

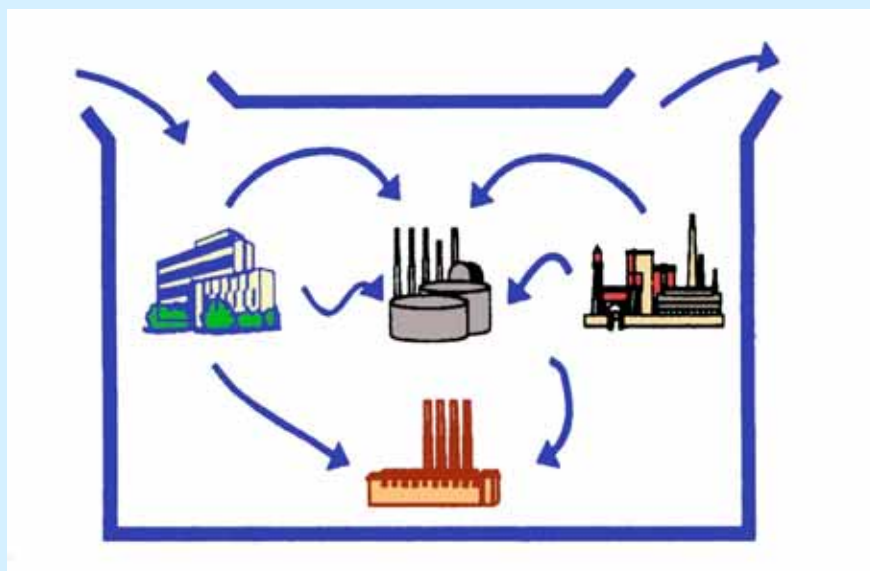
# Introduction à l'écologie industrielle

Cours du Prof. Suren ERKMAN

*Séance du 9 novembre 2006*

Master SIE - ENAC - EPFL - 2006 / 2007

## Parcs et réseaux éco-industriels



Source: R.P. Côté and al.

## **Réseaux trophiques entre entreprises**

Evident... mais pas trivial:

- **La meilleure approche ne consiste pas nécessairement à minimiser les «déchets» des entreprises individuelles.**
- **Objectifs: générer des sous-produits valorisables, en procédant aux éventuelles adaptations nécessaires.**

## **Réseaux trophiques entre entreprises**

Evident... mais pas trivial:

- **Elaborer des processus industriels «flexibles», pouvant utiliser des matériaux de composition et de qualité variables.**

## Réseaux éco-industriels

### Enjeu territorial:

- remise en cause du «zonage» traditionnel
- nouvelle «hybridation» d'activités  
( «biocénoses industrielles»)

### National Industrial Symbiosis Programme (NISP) - UK

Valorisation d'huiles végétales usagées sous forme de biodiesel

?

*British Industrial Plastic*

?

*RIX Bio Diesel Ltd*

Source: Ben Duret

## National Industrial Symbiosis Programme (UK)

### British Industrial Plastic

- *Excès de capacité de production*
- *Infrastructures et licences pour la production de composés organiques*
- *Stratégie de développement d'activités de recyclage*

### Mais

- *Pas de source d'huile végétale recyclée*
- *Pas de marchés correspondant*

Source: Ben Duret

## National Industrial Symbiosis Programme (UK)

### RIX Bio Diesel Ltd

- *Source d'huile végétale identifiées*
- *Connaissance des marchés de biodiesel*

### mais

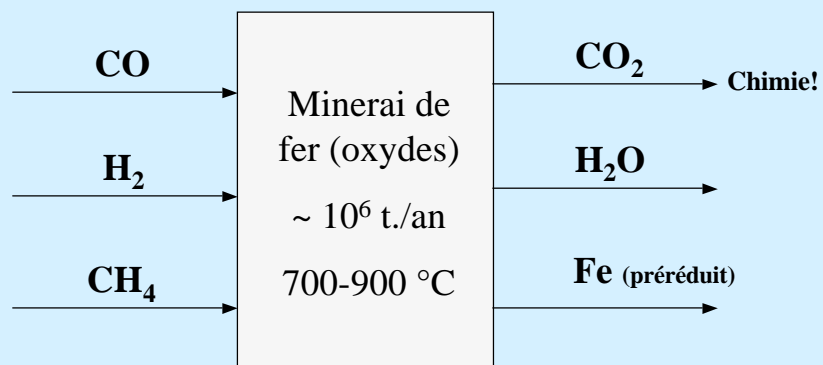
- *Pas d'unité de production*
- *10 million de £ disponibles*

Source: Ben Duret



## Complexe «préréduits»

(concept pour Grande Synthe/Dunkerque)



### Enjeu stratégique: Electricité de France (EDF)

• **Objectifs:**

- 50% du CA hors électricité
- 50% hors de France

• **Mot d'ordre: «multiservices, multi-énergies»**

(stratégie dans un marché libéralisé)

### **Enjeu stratégique: Electricité de France (EDF)**

- **EDF a identifié l'écologie industrielle comme stratégique à double titre :**

- a) **comme producteur**

- b) **comme prestataire de services**

- **Fin 2001: Création de l'AssociationAuxilia**

- <http://www.auxilia.asso.fr>

### **Détection de synergies entre entreprises:**

- 1) **Approche empirique:**

- Réseautage social**

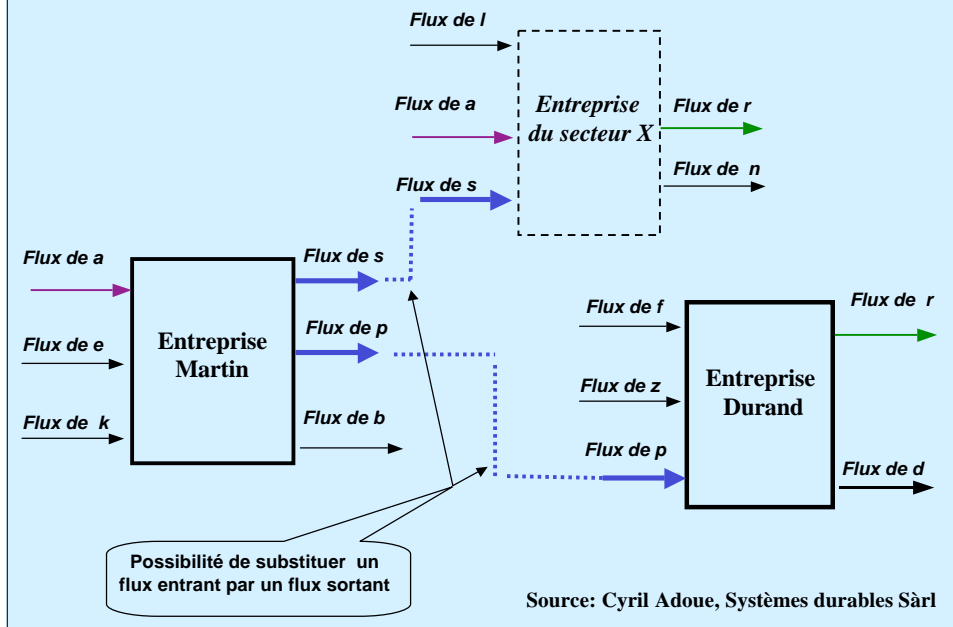
- 2) **Approche systématique:**

- Métabolisme de chaque partenaire potentiel**

- 3) **Approche déductive:**

- Détection de toutes les synergies théoriquement possibles**

## Détection de synergies intersectorielles



## Caractérisation des flux

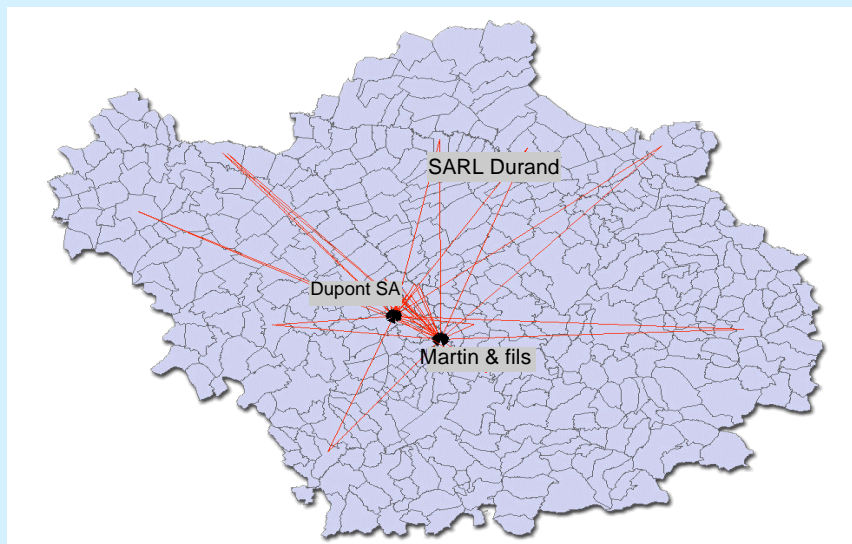
Ex.: eau

- Eau potable
- Eau domestique
- Eau déminéralisée
- Eau décarbonatée
- Eau purifiée
- Eau glycolisée
- Eau industrielle
- Eau contaminée par des hydrocarbures

## Caractérisation des flux Ex.: énergie

- Air comprimé
- Air chaud
- Air froid
- Chaleur
- Eau chaude
- Eau froide
- Effluents gazeux chauds
- Effluents liquides chauds
- Electricité
- Vapeur d'eau

## Détection de synergies sur un territoire (EDF/SD)



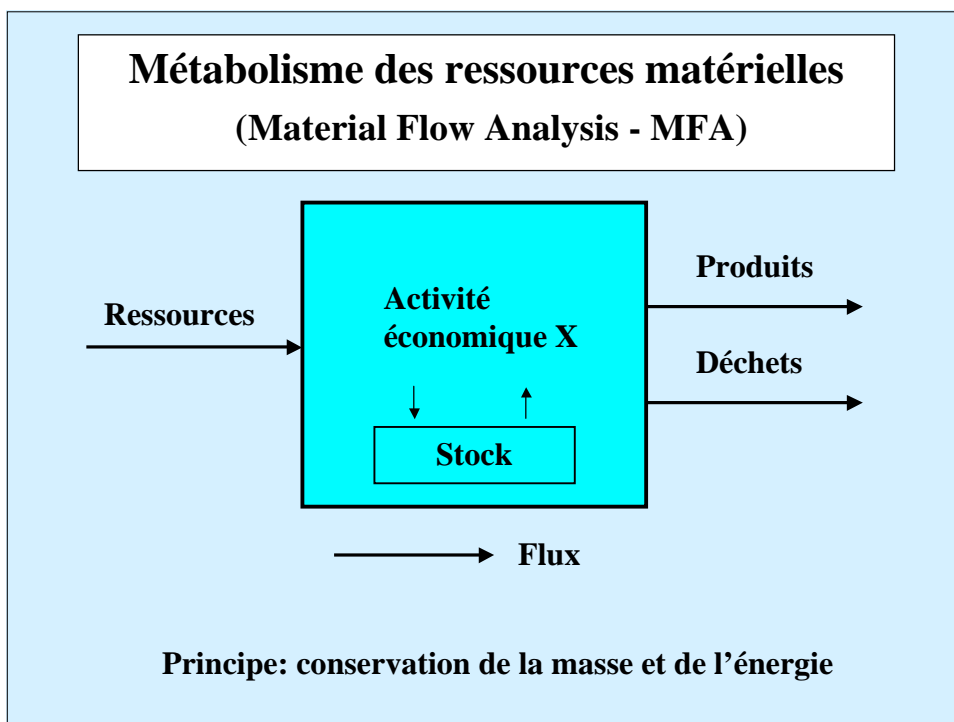
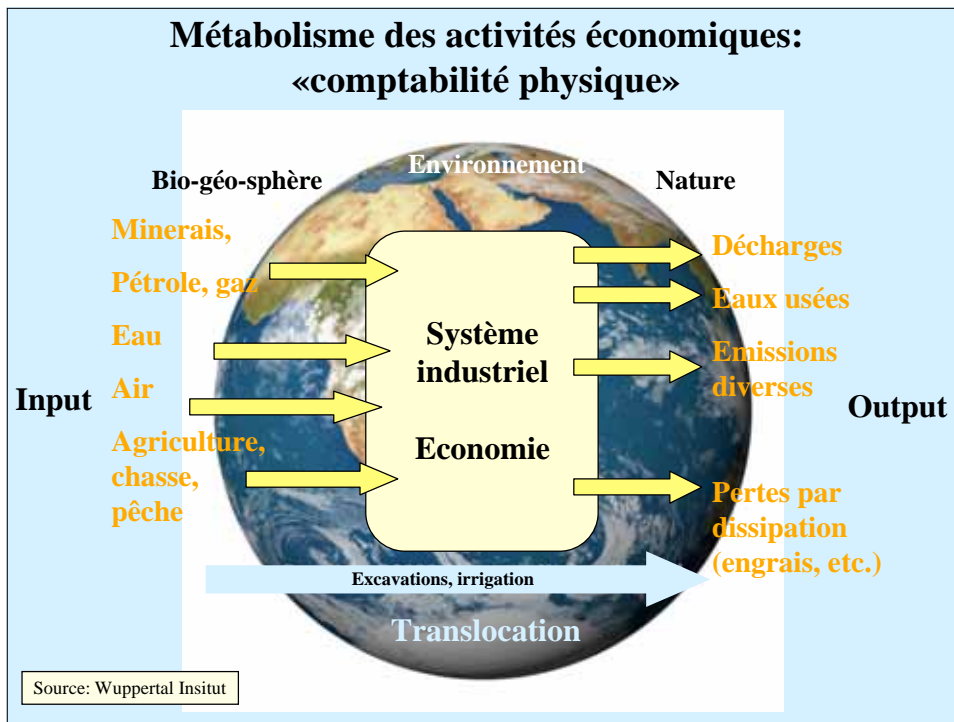
Source: Cyril Adoue, Systèmes durables Sàrl

### **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)**

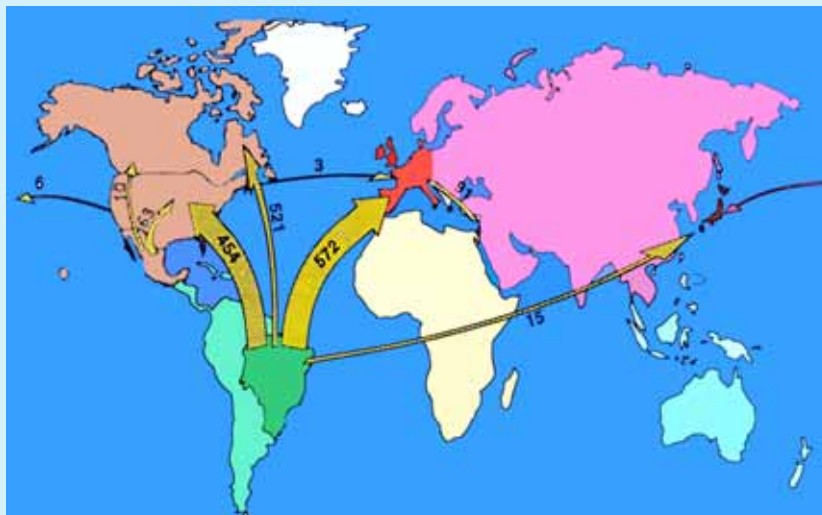
- **Accroître l'attractivité d'un territoire**
- **Stimuler l'innovation (économique, sociale)**
- **Réduire les risques environnement / santé**
- **Prévenir de nouveaux risques potentiels !!!**
- **Etc.**



## Métabolisme industriel: options

- Élément (Cu, Cl, etc.)
  - Substance
  - Produit
  - Procédé
  - Secteur
  - Global
- **Limites temporelles et spatiales:**
    - Année, jour, siècle, etc.
    - Monde, pays, région, immeuble, entreprise, etc.

## Flux de jus d'orange concentré (milliers de tonnes par an)



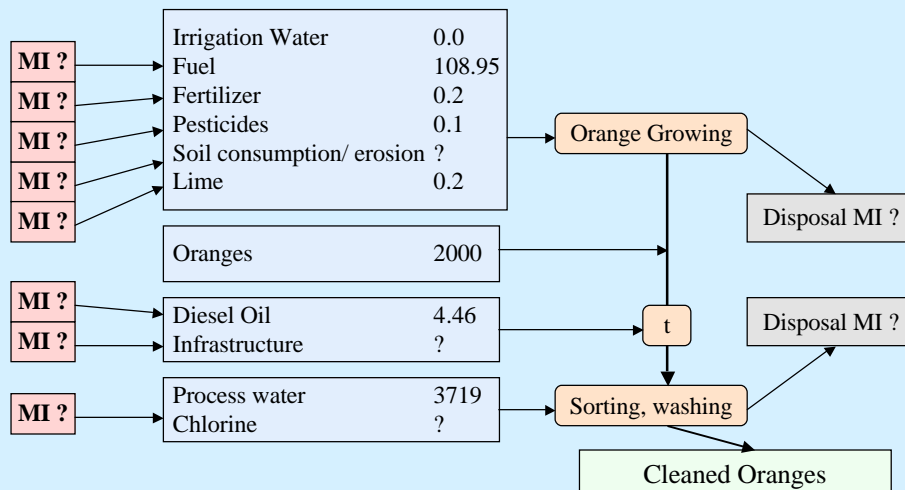
Source: S. Bringezu, Wuppertal Institute

## 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  $-18^{\circ}\text{C}$ .

## 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.**

### **Métabolisme industriel du jus d'orange:**

- **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<sup>2</sup> de terrain pour produire 21 l. de jus.**
- **Donc: 150'000 hectares de terrain au Brésil pour désaltérer l'Allemagne.**

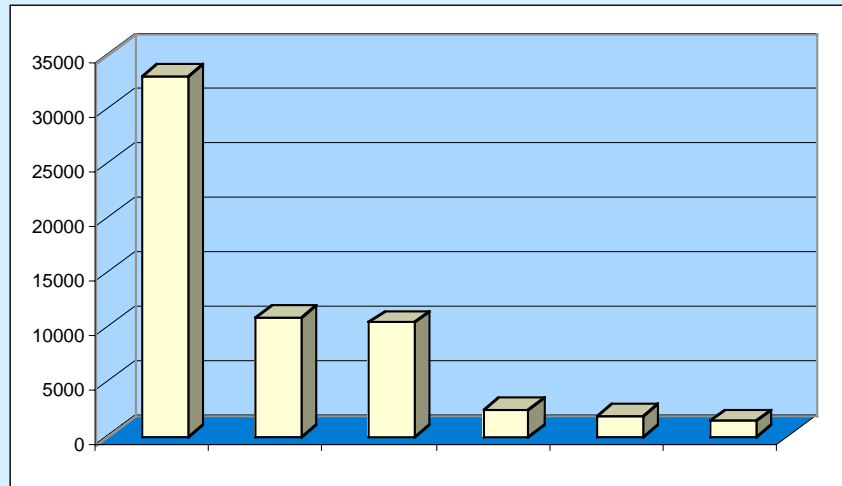
(seulement 48'000 hect. pour les cultures fruitières en Allemagne)

### **Métabolisme du jus d'orange aux USA:**

**Pour UN litre de jus d'orange:**

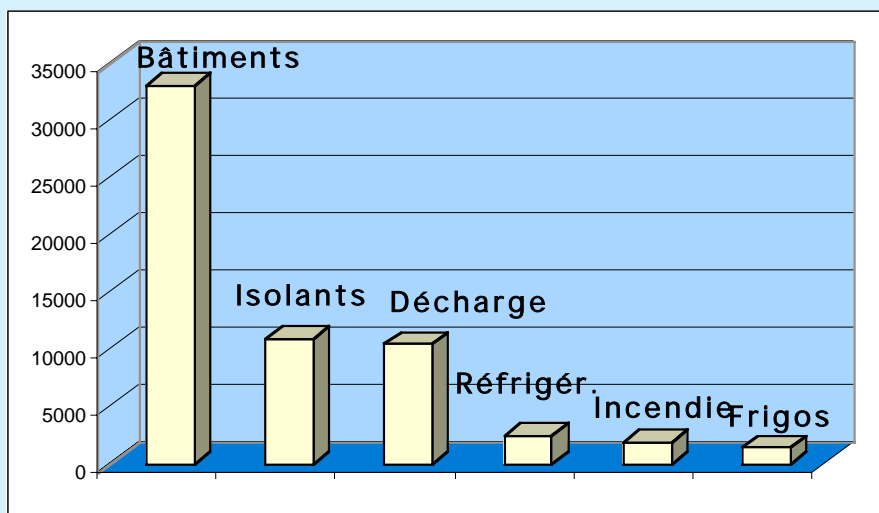
- **1000 l. d'eau pour l'irrigation**
- **2 kg. de pétrole**

## CFC en Autriche...?

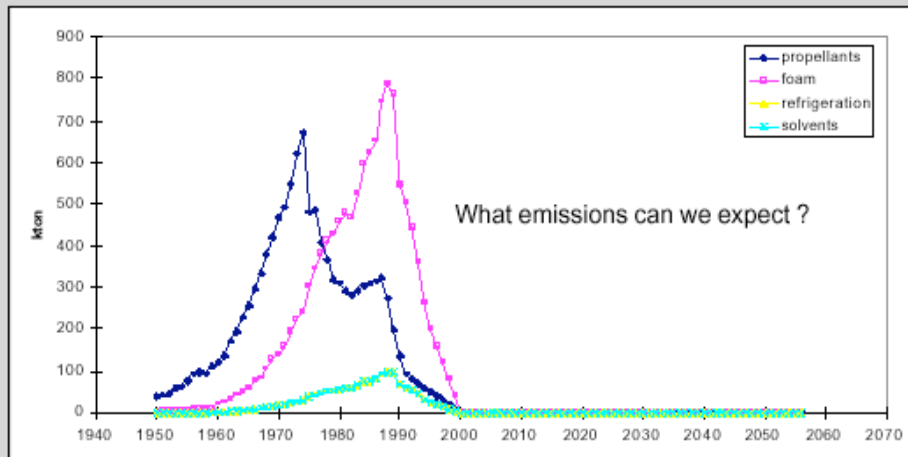


Incendie / Frigos / Décharges / Bâtiments / Isolants / Réfrigérants

## CFC en Autriche

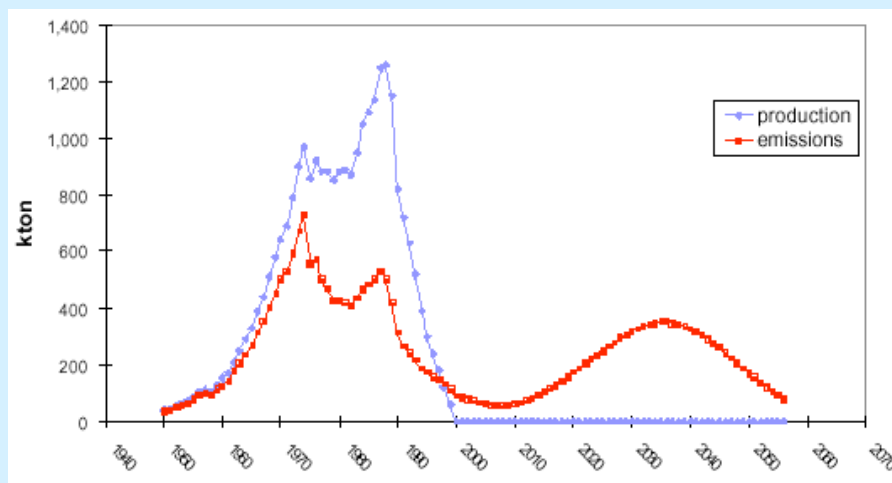


## Consommation mondiale de CFC (kilotonnes)



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

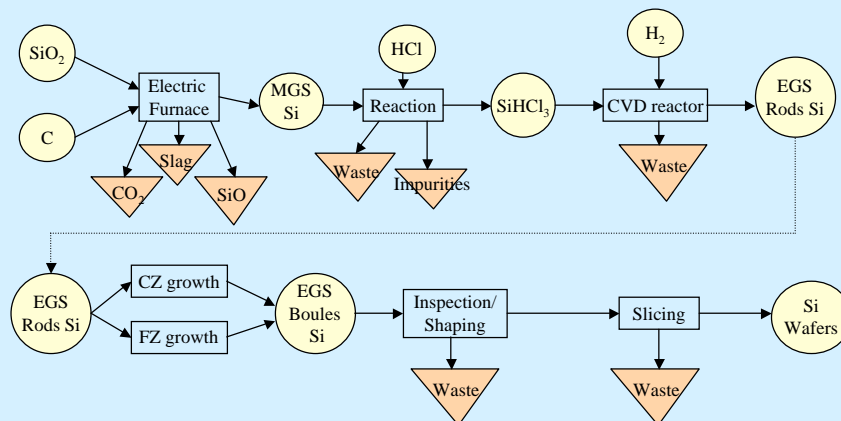
## Production et émissions mondiales de CFC (modèle, en kilotonnes)



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

## Métabolisme industriel des semiconducteurs

Préparation des « wafers »:



Source: Ayres and Ayres, 1996

## Métabolisme industriel des semiconducteurs

**Matière première: Metal Grade Silicon (MGS)**

**Après purification: Electronic Grade Silicon (EGS)**

## **Métabolisme industriel des semiconducteurs**

**Production mondiale de MGS: ~ 1'000'000 t.**

**Dont environ 32'000 t. (~ 4 %) convertis en EGS.**

## **Métabolisme industriel des semiconducteurs**

- **Dont ~ 3'200 t. (~ 10 %, ou 0.4 % du MGS)  
utilisées pour la fabrication de cellules  
photovoltaïques.**
- **Mais seulement 750 t. de EGS (i.e. ~ 3 %) sont  
finalement incorporées dans des circuits intégrés!**

## **Métabolisme industriel des semiconducteurs**

### **Substances pour la fabrication:**

- ~ 100'000 tonnes de Chlore par année!
- ~ 200'000 tonnes de produits chimiques (solvants, etc.)

**Donc: ...**

## **Métabolisme industriel des semiconducteurs**

**Donc:...**

**Gros problème avec les procédés de fabrication actuels, en cas d'utilisation à grande échelle du solaire photovoltaïque.**

## **Métabolisme industriel des semiconducteurs**

### **Raisons de ce gaspillage?**

- **Faible concurrence entre les producteurs de substances pour les procédés de fabrication.**
- **Les procédés de fabrication se déroulent à petite échelle.**

## **Métabolisme industriel des semiconducteurs**

**La matière première a une très faible valeur par rapport au produit final:**

- **Valeur de l'EGS: 1.5 \$/kg.**
- **Valeur du Silicium incorporé dans les «chips»:  
~75'000 \$/kg.!**