

Ecologie industrielle: concepts et applications en agro-industrie

Ludovic Montastruc

Ludovic.Montastruc@ensiacet.fr



Université
de Toulouse

Contexte actuel

Tendances lourdes: économie

Expansion généralisée du système et de la société industrielle («globalisation»)

- **Domination de l'économisme libéral**
- **Affaiblissement de l'Etat, «gouvernance»**
- **Intensification du commerce international (OMC)**
- **Dépendance croissante à l'innovation technologique.**

Pressions croissantes sur la Biosphère, en intensité et en rapidité :

- **Accroissement démographique**
- **Consommation croissante de ressources...**
- **... génération et accumulation croissante de déchets**
- **Changements globaux (climat, biodiversité, forêts, océans, désertification) et «universels» (dégradations locales)**

Introduction

- Le marché de la pollution - i.e. l'approche "end of pipe"
- Depuis le début des politiques de « protection de l'environnement », dans les années 50-60 (d'abord dans les pays de l'OCDE), l'approche principale consiste à agir de manière réparatrice, en aval, en traitant la pollution : c'est ce que l'on appelle l'approche « end of pipe », que l'on peut traduire en français par « fin de processus ».

Traditionnellement, on distingue

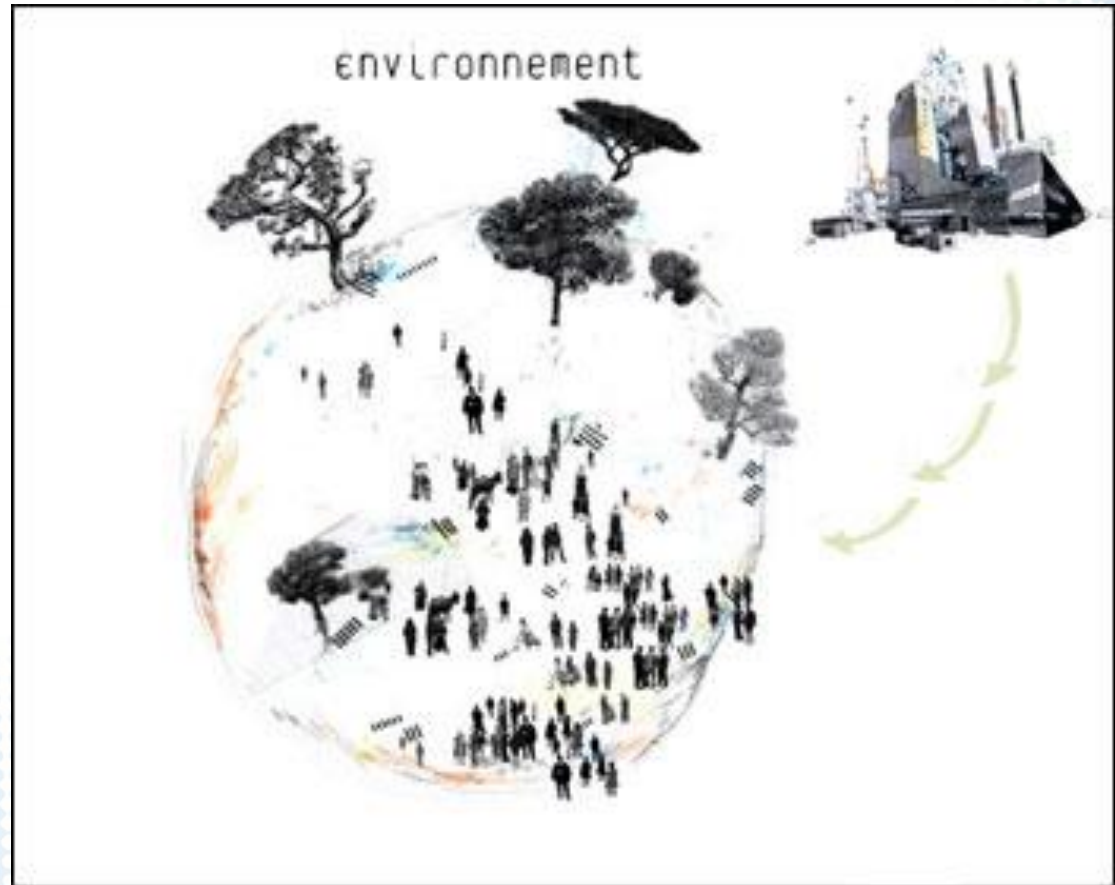
trois aspects de l'approche « end of pipe »

- **les équipements nécessaires au traitement de la pollution** : Équipements de traitements de déchets, stations d'épuration des eaux, dispositifs de contrôle des polluants (filtres, etc.).
- **les infrastructures nécessaires au fonctionnement** de ces équipements : installations, infrastructures pour effectuer ces traitements de la pollution.
- **les services à valeur ajoutée associés** : services de suivi et conseil associés: mesures, analyses, contrôles, évaluations, études d'impact, etc.

A l'inverse de l'approche end of pipe, l'écologie industrielle (tout comme d'autres approches plus anciennes et moins globales, comme la Cleaner Production ou l'Eco-efficacité) vise une approche en amont, préventive

L'approche "end of pipe"

- Le système industriel perçu comme séparé de la Biosphère



Ecologie Industrielle

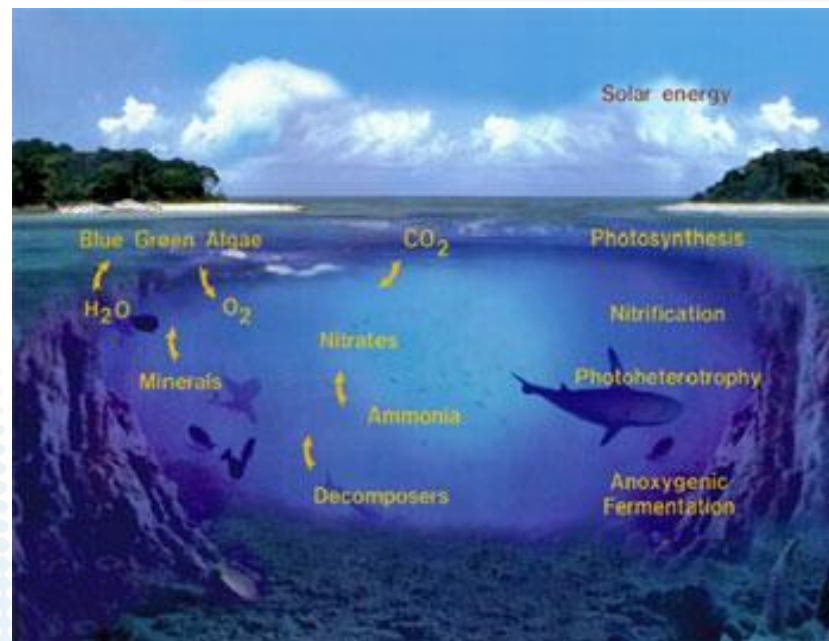
- l'écologie industrielle considère par analogie le système industriel comme **un « écosystème »** d'un type particulier. L'idée essentielle ici est de concevoir le système économique comme un sous-système de la Biosphère, dont il reste fondamentalement dépendant.
- Alors que l'approche « end of pipe » se concentre sur le traitement d'une partie des « Output » (les déchets), l'écologie industrielle s'intéresse **à la totalité des flux** (et stocks) de matière et d'énergie transitant dans le système économique, y compris les translocations. Les translocations sont des flux de ressources qui ne sont pas comptabilisés dans les comptabilités des entreprises ou des collectivités publiques, car ils ne font pas l'objet de transactions commerciales : par exemple l'eau d'irrigation, les résidus stériles d'exploitation minière, les mouvements de terre et de roches liés à la construction d'infrastructures routières, etc. Bien que n'ayant pas d'existence économique, les flux de translocations peuvent avoir des impacts environnementaux importants

Ecologie Industrielle

- **" Le modèle simpliste actuel d'activité industrielle doit être remplacé par un modèle plus intégré: un écosystème industriel. "**
R. Frosch et N. Gallopoulos, General Motors Laboratories, Pour la Science, novembre 1989
- **C'est donc un changement radical dans la manière de considérer l'activité économique, du moins dans la perspective du système industriel tel qu'il se développe depuis deux siècles**

Ecologie Industrielle

- Il importe donc de garder à l'esprit que le concept d'écosystème industriel est une analogie, à ne pas prendre au pied de la lettre.



Ecologie Industrielle

Ecosystèmes naturels	Ecosystèmes industriels
Cycles des nutriments et des minéraux	Flux, stockage et boucle de flux de matières
Rôle des inputs externes (nutriments, minéraux, organismes)	Rôle des matériaux, de la connaissance et du capital importés
Rôle de la matière organique morte dans l'approvisionnement de l'écosystème	Rôle des déchets et de leur recyclage
Rôle de la symbiose (mutualisme) <i>Relations entre organismes mutuellement bénéfiques pour l'accès aux ressources, etc.</i>	Présence d'échange de co-produits, de mutualisation d'approvisionnement ou de traitement, de partage d'infrastructures ou de services
Boucles de rétroaction positive et négative	Offre et demande du marché

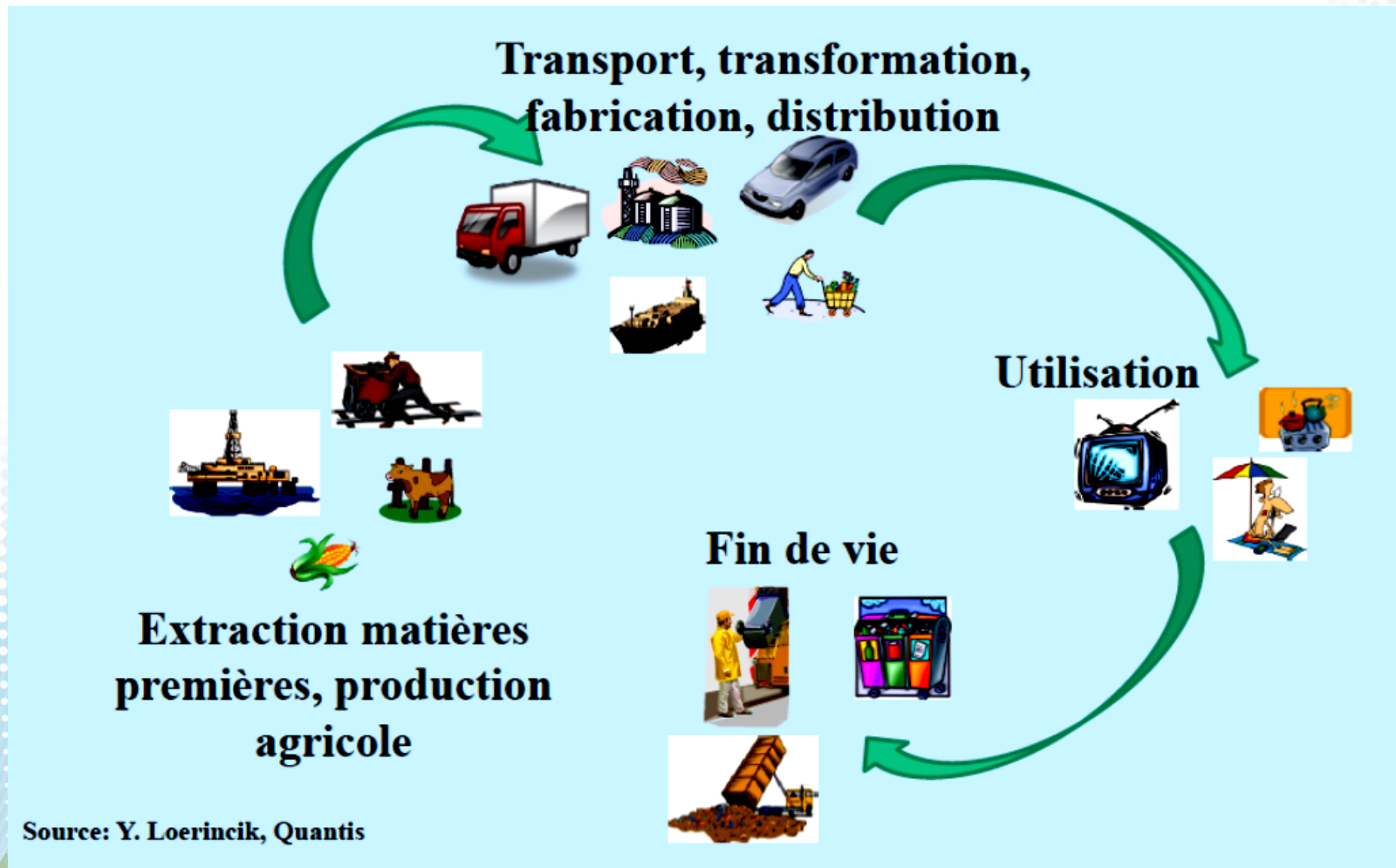
Source Th. Besson, UNIL

- **Que fait-on?**

- Mesurer, analyser, évaluer, comprendre

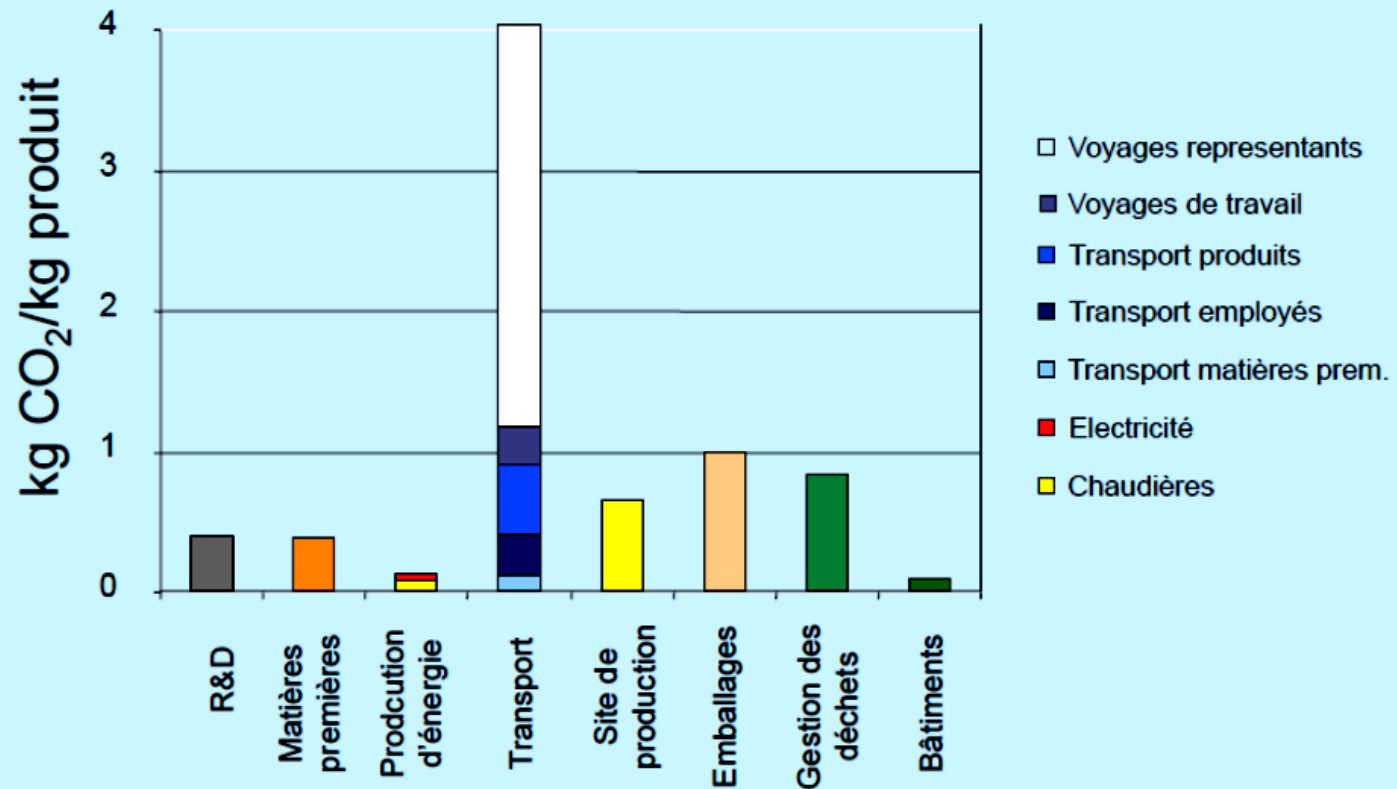
- Analyse des flux matières et énergie pour décrire le métabolisme des activités économiques
 - Analyse du cycle de vie (ACV) évalue les impacts potentiels

- Mettre en œuvre aux différentes échelles



Ex.: entreprise pharmaceutique

Emissions de CO₂ à différentes étapes du cycle de vie



Source: Ecoatintsys

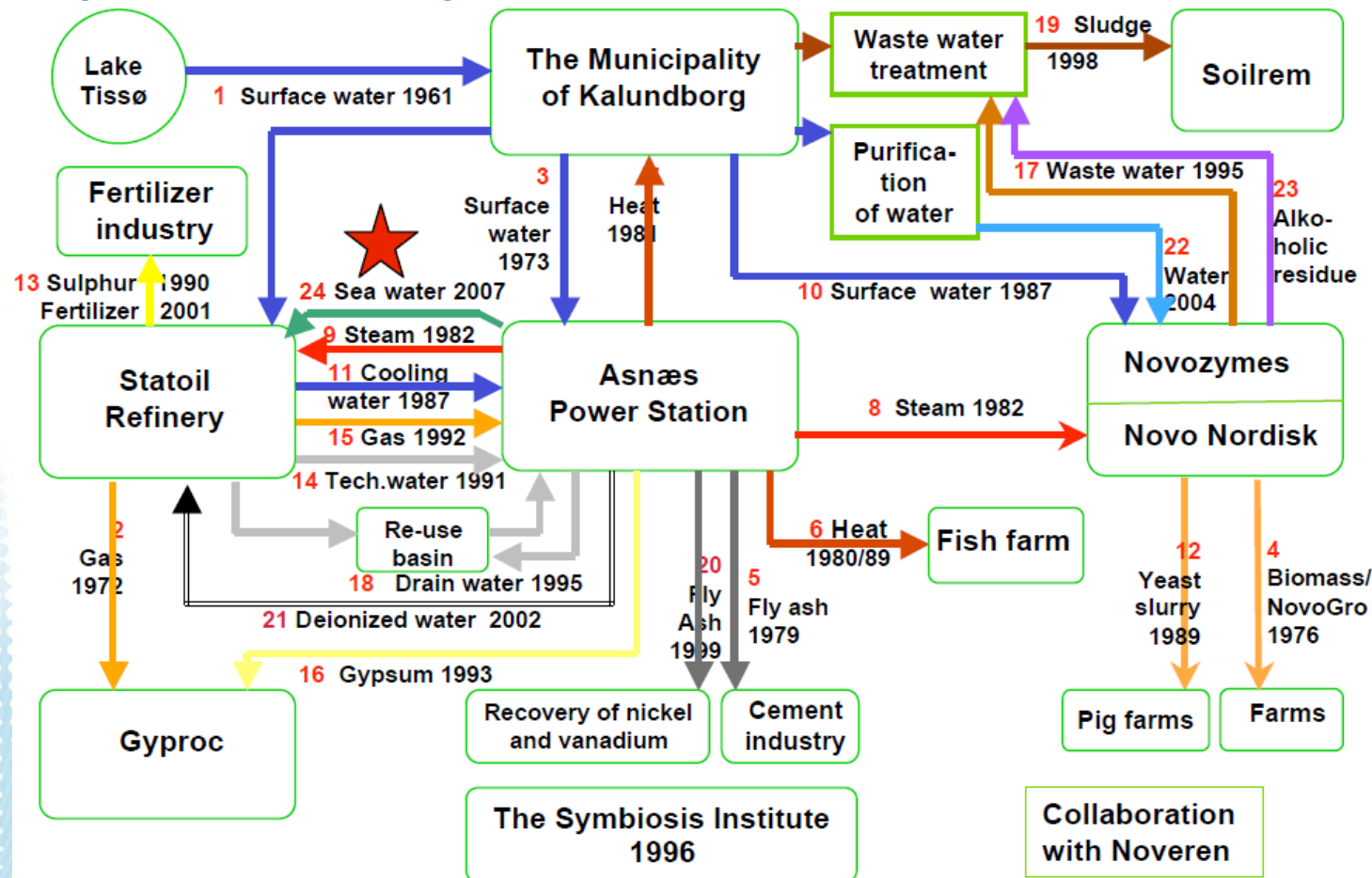
Les symbioses industrielles



Les symbioses industrielles

La Symbiose industrielle de Kalundborg - Etat en 2006

[Source: Christensen, 2006]



Les symbioses industrielles

Chiffres pour Kalundborg (1998)

Principales ressources économisées:

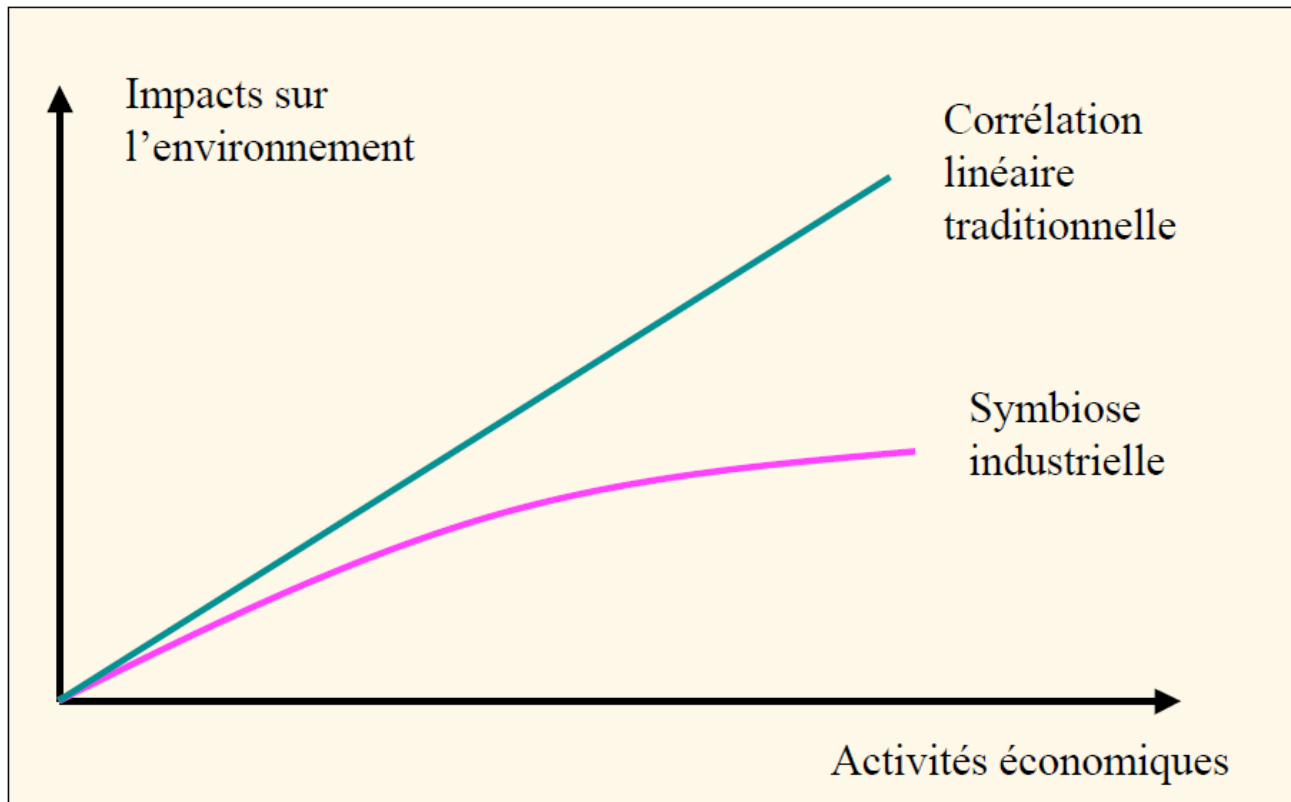
- Eau souterraine: 1,9 million m³ / an
- Eau de surface: 1,0 million m³ / an
- Pétrole: 20'000 tonnes / an
- Gypse: 200'000 tonnes / an

Gains économiques:

- Investissements (18 projets): ~75 mil. US\$
- Economies annuelles: +15 mil. US\$
- Gains totaux 1980-1998: ~160 mi. US\$
- Retour sur investissement: max. 5 ans

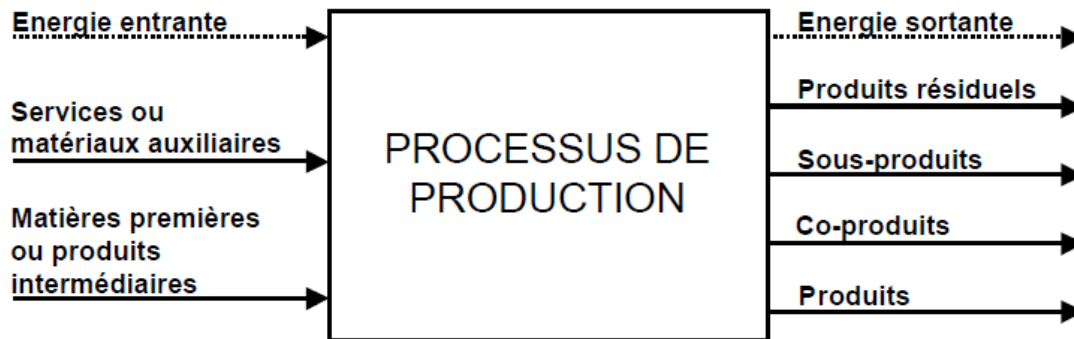
Les symbioses industrielles

Effet de la symbiose industrielle



Les symbioses industrielles

Flux de matière et d'énergie dans un processus de production



Valeur marchande des produits

Produits > Co-produits > Sous-produits > Produits résiduels

++

++

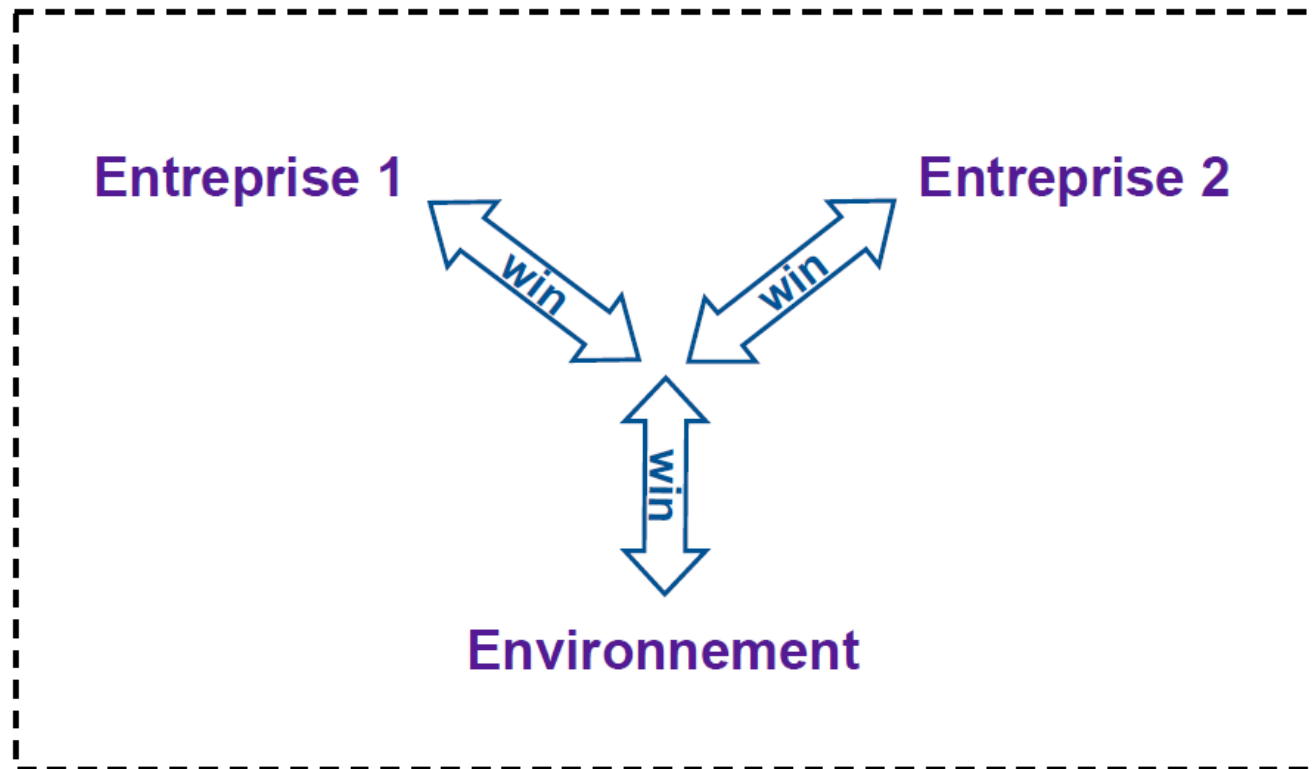
+

—

(Lambert, 2001)

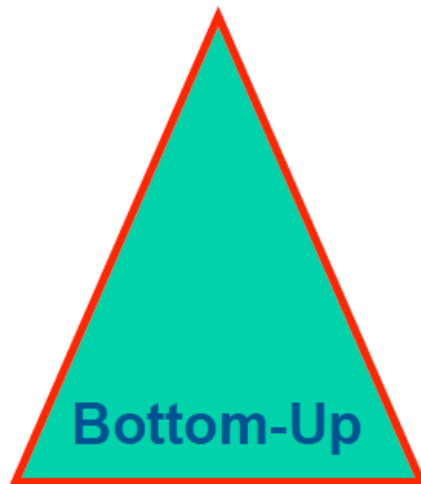
Les symbioses industrielles

Stratégie WIN - WIN - WIN



Les symbioses industrielles

Stratégies de gestion pour la mise en place de réseaux de symbioses



Initiative des
entreprises
(ex: Kalundborg)



Initiative publique ou non-
industrielle
(ex: Eco-park aux USA)

Symbioses ou synergies éco-industrielles:

- **Bénéfices «collatéraux» des réseaux éco-industriels:**
 - **redynamisation du tissu économique local**
 - **catalyseur pour la transition énergétique**
 - **échanges de savoirs-faire locaux**
 - **nouvelles planifications territoriales («eco-zonages hybrides»)**

Quelques expériences françaises (2011)

- Territoires pilotes DGCIS
- Territoires projet COMETHE

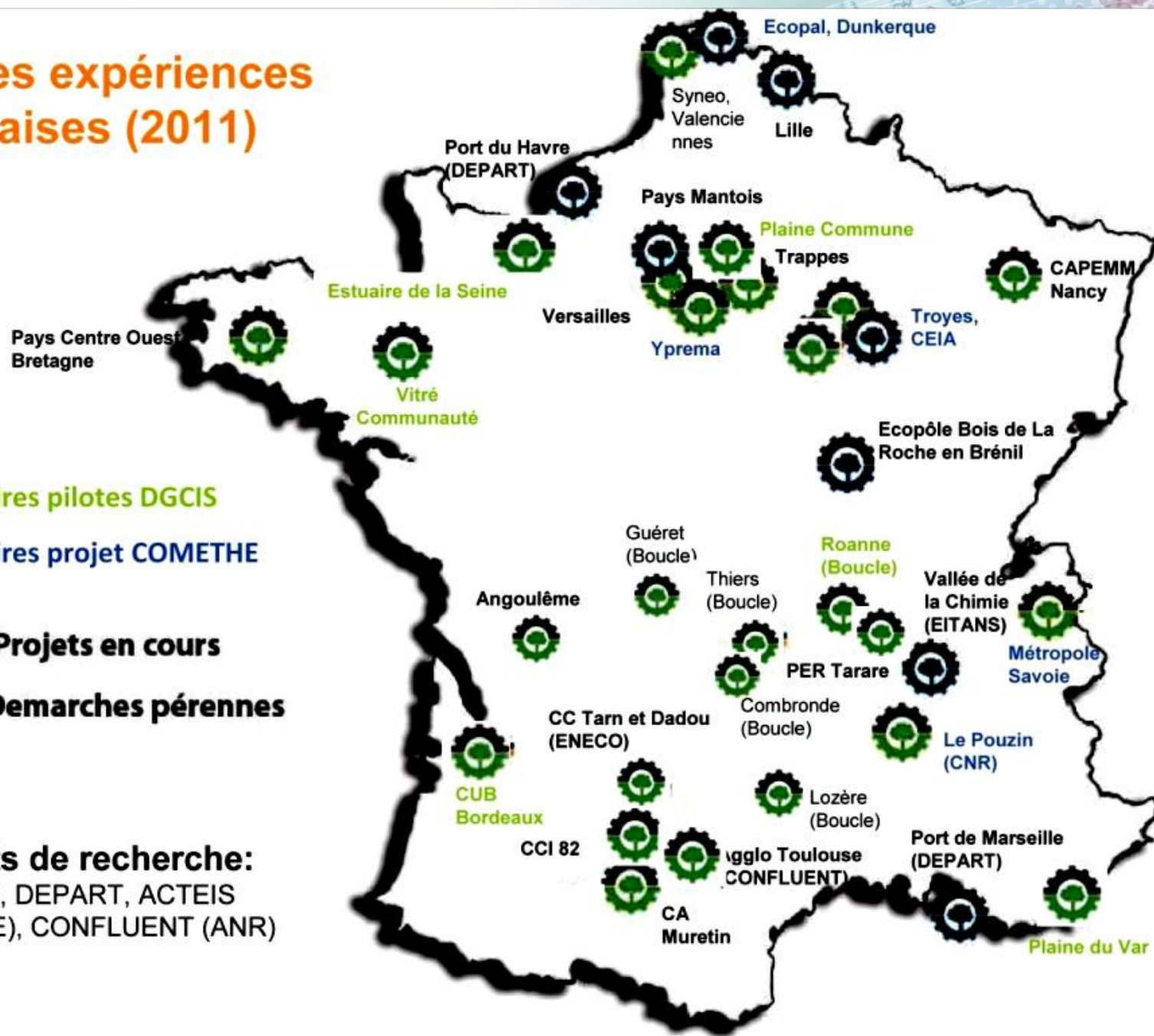


Projets en cours



Demarches pérennes

Projets de recherche:
EITANS, DEPART, ACTEIS
(ADEME), CONFLUENT (ANR)



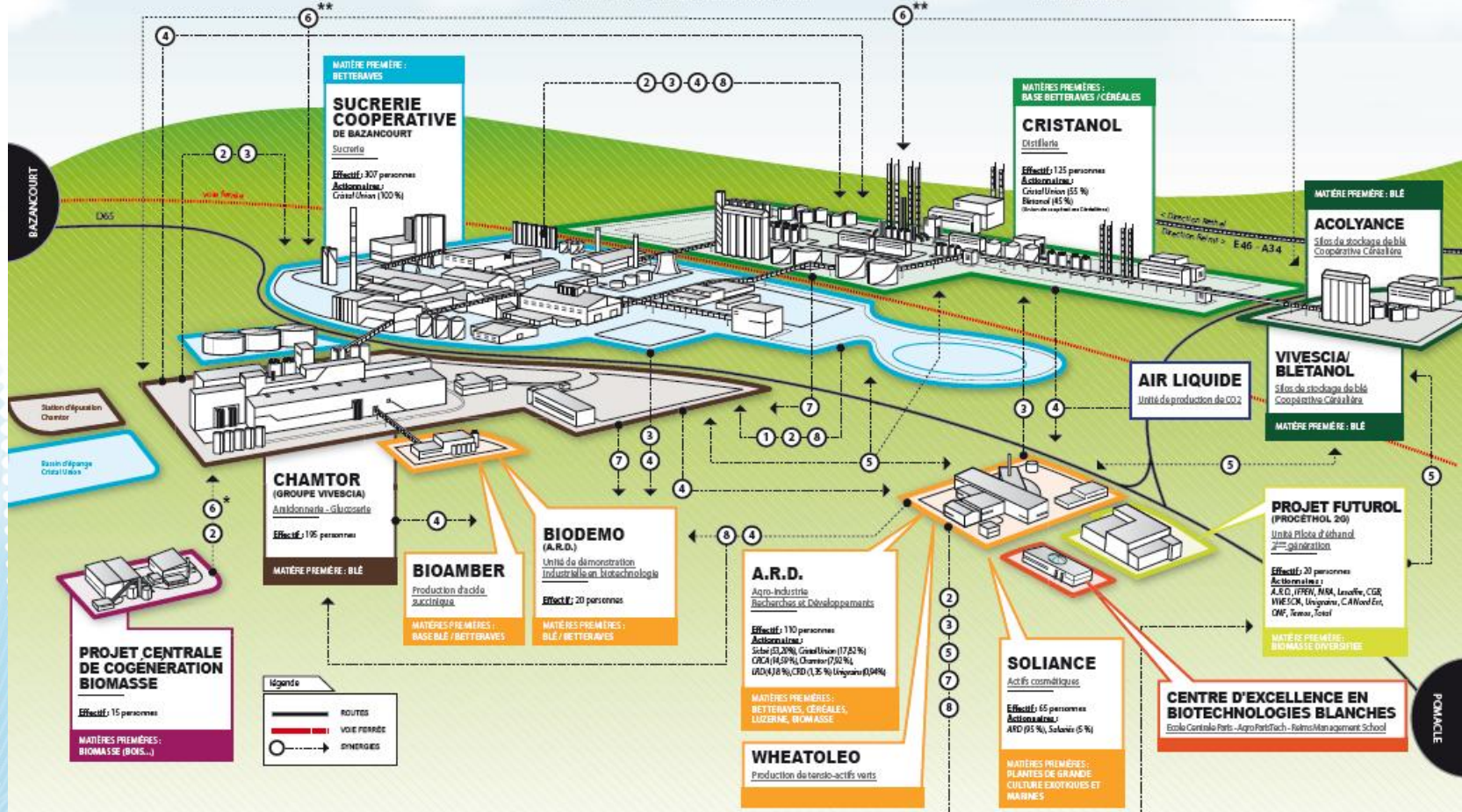
Zone d'activité "Les Sohettes"

Site de Bazancourt - Pomacle

POSITIONNEMENTS ET SYNERGIES

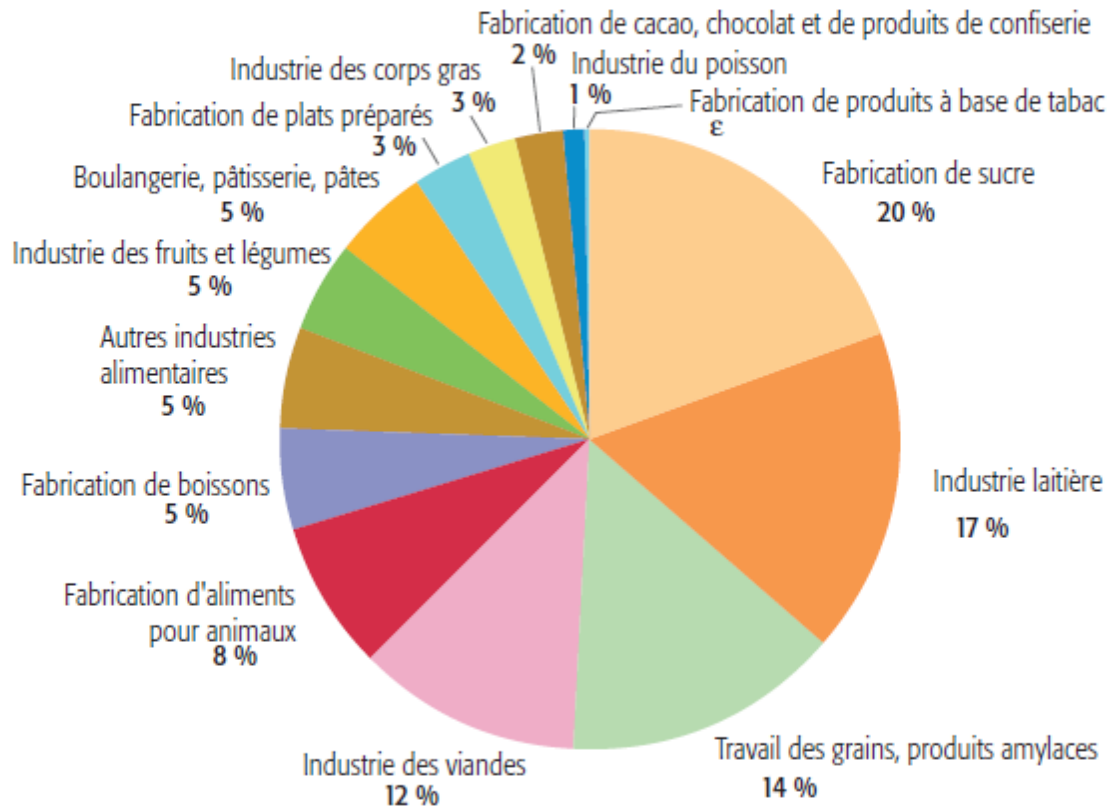
- 1 **synergie EAU** : Récupération de Condensat
50 000 m³ de condensats industriels utilisés par Chambor pendant la campagne.
Avantage : moins de prélèvements dans la nappe phréatique et récupération d'énergie.
- 2 **synergie VAPEUR**
Un secours vapeur électrique.
Avantage : fabrication des outils industriels.
- 3 **synergie EFFLUENTS**
EPURATION – STOCKAGE – EPANDAGE
Avantage : Maitrise et approche globale agroalimentaire.
- 4 **synergie PRODUITS**
Les produits ou coproduits de l'un sont les matières premières de l'autre.

- 5 **synergie R&D**
Des programmes de recherche dédiés en coopération par les agro-industriels actionnaires de A.R.D.
- 6 **synergie ENERGIE**
Production de biogaz à partir de coproduits betteraves / blé.
* Synergie Energie : utilisation de la vapeur produite par cogénération
** Synergie Energie : production de biogaz
- 7 **synergie ORGANISATIONNELLE**
Dans le cadre du pôle de compétitivité I.A.R. se sont mises en place des synergies organisationnelles : Assistance à la construction et à l'exploitation des installations et programmes de formation.
- 8 **synergie FORAGE**
Production d'eau brute.



La fabrication de sucre est l'activité la plus consommatrice d'énergie en 2012

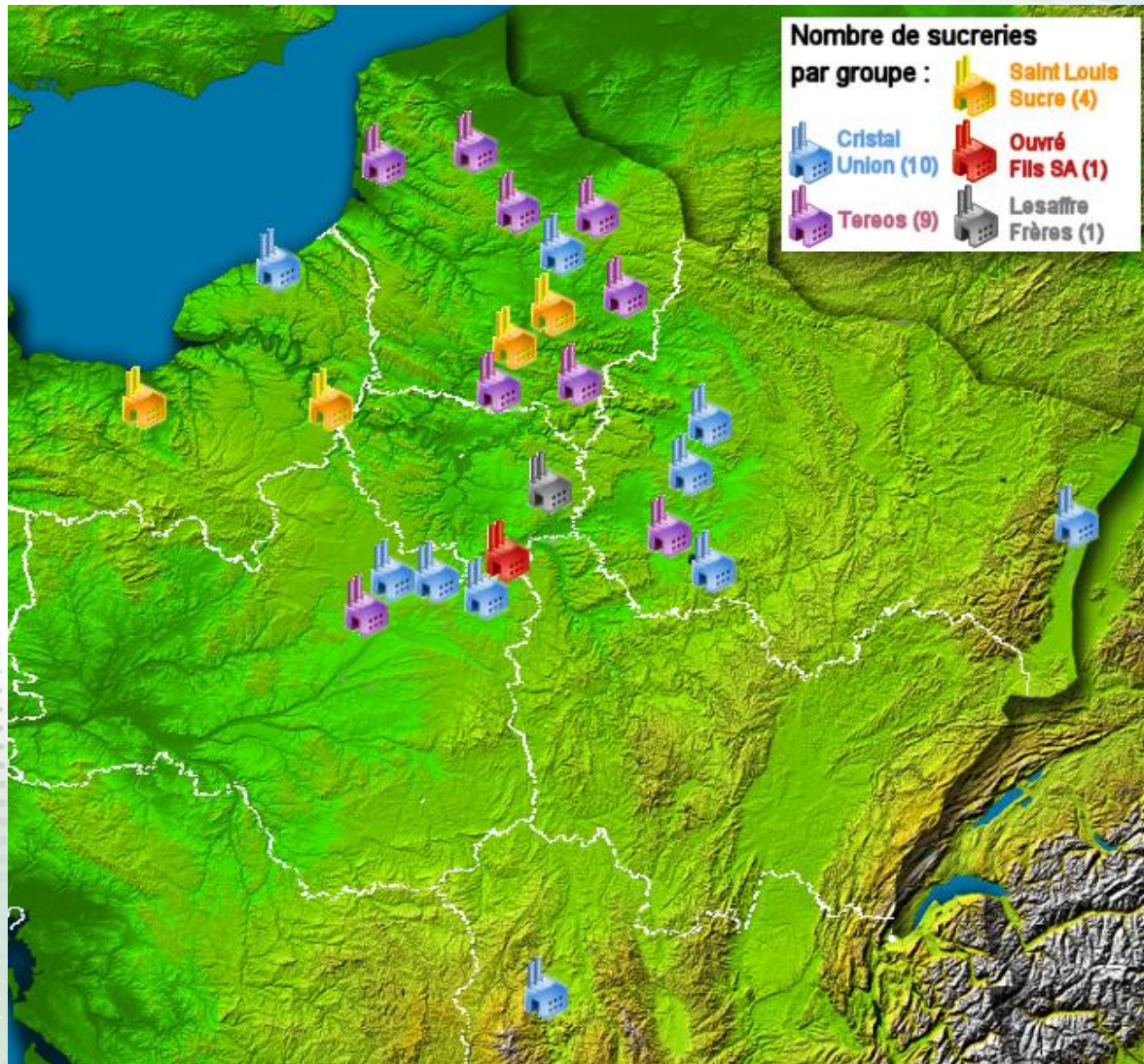
Consommation d'énergie selon le secteur d'activité



Champ : établissements de France métropolitaine et Dom de 20 salariés et plus, tabac inclus.

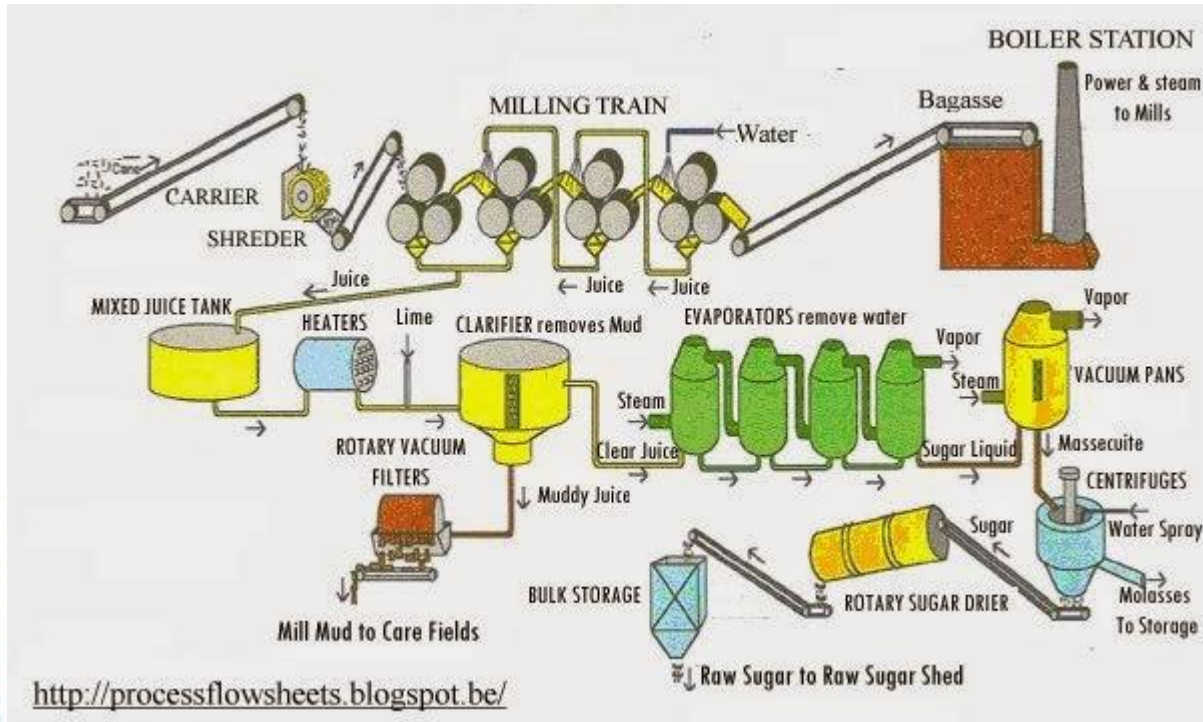
Source : Insee - Enquête annuelle sur les consommations d'énergie dans l'industrie, traitement SSP

Sucrerie



Sucrierie

En 2012, les sucreries françaises ont consommé en moyenne 0,66 Giga-Joules d'énergie (équivalent à 183 KWH ou à 20 litres d'essence) par tonne de betteraves transformées



En sucrerie, les économies d'énergie s'effectuent principalement par :

- ☐ des installations de cogénération efficaces, qui permettent aux usines d'être auto-suffisantes (voire excédentaires) en électricité,
- ☐ un recyclage optimal de la vapeur produite lors de l'évaporation,
- ☐ un renforcement de l'efficacité technique et thermique du matériel utilisé : chaudières, évaporateurs, etc ...

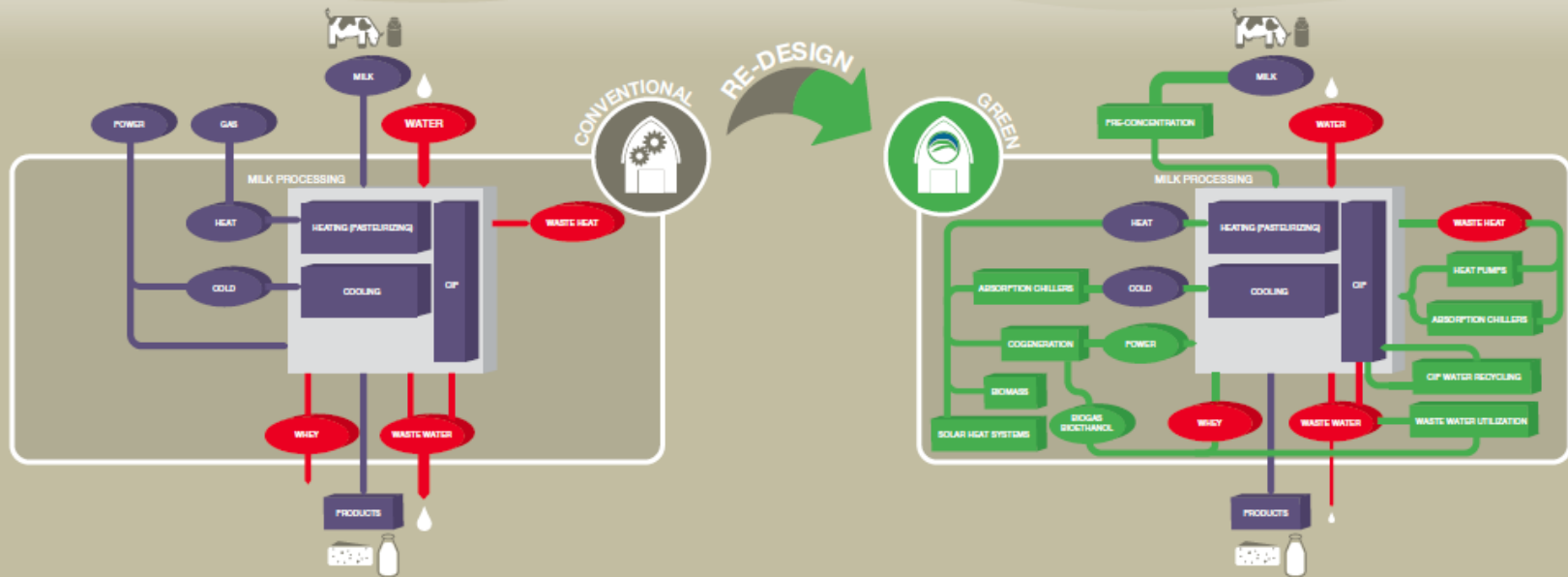
Industrie laitière

	Cumulative energy consumption	Water consumption	Wastewater
Production of market milk from 1 l raw milk	0.252 - 0.72 MJ/l	0.6 - 1.8 l/l	0.8 - 1,7 l/l
Production of milk powder from 1 l raw milk	1.08 - 1.44 MJ/l	0.8 - 1.7 l/l	0.8 - 1,5 l/l
Production of 1 kg ice cream	2.16 - 10.08 MJ/kg	4.0 - 5.0 l/kg	2.7 - 4,0 l/kg

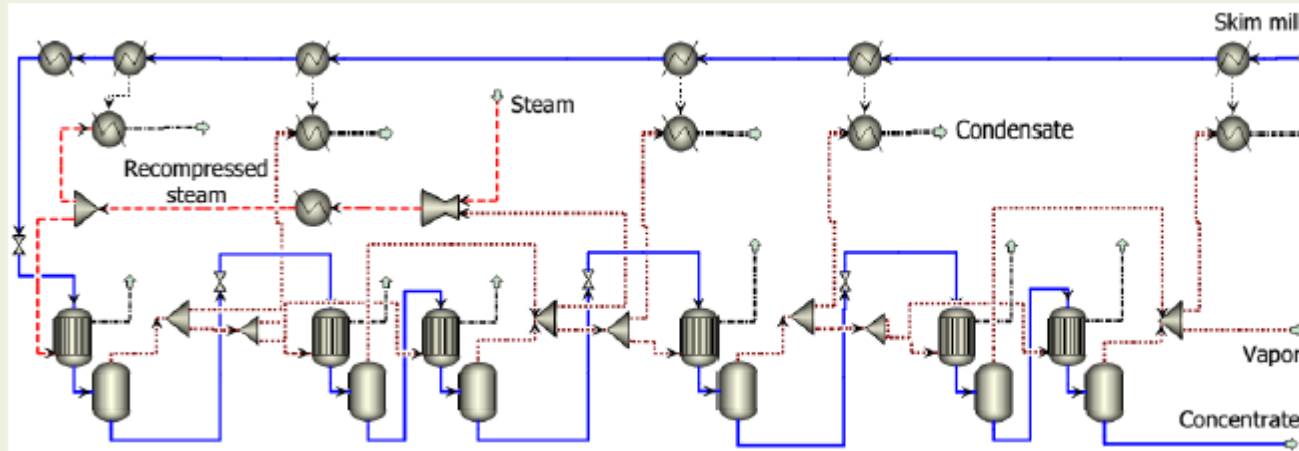
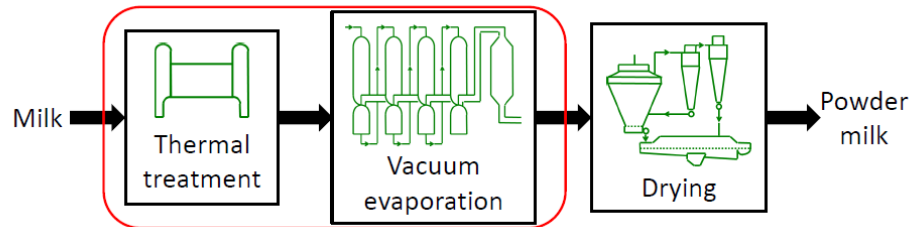
Industrie laitière



Re-design of the dairy industry for sustainable milk processing



Industrie laitière



Industrial process
(Entremont
Quimper, France,
first design data)
4-effect falling-film
evaporator

**MODELLING LIQUID FOOD CONCENTRATION PROCESSES FOR
PROCESS FLOWSHEETING SIMULATION:
APPLICATION TO MILK EVAPORATION**

Martial Madoumier ^{1,2,*}, Catherine Azzaro-Pantel ³, Gaëlle Tanguy ^{1,2}, Geneviève Gésan-Guiziou ^{1,2}

21/01/2016

Optimisation multicritère d'un parc éco-industriel pour une gestion durable de l'eau et de l'énergie



Université
de Toulouse

CONTEXTE (i)

- **Ecologie industrielle :**

- Organisation industrielle plus rationnelle et équilibrée.
- Imitations des écosystèmes naturels, i.e. :
 - Déchets  Matières premières
- Etude des **bilans de matière et d'énergie** dans les systèmes industriels.



- **Parcs éco-industriels (EIP) :**

- Entreprises qui partagent leurs ressources énergétiques et les matières premières.

CONTEXTE (ii)

- **Optimisation :**

- Concevoir de façon optimale les **échanges inter-entreprises** ainsi que les opérations unitaires correspondantes.
- Niveau de détail de la modélisation (e.g. modèles des opérations unitaires).

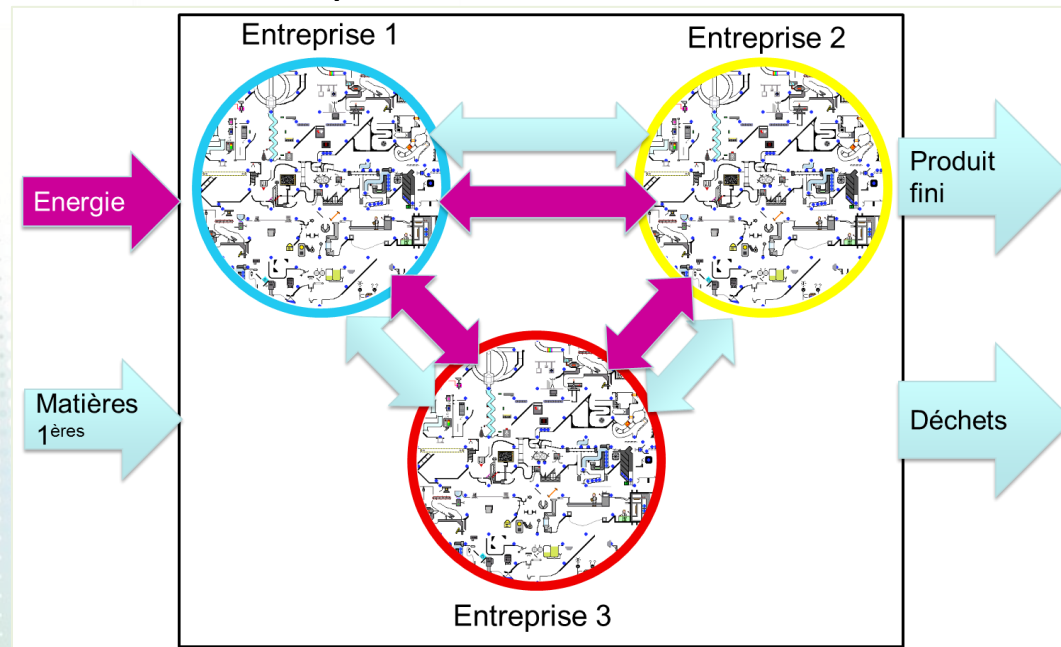
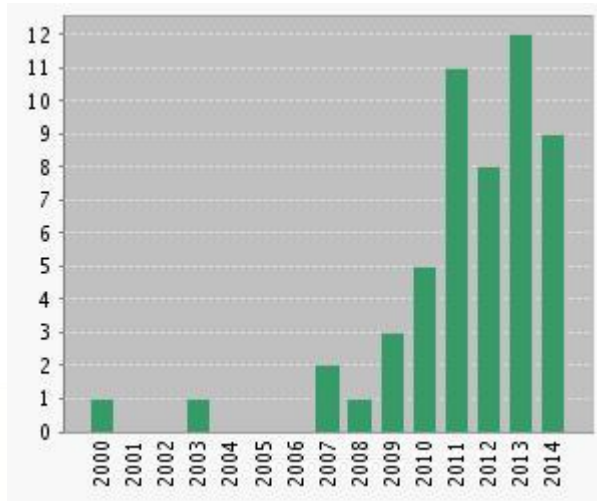
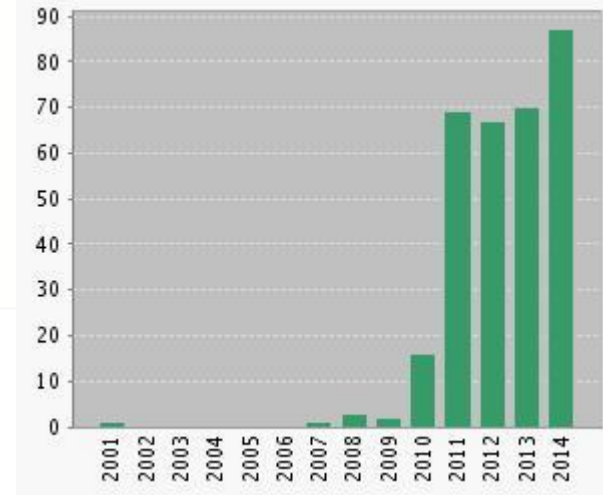


Figure 1. Modèle conceptuel des EIP

Analyse bibliométrique : eco industrial park optimization



Publications par an



Citations par an

Type de coopération au niveau du procédé	Utilisé dans les approches d'optimisation
Echange de matière, d'eau et/ou énergie	✓
Partage des unités : régénération de l'eau, chaudière	✓
Transformation des déchets en sous-produits	×
Échanges de connaissances, ressources humaines et techniques	×
Transport de marchandises et de personnes	×

MODELES DES EIP (i)

- **Superstructure :**

- Approche systématique pour la représentation modulaire de la conception des procédés.
- Modèles mathématiques d'optimisation : choisir le **réseau optimal** parmi l'ensemble des connexions possibles.

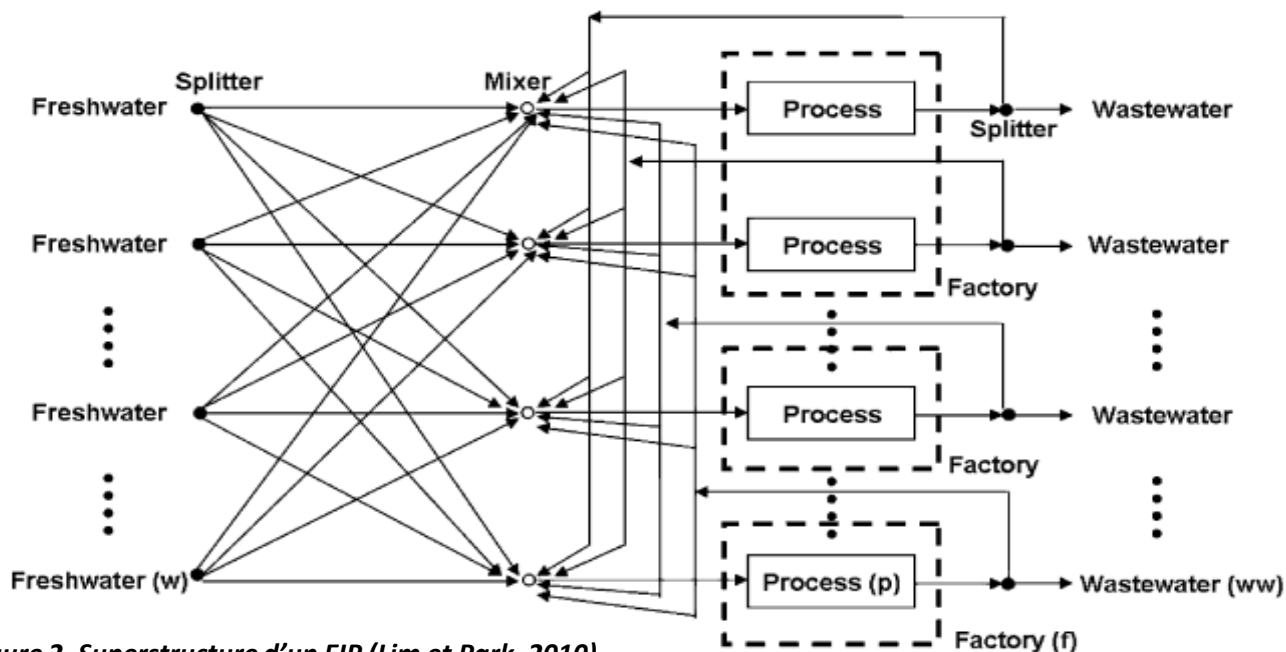


Figure 2. Superstructure d'un EIP (Lim et Park, 2010)

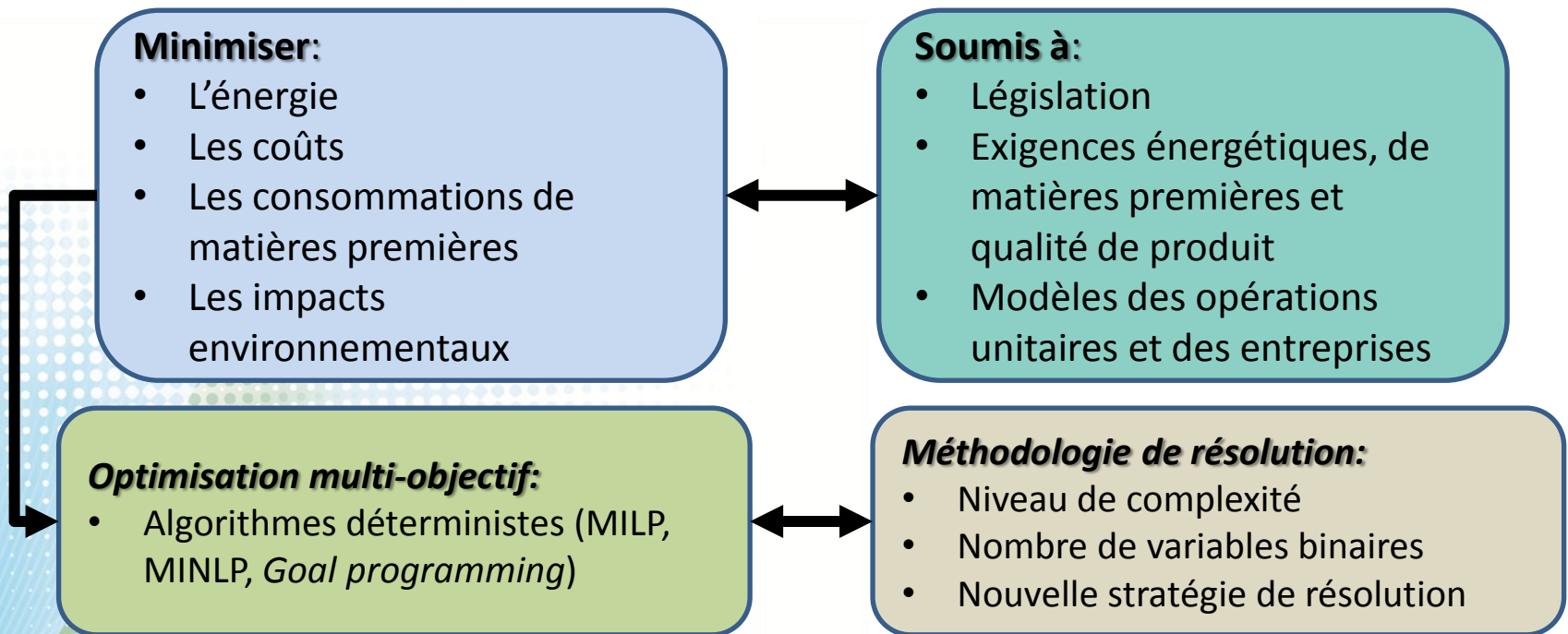
MODELES DES EIP (ii)

Problématique:

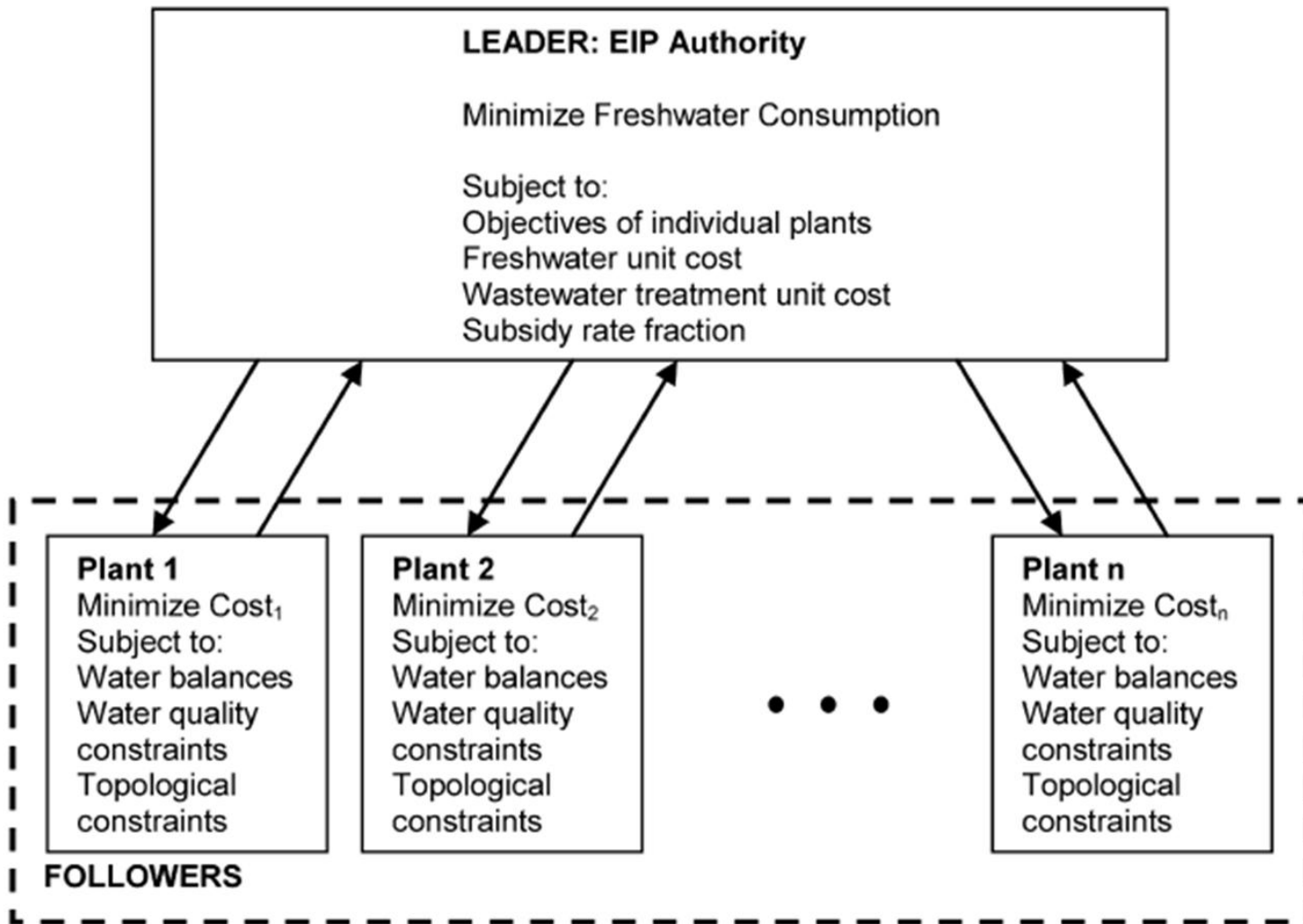
Mise en place d'une stratégie durable pour la gestion de l'énergie et des ressources naturelles (EIP)

Modéliser: échanges inter-entreprises et opérations unitaires correspondantes. Sources énergétiques.

Important: prendre en compte les différents types d'énergie, surtout renouvelables.



Approche Théorie des jeux



Water case

<u>Enterprise</u>		1	2	3	Total
<u>Water flowrate (tonne/hr)</u>	Fresh	98.33	22.00	97.50	217.83
	Regenerated	0.00	38.17	111.46	149.63
<u>Cost (MMUSD/year)</u>	Freshwater+discharge	0.28	0.06	0.27	0.61
	Reused water	0.01	0.02	0.05	0.08
	Regenerated water	0.00	0.08	0.19	0.27
	Total	0.28	0.17	0.51	0.96

Enterprise Alone

<u>Enterprise</u>		1	2	3	Total
<u>Water flowrate (tonne/hr)</u>	Freshwater (tonne/hr)	20.00	20.00	20.00	60.00
	Shared	126.49	149.54	226.66	502.69
	Regenerated	100.62	64.67	166.64	331.93
<u>Cost (MMUSD/year)</u>	Freshwater+Discharge	0.04	0.02	0.11	0.17
	Reused water	0.04	0.03	0.08	0.15
	Regenerated water	0.12	0.08	0.19	0.39
	Total	0.19	0.13	0.39	0.71

EIP

Energy and water case

Enterprise Alone

<u>Enterprise</u>	<u>Cost</u> (MMUSD/yr)	<u>Freshwater flowrate</u> (tonne/hr)	<u>Total heat duty</u> (GJ/hr)
E1	0.536	28.33	63.14
E2	0.357	35.94	34.68
E3	0.909	57.24	83.78
Total		121.51	181.60

<u>Leader's solution</u>		<u>Enterprise gain (%)</u>		
<i>wtot(tonne / hr)</i>	<i>Qtot(GJ / hr)</i>	E1	E2	E3
110	161.56	39	3.84	17.75
110	161.56	11.39	9.04	29.19
130	161.56	13.13	7.23	15.48
95.66	162.14	18.76	14.52	22.08
98.84	162.71	35.09	7.37	21.67
96.24	163.86	21.54	9.02	25.13
115.12	164.65	27.28	7.15	23.62
110	165	20.22	7.98	20.51
110	170	10.53	10.09	9.35
110	176.24	17.64	21.19	8.14

EIP

- **Etude de plusieurs approches**
 - Coopérative
 - Non coopérative
- **Gestion de plusieurs utilités**
 - chaleur
 - Energie renouvelable
 - Eau

Cas d'étude d'un EIP en Norvège (Zhang et al., 2008)

MERCI POUR VOTRE ATTENTION.