et par année



Matières directement utilisées (DMI)  
par catégorie de matières en 2006

G 1



© Office fédéral de la statistique (OFS)

Emanuel Annoni/ALISA



Les besoins matériels par habitant et par an correspondent à la cargaison d'un camion malaxeur de béton.

Source: OFS, 2008

## Flux de matière directs et indirects (OFS, 2007)

= TMR (Total Material Requirement)

**Suisse: consommation totale en 2005:**

~ 310 millions de tonnes

**Soit: ~ 41,7 tonnes / personne / an**

**ou ~ 114 kilos / personne / jour**

**En plus:**

**Consommation d'air et d'eau (eau: 2,5 milliards de tonnes)**

One gram of Pt  
Involves  
1.2 tons of  
Materials.



TMR: 4.8 ton

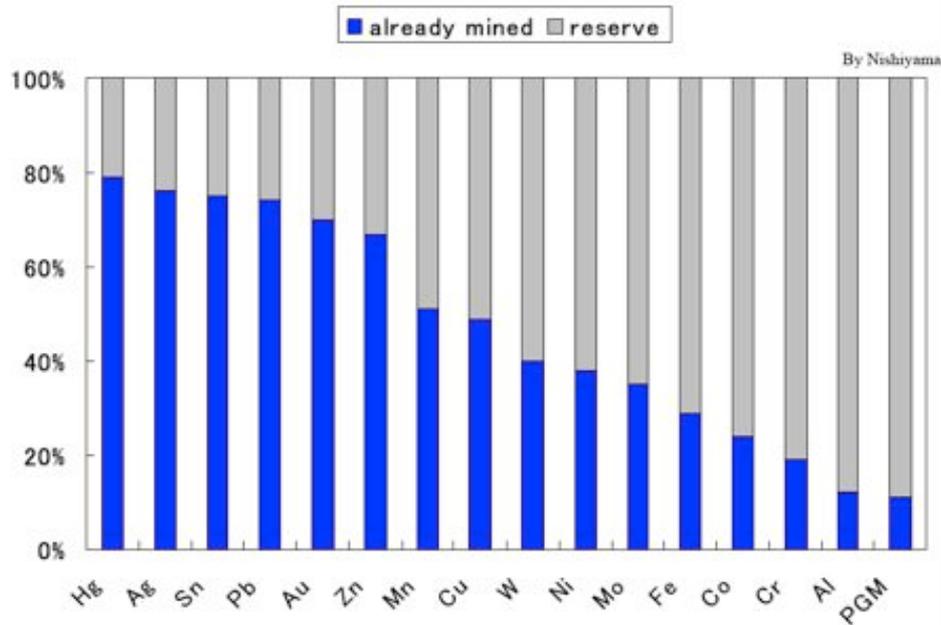


Platinum ring : 4 g

**Flux indirects:  
allocation ?**

Source: K. Halada

## Les stocks urbains: villes «mines du futur»



## Stratégie «d'éco-modernisation» du système industriel:

### 1) Boucler:

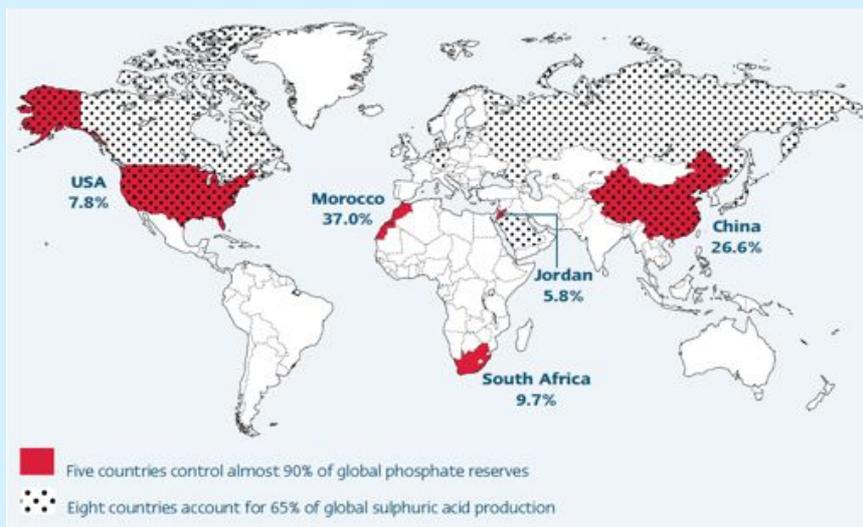
«Economie circulaire» (quasi-circulaire), «cradle to cradle»

- Recyclages
- Symbioses: valorisations en cascades

## Ressource particulièrement critique dans un avenir proche ?

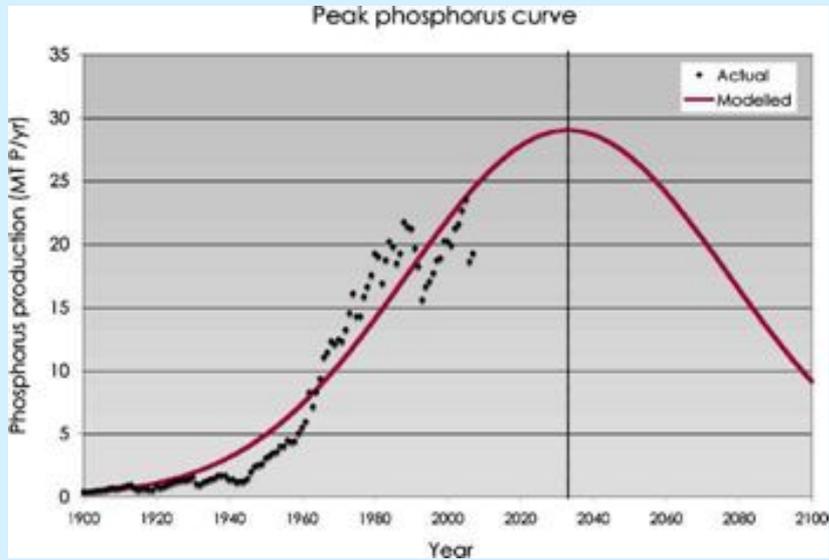
- Non substituable
- Non renouvelable
- Recyclable

## Réserves mondiales de phosphates: 5 pays contrôlent 90% des gisements exploitables



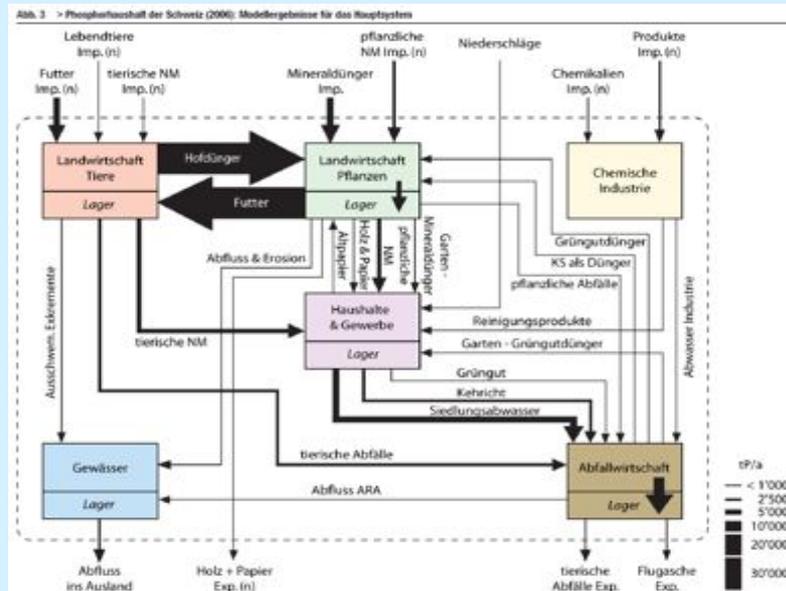
Source: A. Rosemarin & al.

## Le pic du phosphore (roches): vers 2030 (?)



Source: S. Buffa / Cordell

## Métabolisme du phosphore en Suisse (2006)



OFEV, 2009

**Récupération de l'urine: toilettes «NoMix» (EAWAG)**



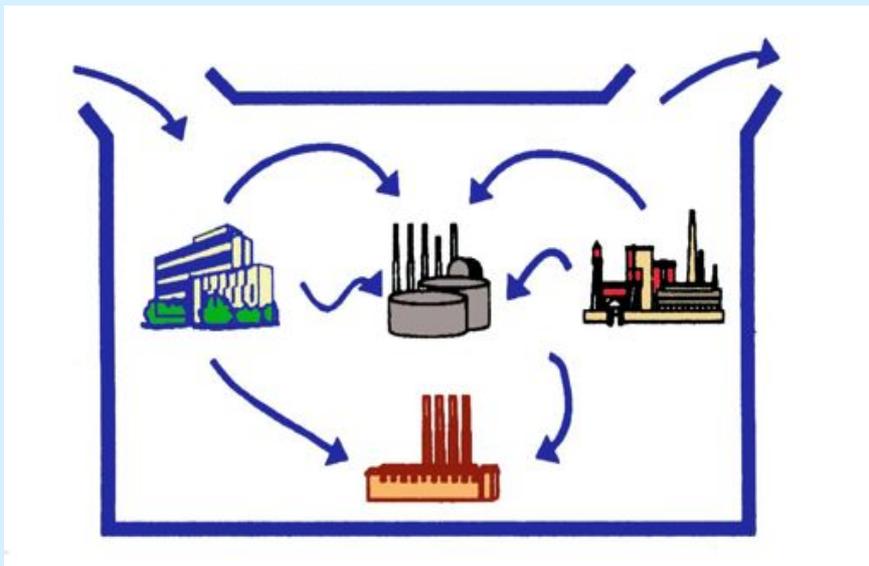
**Fermes verticales (3D farming)**



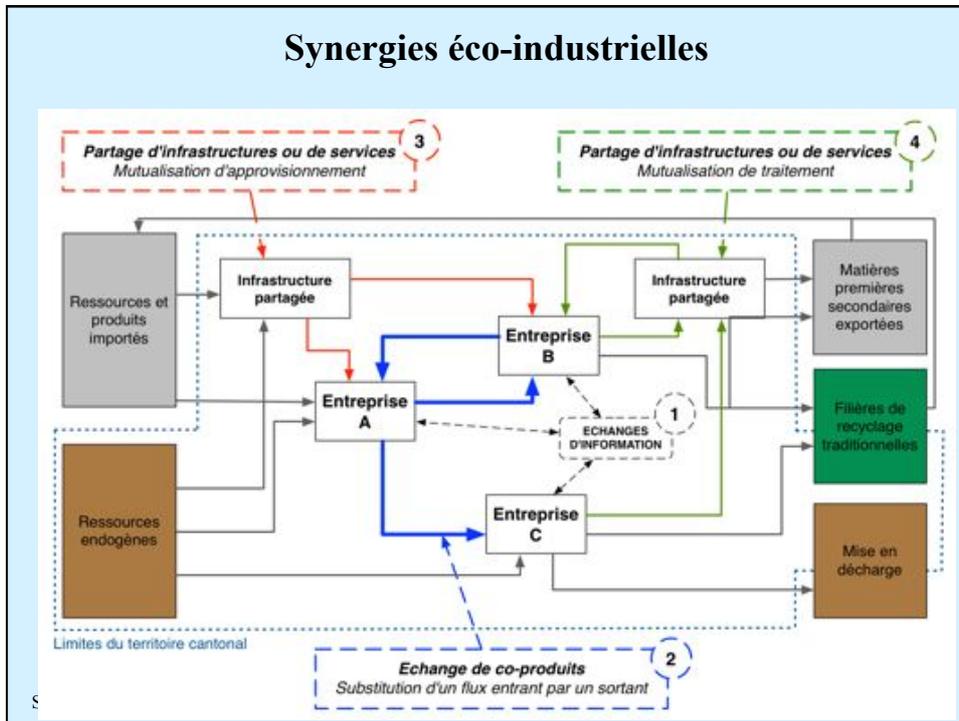
**Ferme verticale:  
Singapour, 2011**



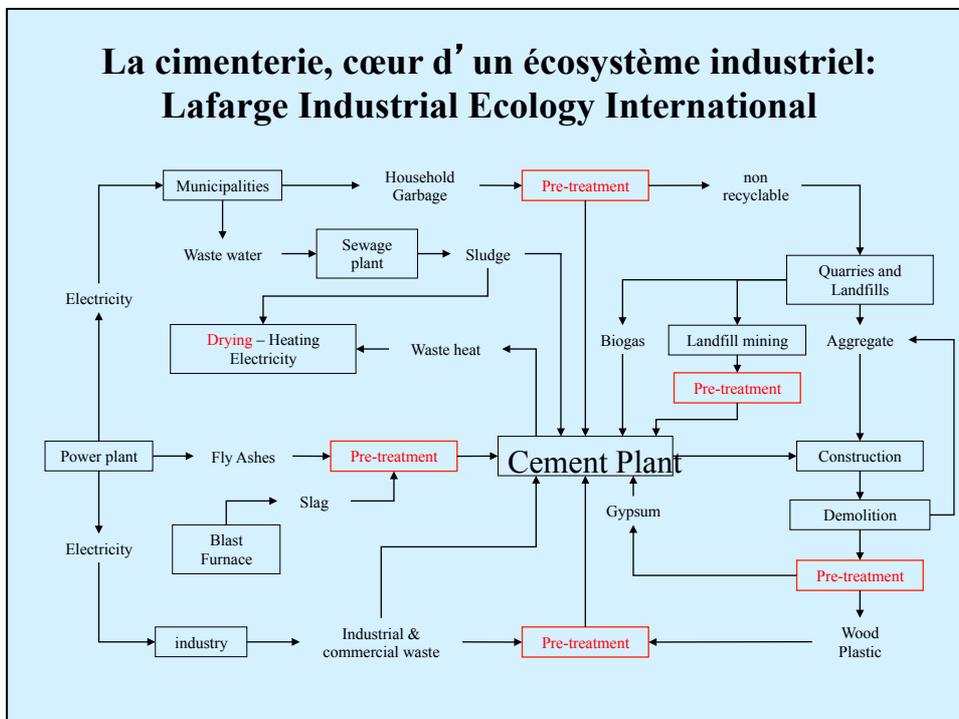
**Réseaux éco-industriels**



## Synergies éco-industrielles



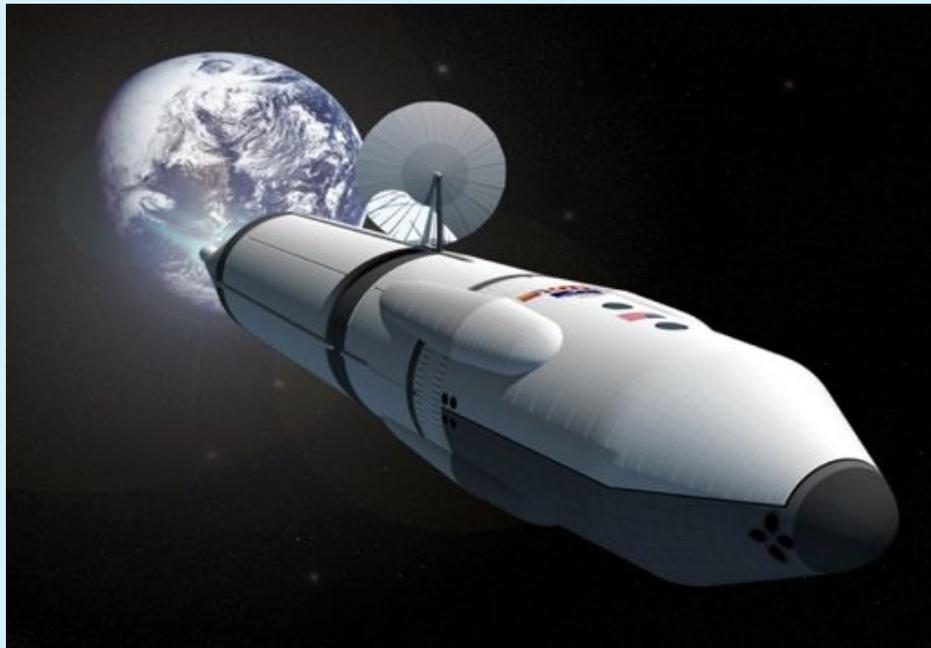
## La cimenterie, cœur d'un écosystème industriel: Lafarge Industrial Ecology International



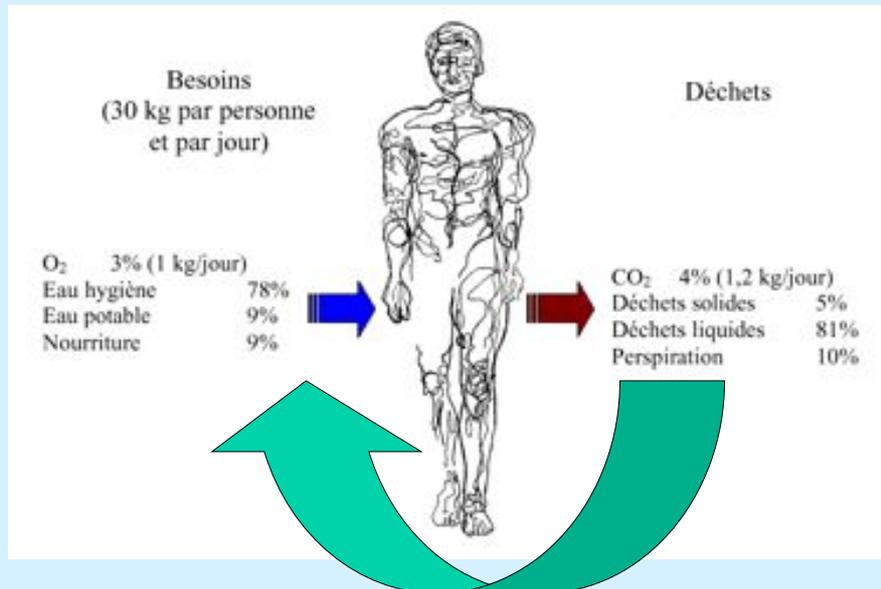
## **Symbioses ou synergies éco-industrielles:**

- **Bénéfices «collatéraux» des réseaux éco-industriels:**
  - **certification de zones (valeur ajoutée territoriale)**
  - **redynamisation de l'économie locale**
  - **catalyseur pour la transition énergétique**
  - **nouvelles activités industrielles, nouveaux métiers**

## **Mission habitée vers Mars: départ en 2030 (?)**

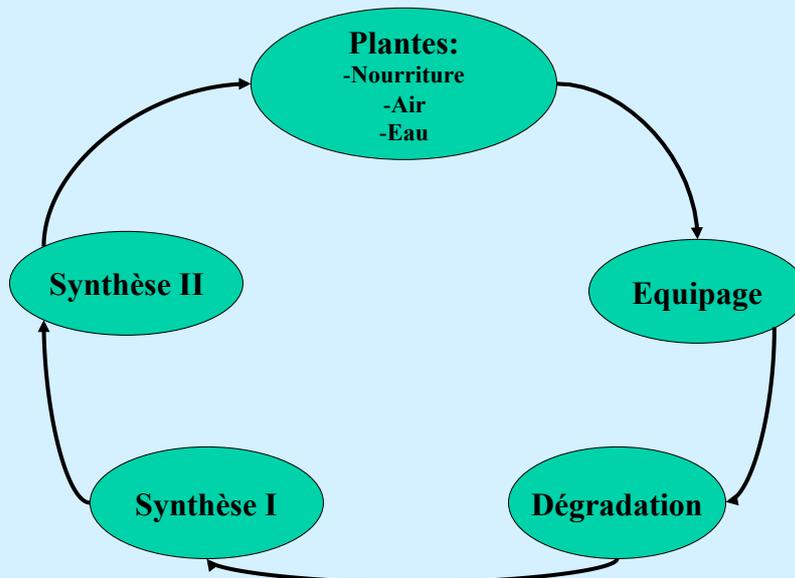


## Solution? S'inspirer de la Biosphère...



Source: Chr. Lasseur, ESTEC/ESA

## «Support vie»: écosystème microbien artificiel



• Boucle fonctionnant avec des micro-organismes et des plantes supérieures

**Premier test de salade...  
(International Space Station, 2002)**



**Airbus A 380: recyclage des eaux grises**



## **Le problème du CO<sub>2</sub>**

**dans la perspective de l'écologie industrielle**

**? ? ?**

### **«Global Carbon Wealth»: une autre perspective sur la question du CO<sub>2</sub>**

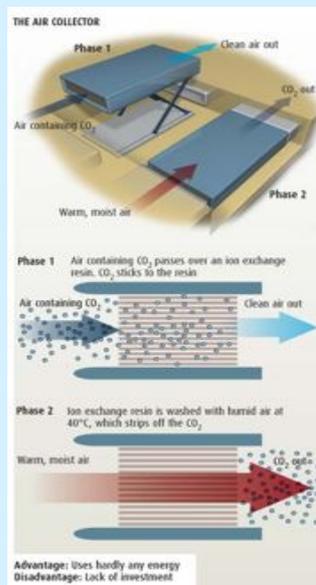
- **Les humains fabriquent une «mine artificielle» de carbone (gazeuse) dans l'atmosphère...**
- **Pourquoi ne pas «miner l'atmosphère» par une forme de photosynthèse artificielle ?**

# Capture atmosphérique

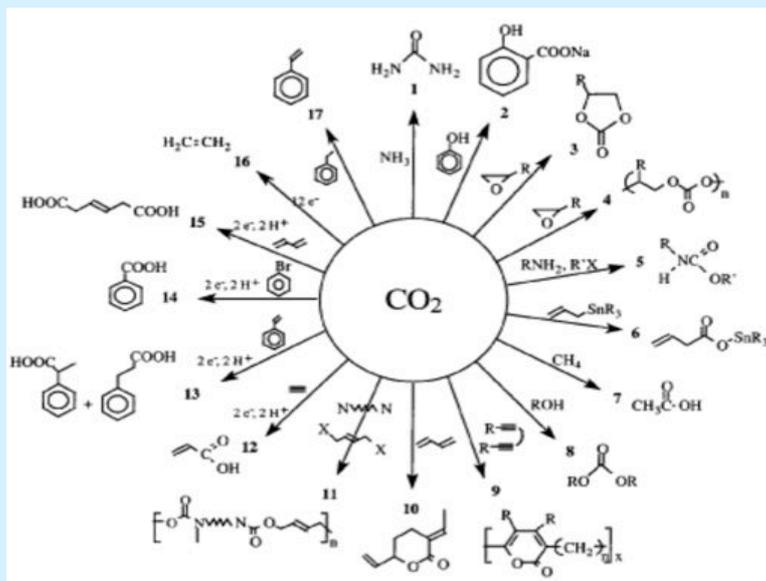
- Lackner System
  - Polymère imprégné de NaOH
  - Très grande surface spécifique

☺ Passif (faible consommation d'énergie)

☹ Conception et durée de vie des résines



## «Global Carbon Wealth»



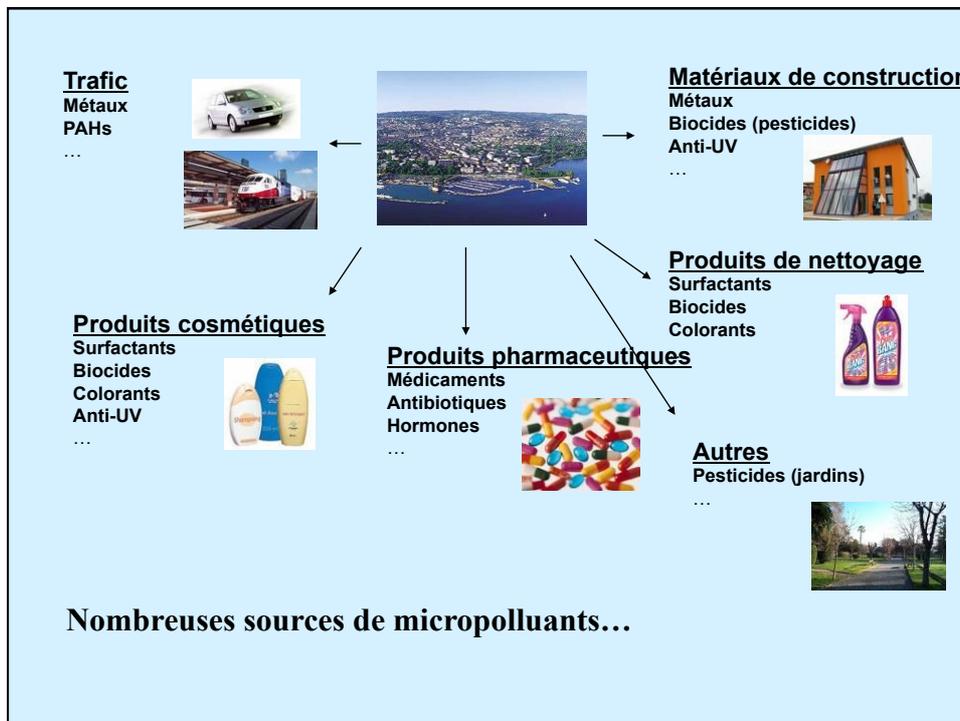
Source: Arakawa & al. 2001 / P.-Ph. Chappuis 2009

**«Global Carbon Wealth»:  
une autre perspective sur la question du CO<sub>2</sub>**

- **Questions les plus délicates:**
  - à qui appartient le CO<sub>2</sub> anthropogénique atmosphérique ?
  - selon quel «business model» l'exploiter ?
  - comment distribuer la richesse carbonée globale ?
  - comment éviter une surexploitation ?
  - Etc.

**2) Etanchéifier (Minimiser les pertes)**

- **Objectif: minimiser ou rendre bénignes les pertes dissipatives durant tout le cycle de vie des produits et des services**
- **Exemple: Green Chemistry (chimie verte)**



### 3) Dématérialisation

#### Objectif:

**Découpler les activités économiques et la consommation de ressources matérielles.**

## 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**

### **Product Service Systems**

(«Economie de fonctionnalité»)

**Concept:**

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

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

## **4) Equilibrer**

**Ré-équilibrer la «diète» du système industriel**

## Le système industriel: une économie omnivore !

Tableau périodique des éléments

1																	2
H																	He
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56		72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba	**	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	**	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo
		* Lanthanides	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
		** Actinides	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Métalloïdes	Non-métaux	Halogènes	Gaz nobles
Métaux alcalins	Métaux alcalino-terreux	Métaux de transition	Métaux pauvres
	Lanthanides	Actinides	

## 4) Décarboniser (Equilibrer)

**But: découpler l'économie du carbone fossile**

- a) Diminuer les impacts de la consommation de carbone fossile
- b) Réduire progressivement la dépendance au carbone fossile
- c) Sécuriser l'approvisionnement énergétique (renouvelable)

*«Planification énergétique territoriale»*

**Stratégie de «maturation»  
des écosystèmes industriels:**

- 1) Boucler**
- 2) Etanchéifier**
- 3) Intensifier (dématérialiser)**
- 4) Equilibrer (décarboniser)**

**Trajectoires technologiques  
5 «clusters» principaux  
depuis la Révolution industrielle:**

- 1. 1750-1820: «Textiles»**
- 2. 1820-1870: «Vapeur» (canaux, charbon)**
- 3. 1870-1930: «Ingénierie 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?)**

### **Trajectoires technologiques: la suite?**

**• 2001 - 2???: «Contrôle intégral réticulaire» ?**

**Internet, télécoms mobiles, télésurveillance,  
intelligence artificielle, énergies décentralisées,  
systèmes nucléaires avancés, nanotechnologies, etc.**

*... mais encore?*

# Trajectoires technologiques

La suite ? ? ?

## Dynamique technologique: la «Convergence NBIC»



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

## **Evolution technologique ?**

**La convergence cruciale:**

**-NBIC**

**-Autonomie**

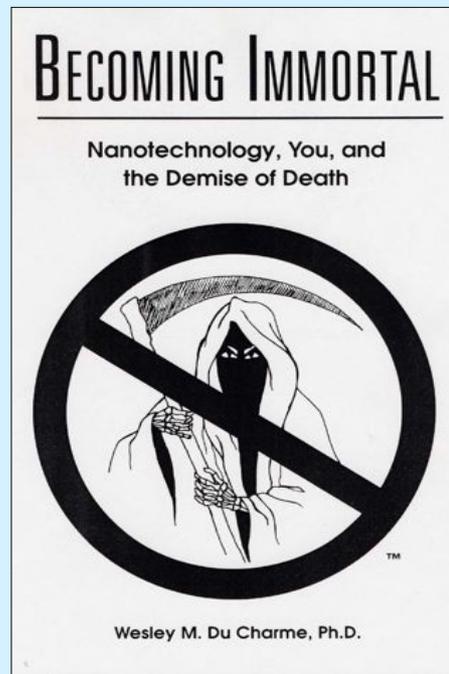


**Vers la «Singularité»???**

### **NBIC / Singularité: principaux risques...**

- **Risques «biosphériques»**
- **Risques «militaires»**
- **Risques «socio-politico-économiques»**
- **Risques «anthropologiques»**

**Risques  
anthropologiques...**



**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)*

**«...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**

**Voir:**

***Dominium mundi - l’Empire du  
management***

Pierre Legendre

CE QUE L'OCCIDENT  
NE VOIT PAS DE L'OCCIDENT

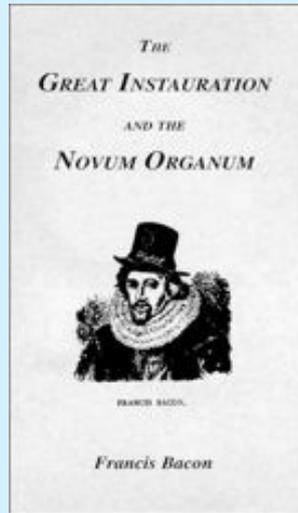
Conférences au Japon



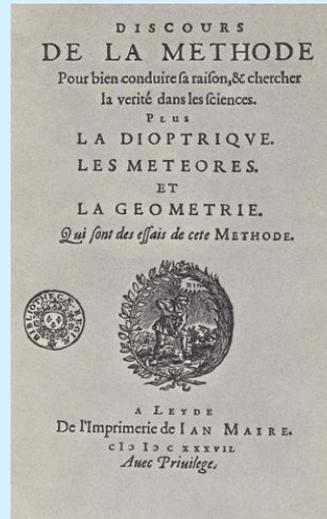
Les quarante piliers

MILLE ET UNE NUITS

**Enjeu philosophique:  
la fin du paradigme de l'expansion illimitée...**



**1620**  
(1561-1626)



**1637**  
(1596-1650)

***Merci pour votre attention !***

***Questions ?***

**Prof. Suren ERKMAN**

**suren.erkman@unil.ch**