

# Peut on concilier production sous serre et développement durable ?

Boulard Thierry, INRA-URIH,  
400, route des Chappes, BP 167, 06903 Sophia Antipolis, France  
[boulard@sophia.inra.fr](mailto:boulard@sophia.inra.fr)

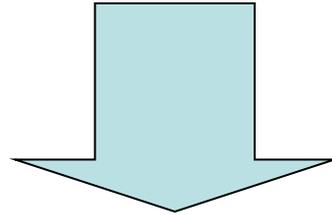


ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



# Introduction

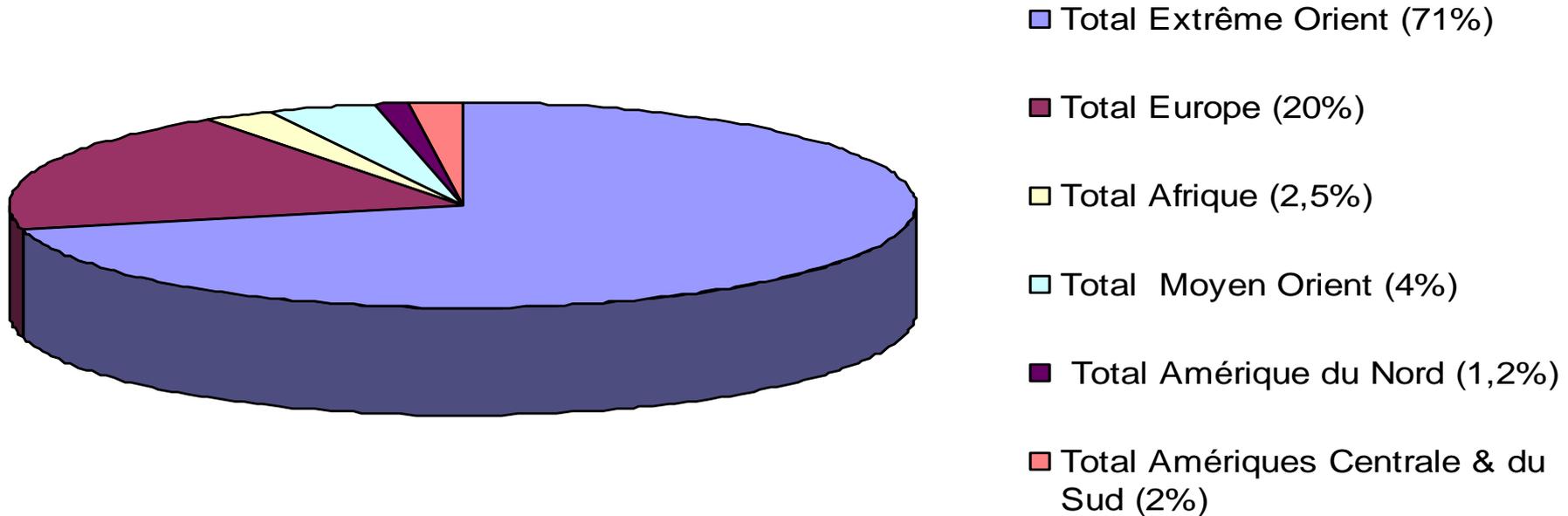
- L'Agro système Serre : une «succes story» menacée par des évolutions récentes qui fragilisent ses modèles techniques :
  - Renchérissement durable du prix de l'énergie;
  - Exigences accrues en matière d'environnement et conditions de travail;
  - Exigences accrues en matière de normes sanitaires alimentaires sociales;



- i) Dresser un état des lieux du système et de ses contraintes,
- ii) Essayer de repérer les évolutions qui se dessinent,
- iii) imaginer les agro systèmes serre de demain!

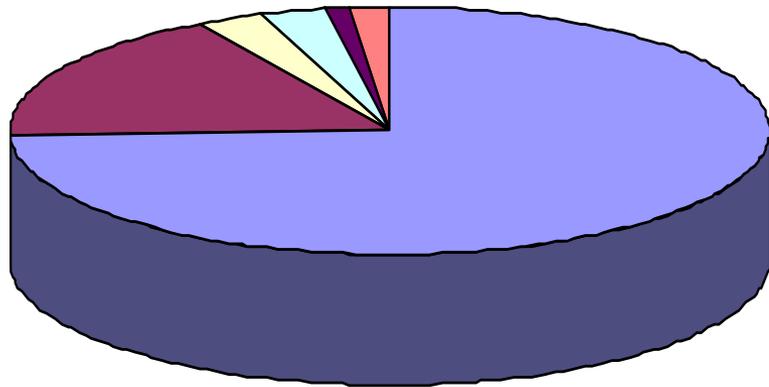
# Situation de l'Agro système serre au plan mondial

SERRE VERRE + PLASTIQUE, 1 049 000 hect en  
2003



# Situation de l'Agro système serre au plan mondial

## Serre Plastique (996 000 hect en 2003)



■ Total Extrême Orient (74%)

■ Total Europe (17%)

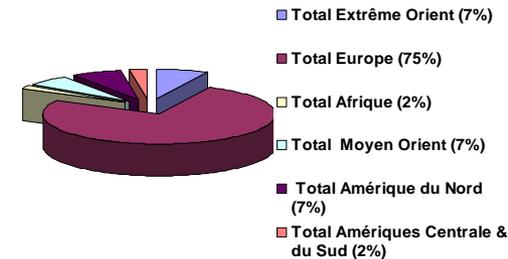
■ Total Afrique (3%)

■ Total Moyen Orient (3%)

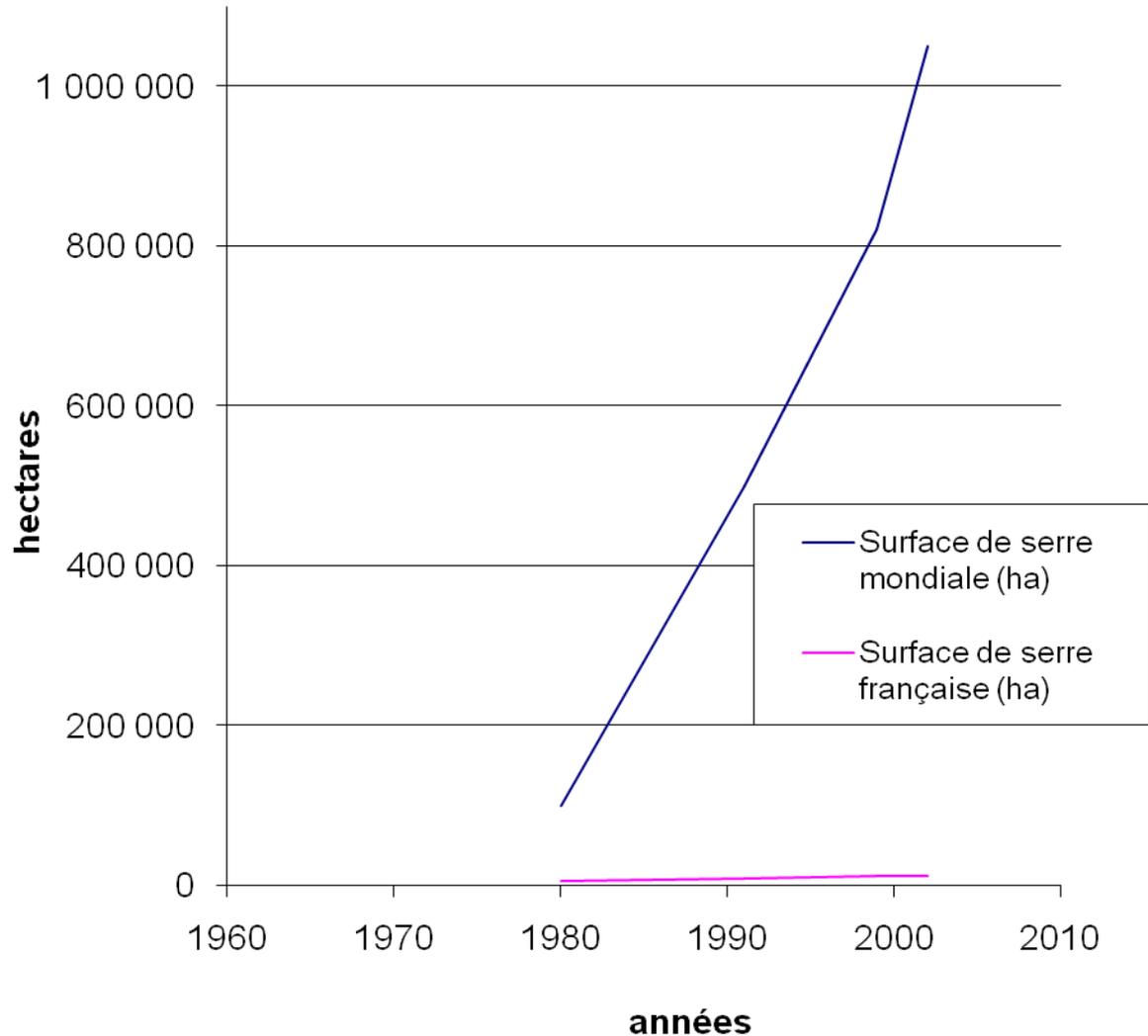
■ Total Amérique du Nord (0,9%)

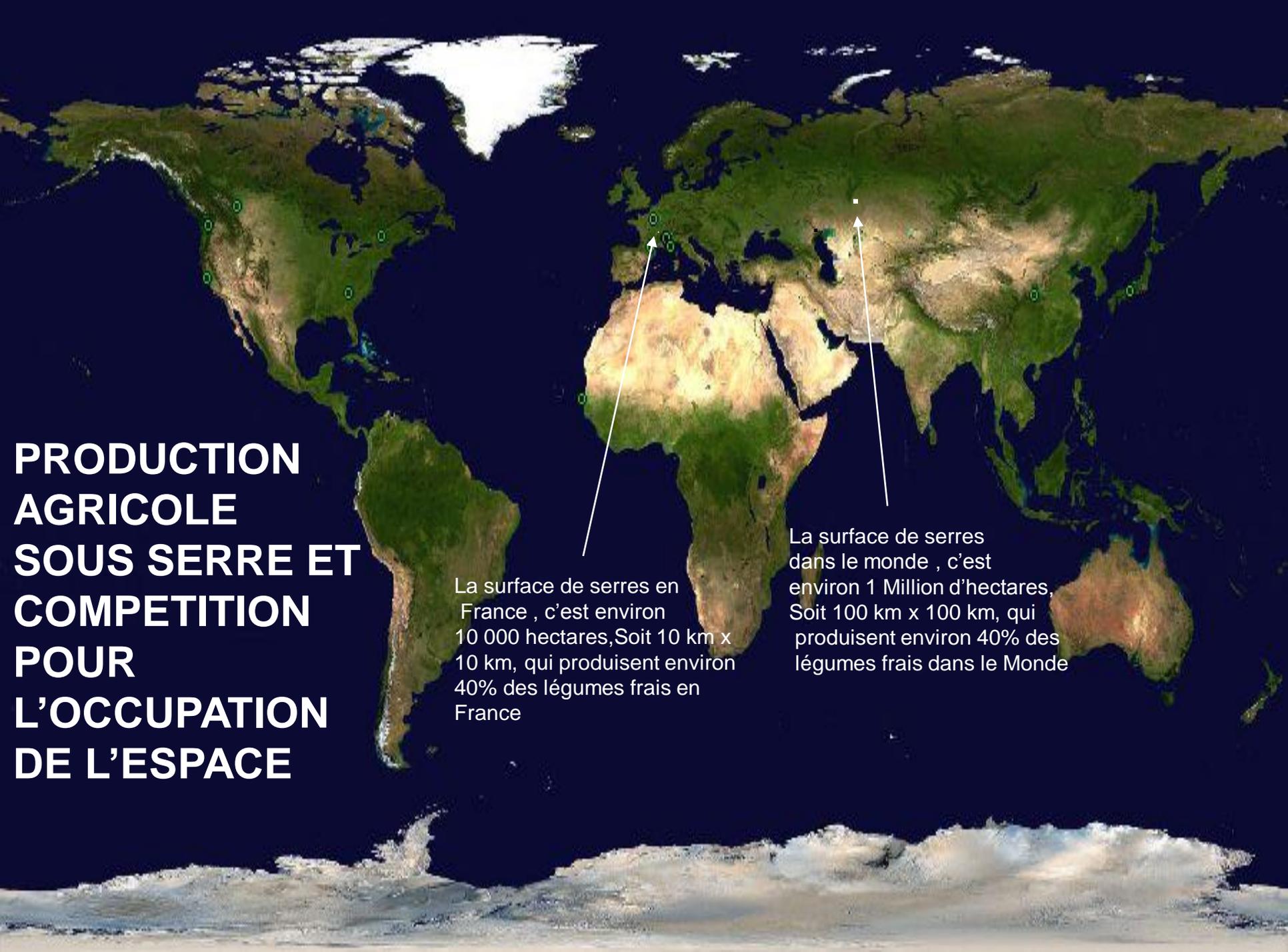
■ Total Amériques Centrale & du Sud (2%)

## Serres en verre (43 000 hectares en 2003)



# Historique (France & Monde)



A world map with a dark background, showing the continents in shades of green and brown. Two white arrows point from text boxes to specific regions: one to France and another to a large area in the Middle East and Central Asia. The map is viewed from a high angle, showing the curvature of the Earth.

# PRODUCTION AGRICOLE SOUS SERRE ET COMPETITION POUR L'OCCUPATION DE L'ESPACE

La surface de serres en France, c'est environ 10 000 hectares, soit 10 km x 10 km, qui produisent environ 40% des légumes frais en France

La surface de serres dans le monde, c'est environ 1 Million d'hectares, soit 100 km x 100 km, qui produisent environ 40% des légumes frais dans le Monde

# Serres à couverture verre



# Serre à couverture plastique



# Serres Canariennes

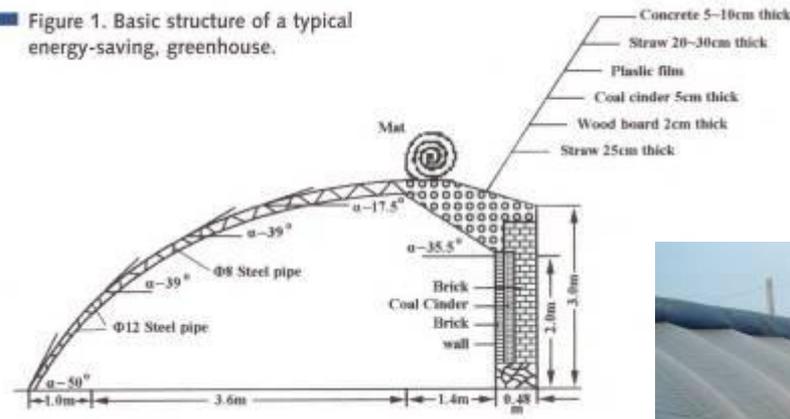


# Serres «bioclimatiques» chinoises

Figure 2. China's energy-saving greenhouse ranges. A. Note straw mat on ridges. B. A cluster of energy-saving greenhouses showing headhouses. C. Energy-saving greenhouse in mountainous area.



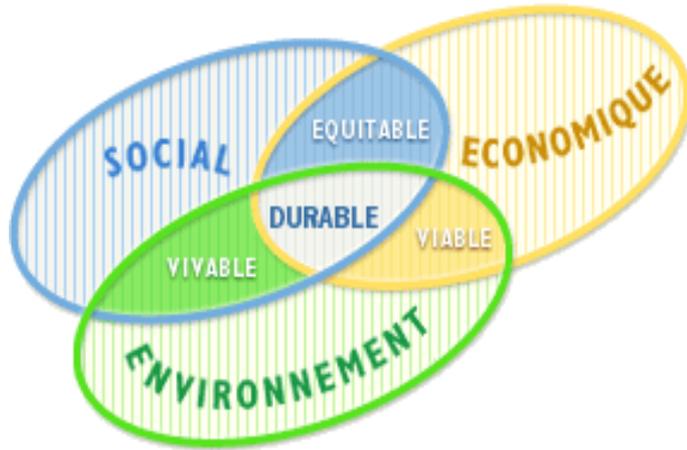
Figure 1. Basic structure of a typical energy-saving, greenhouse.



En 2002 la Chine comptait 700 000 ha de serres dont environ 170 000 ha de serres solaires «Bioclimatiques » adossées, principalement entre les 33eme & 47eme parallèles, (W. Jiang *et al.*, 2004)

# Les Défis du développement durable

Le développement est durable s'il répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs (1987, commission N.U. environnement & développement présidée par Gro Brundtland).



« les trois piliers du développement durable :  
**viabilité économique, équité sociale et durabilité écologique** »

## 1992 : Rio

**Le sommet de la terre** organisé par les Nations Unies à Rio de Janeiro (Brésil) les 3 et 4 juin 1992, a consacré le développement durable et s'est traduit par plusieurs documents, et notamment :

- La **déclaration de Rio** qui présente 27 principes pour établir un partenariat mondial sur une base nouvelle et plus équitable,
- **L'agenda 21**, un programme d'actions planétaire pour le 21<sup>e</sup> siècle.

1997 : Kyoto : Engagement de limitation des émissions des GES

2002 : Johannesburg (Notre maison brûle ....)

Décision UE / 2020 : -20% Énergie & GES, + 20% EnR

# Des contraintes majeures : le chauffage

1. augmentation du prix des hydrocarbures fossiles (22% des coûts de production / tomate)
2. impact environnemental (rejets de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O)

# Des contraintes majeures : la crise phytosanitaire

- Crise de confiance des consommateurs,
- Nouvelle réglementation phytosanitaire & retrait massif de matières actives
- Affirmation de la PBI fin années 1990 : 75% des surfaces / serres légumières, 6% serres / ornement.
- Affirmation de la lutte physique (Israël, filets insect proof) dans les années 1990.

# Des contraintes majeures : L'eau & les pollutions minérales

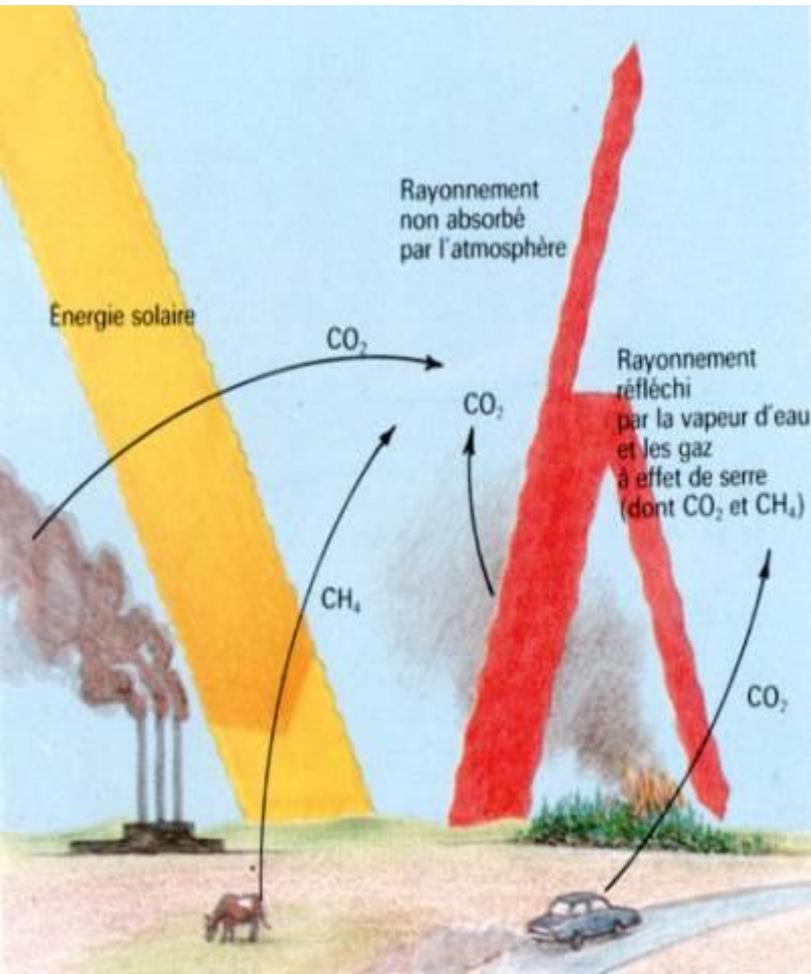
- Économie d'eau considérable mais...
- Une pollution minérale concentrée.
- Une situation très contrastée en hors sol :
  - difficultés de recycler pour les cultures légumières
  - recyclage généralisé pour le rosier.
  - f (qualité de l'eau (Ca, Na, etc..))



	Litres par kg de matière sèche
Tomate de plein champ	1 000
Tomate hors sol perdu	350
Tomate hors sol recyclée	250

# Des contraintes émergentes : Le changement global de climat

A l'horizon 2060 avec +2,2 °C en moyenne et, 700 PPM CO<sub>2</sub> Quel est l'effet sur une culture de tomate de serre (Boulard & Fatnassi, 2004) :



- Effet du réchauffement moyen de 2,2°C / climat serre  
=> hausse moyenne de 1°C seulement sous serre, (été +2,5°C).  
=> en hiver limitation de 30% de la consommation d'énergie de chauffage.
- Effet sur la culture si on ne prend pas en compte l'augmentation du CO<sub>2</sub>,  
=> nette limitation du rendement final (-7%)  
=> doublement de la durée de stress  
=> détérioration de qualité.
- Effet sur la culture avec l'augmentation de CO<sub>2</sub>  
=> globalement une augmentation de 10% de la production  
=> doublement de la durée de stress (16% du temps).

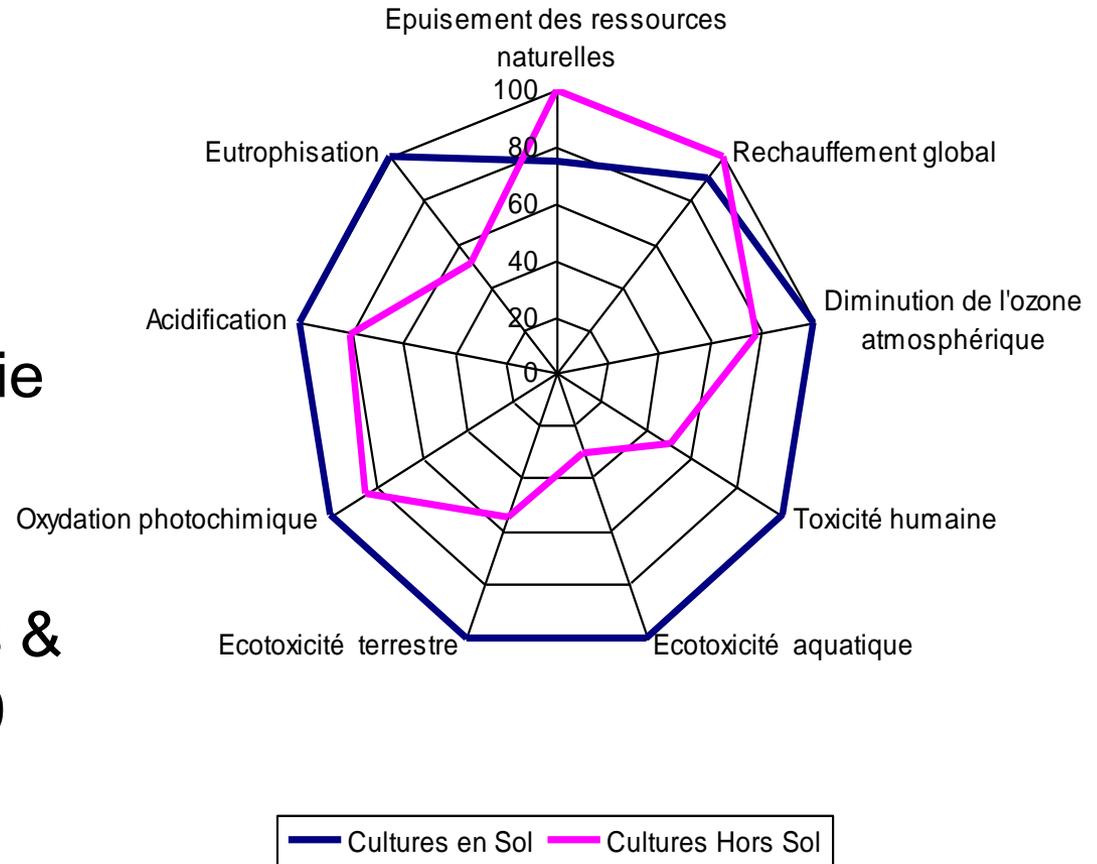
**Le constat : Performances environnementales très contrastées suivant les critères considérés**



**Besoin de méthodes d'évaluation susceptibles de traiter simultanément des différentes composantes du développement durable**

# EMERGENCE D'ETUDES D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE L'AGROSYSTEME SERRE

- La majorité des études environnementales emprunte la méthode d'analyse du cycle de vie (ACV)
- Agrégation des impacts & consommations selon 9 critères majeurs :



- Etude Hollandaise (2000) / structure des émissions polluantes / Serre vs Agriculture (DOA, A, RG)
- Etude Espagnole (2004) / impact toxicologique des pesticides / Cult classique & Prot. Intégrée (TH, EA, ET)
- Etude Espagnole (2005) / impact des rejets de serre selon le traitement: décharge, combustion, compost (E, RG, OP, TH, EA, ET)
- Etude Italienne (2004)/Comparaison d'impacts des cultures hors sol & en sol de tomate en Italie du sud (9 critères)
- Etude Grecque (2005)/ Persistance de pesticides dans l'environnement d'une serre de Gerberas (air, eau, derme applicateurs, air inhalé).
- Etude Française (2008) / ACV de la tomate produite en France sous serre.



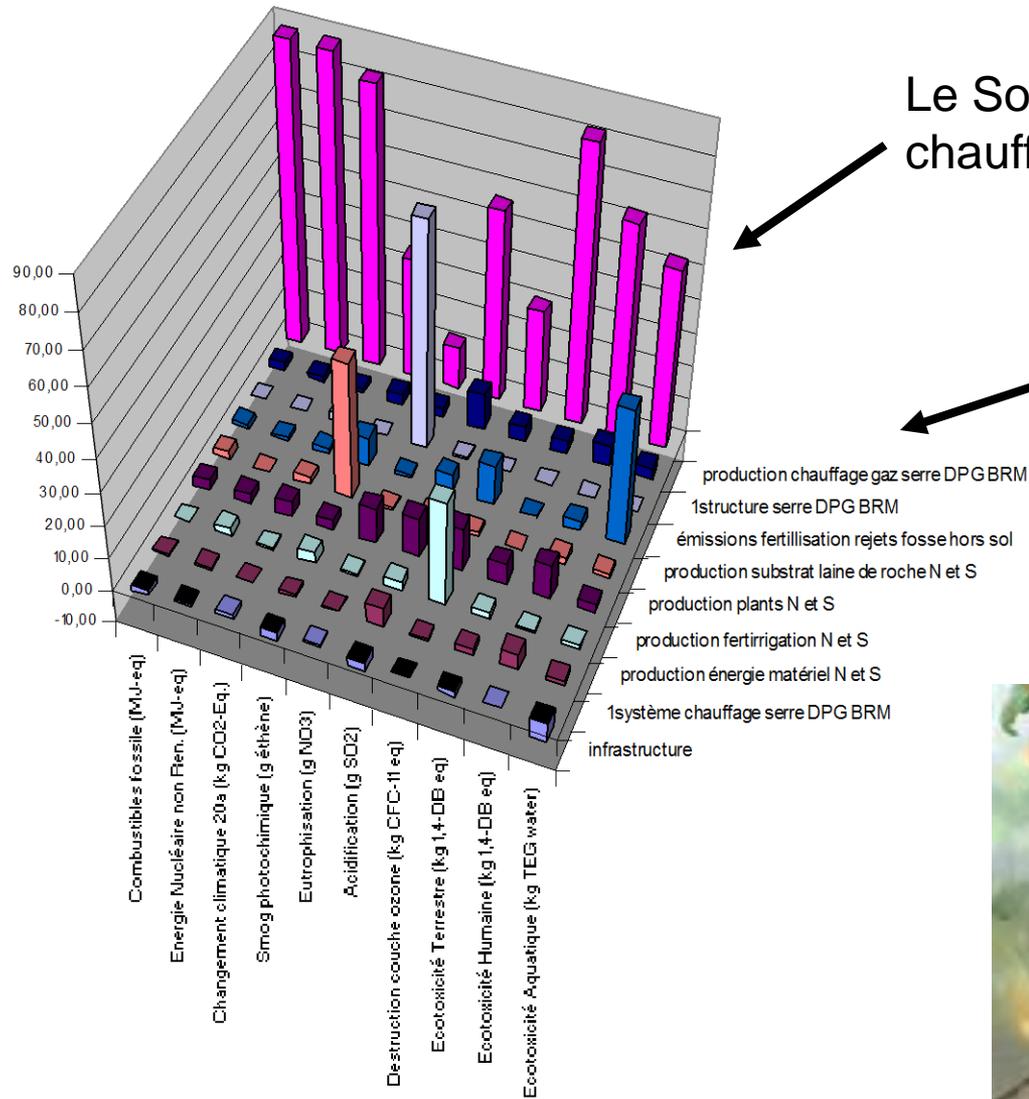
## IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE LA PRODUCTION DE TOMATE HORS SOL EN FRANCE (Programme EcoSerre, 2008)

- Comparaison « serre lourde (serre multichapelle verre ou plastique hors sol chauffée) et tunnels non chauffés (rotation laitue tomate).
- Pour toutes les catégories d'impact, le tunnel non chauffé a un impact compris entre le  $\frac{1}{4}$  et la  $\frac{1}{2}$  de celui de la serre chauffée.
- L'impact « général sur la santé humaine » est plus fort pour la serre chauffée, par contre l'impact sur les travailleurs sous serre est plus important / tunnel.

# IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE LA PRODUCTION DE TOMATE HORS SOL EN FRANCE (Programme EcoSerre, 2008)



Les différents impacts



Le Sous Système chauffage (en rose)

Les différents sous systèmes de production



# Remise en question de la durabilité de l'agro système serre : récapitulatif

- Du point de vue environnemental + santé humaine :
  - problème de l'énergie
  - problème de l'utilisation des pesticides chimiques,
- Du point de vue social :
  - problème de la main d'œuvre,
  - image de la serre pour le consommateur.
- Du point de vue économique
  - coût de l'énergie,
  - coût de la main d'œuvre.



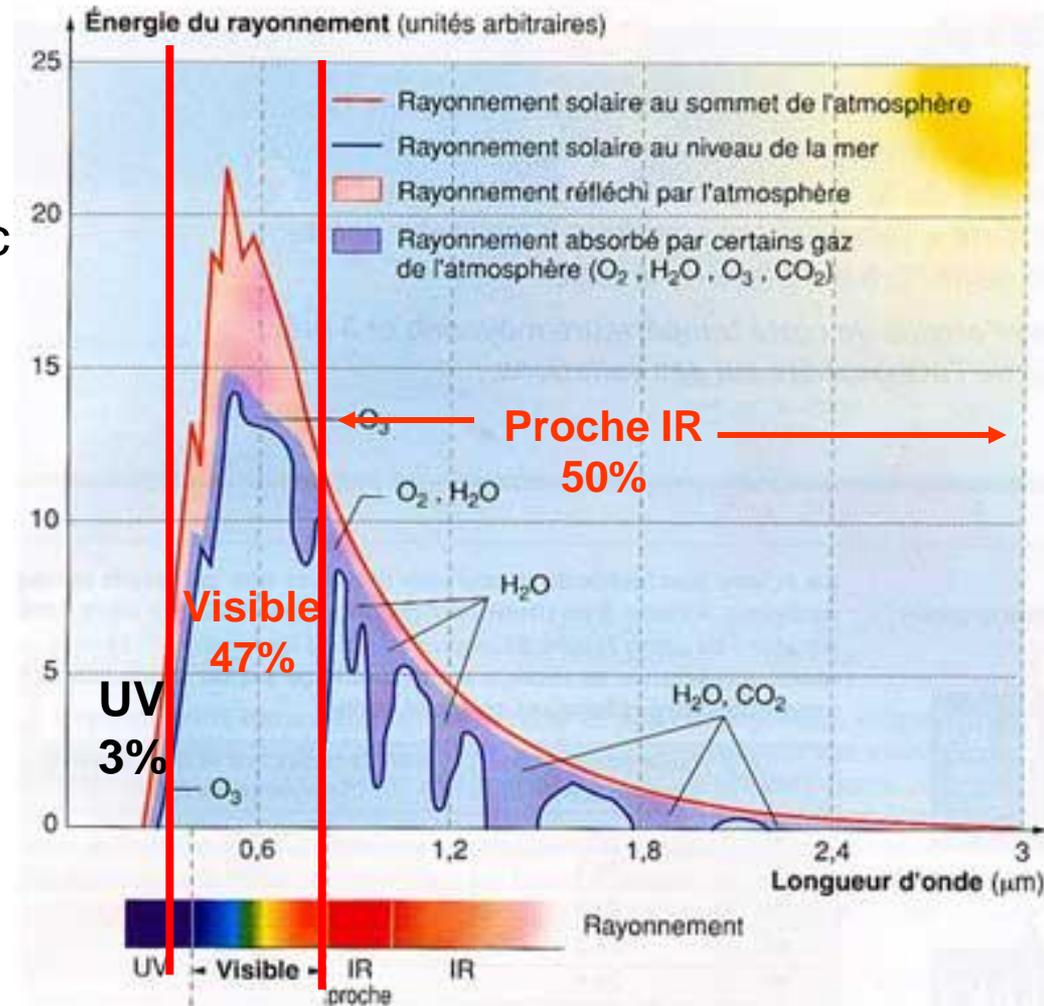
En quoi **les spécificités de la serre** permettent elles de répondre à ces défis ?



# Spécificités de la serre :

## 1) Les cultures n'utilisent que 50% du rayonnement solaire

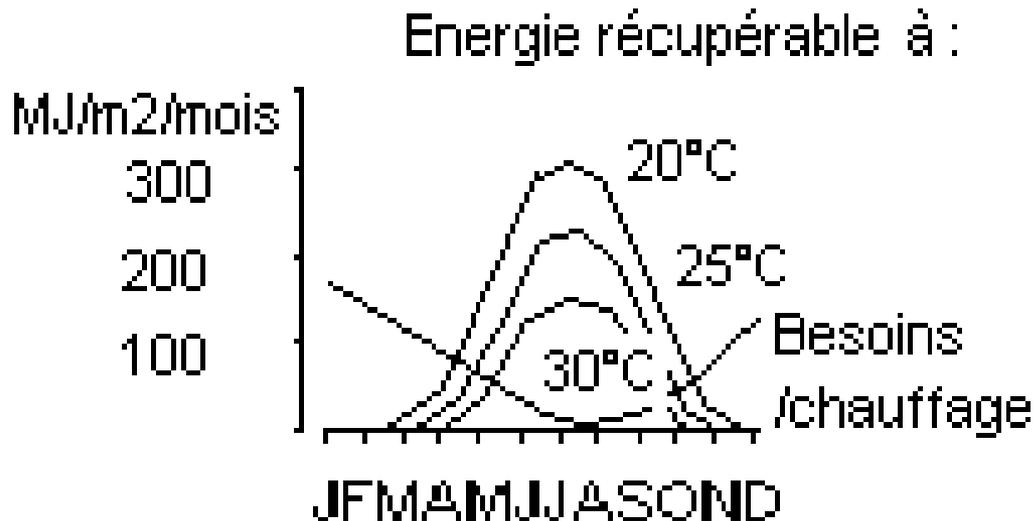
- Sur le plan qualitatif :  
modification du spectre avec
  - Coupure de l'IR lointain (Verre, PVC, PE Thermique) => effet de serre
  - Modification de l'UV et possible du PAR
- Perspectives: coupure possible du Rayonnement Solaire dans l'IR proche



# Spécificités de la serre :

## 2) captation et utilisation d'énergie coexistent mais en opposition de phase

La Serre est un capteur et un utilisateur d'énergie thermique. Au pas de temps annuel, **la capture d'énergie thermique excède du double les besoins de chauffage de l'hiver (ex: culture de tomate).**



# Spécificités de la serre:

## 3) l'effet confinement

**L'Agro-système Serre est avant tout un système confiné, découplé du milieu extérieur :**

- **du point de vue des échanges abiotiques =>Contrôle du climat**
  - Air et tous ce qu'il transporte, vapeur d'eau, CO<sub>2</sub>, chaleur, etc...
  - Eau, minéraux et oxygène, dans le cas des cultures hors sol.
- **du point de vue des échanges biotiques =>Contrôle des populations**
  - Air et tous ce qu'il transporte et véhicule, spores de champignons, bactéries, insectes ravageurs ou vecteurs de virus.
  - Eau et tous ce qu'elle transporte : spores, bactéries, nématode, virus

# Vers des réponses systemiques

- **Jouer sur la fermeture et le contrôle du système serre :**
  - Vers la fermeture : la serre close :
    - Fermetures / énergie, CO<sub>2</sub>, eau, minéraux, biotique, addition de bio défenseurs
  - Vers l'ouverture : la serre «bioécologique»:
    - Ouverture et conservation des bio défenseurs naturels, modification des calendriers de production, sélection variétale de variétés résistantes au froid et aux bio agresseurs
- **Jouer sur la complémentarité des composantes du système :**
  - Complémentarité serre capteur – utilisateur d'énergie
    - Serres à stockage en aquifère
    - Serre producteur d' électricité
    - Serres avec 25% de la toiture constituée de cellules photovoltaïques
  - Complémentarité serre – agriculture, élevage et sylviculture
    - Élevage (Méthane), Grandes cultures (Pailles de céréales), Sylviculture (bois)
  - Complémentarité serre – industrie – production d'énergie – logements
    - Gisements industriels d'eau tiède
    - Refroidissement des centrales nucléaires

# La serre totalement close : un nouveau paradigme

- Une approche systémique de la fermeture de la serre pour répondre aux questions :
    - de l'énergie en hiver et été (capter, stocker, chauffer, refroidir);
    - phytosanitaire (s'affranchir de la lutte chimique en supprimant les transferts de ravageurs et d'inoculum);
    - de la fumure carbonée et de l'augmentation de rendement.
- C'est également le modèle destiné à assurer la nourriture fraîche et à recycler le CO<sub>2</sub> pour les prochains voyages interplanétaires de longue durée (Mars).



# La serre close, économies d'énergie et thermique : jusqu'où peut on aller ?

Source: GPA. Bot, 2003

Type de couverture	Coefficient de déperdition (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	Consommation annuelle d'énergie de chauffage par m <sup>-2</sup> (NGE*)	Consommation d'énergie équivalente par m <sup>-2</sup> avec captation, stockage et pompe à chaleur (NGE*)
Simple paroi	5,7	53, 100	
Simple paroi + écran	4,4	40, 75	29, 55
Double paroi	3,0	40, 75	26, 49,
Double paroi + écran	2,5	33, 62	20, 38
Double paroi faible ε	1,6	28, 53	16, 30
Triple paroi faible ε	1,0	26, 49	12, 23

\* 1 NGE= énergie équivalente à la consommation de 100 m<sup>3</sup> de gaz naturel

# La serre « bio écologique », un autre paradigme

- **Systèmes ouverts, en équilibre avec le milieu avec une gestion des problèmes au niveau du paysage et non de la parcelle :**
  - Energie: captation diurne exploitée et recherche de cultures hâtées et non de contre saison, rotations.
  - Eau et minéraux : cultures en sol avec amélioration de la précision des apports et pratique de rotations.
  - Favoriser la lutte biologique par stimulation des antagonistes spontanés, éventuellement par compensation. D'où la nécessité d'ouvrir la serre.
  - Lutte génétique par des variétés résistantes ou tolérantes.



# Peut on concilier production sous serre et développement durable ?

## Grande diversité de systèmes de serre et bilans contrastés vis-à-vis du DD

Système	Avantages	Inconvénients
 <p><u>Serre chauffée des régions tempérées</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- maîtrise des rejets minéraux</li> <li>-maîtrise du climat</li> <li>-maîtrise des bioagresseurs / PBI</li> <li>- situation proche des centre de consommation</li> <li>-main d'œuvre spécialisé, permanente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-fortes consommation d'énergie non renouvelable</li> <li>- législations environnementales et sociales contraignantes</li> </ul>
 <p><u>Serre froide des régions méditerranéennes et subtropicales</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-économie d'eau</li> <li>-faible consommation d'énergie non renouvelable</li> <li>-main d'œuvre abondante</li> <li>- législations environnementales et sociales peu contraignantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-non maîtrise des rejets minéraux</li> <li>-non maîtrise du microclimat (T, HR,CO2)</li> <li>-non maîtrise des bio agresseurs &amp; lutte chimique intense</li> <li>- main d'œuvre temporaire, non spécialisée</li> <li>- éloignement production/consommation</li> </ul>
 <p><u>Serre bioclimatique Chinoise</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-faible consommation d'énergie non renouvelable</li> <li>-main d'œuvre abondante</li> <li>- forte synergie avec l'élevage</li> <li>- rapprochement production/consommation</li> <li>- forte intensification</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-non maîtrise du microclimat (T, HR,CO2)</li> <li>-non maîtrise des bio agresseurs &amp; lutte chimique intense</li> </ul>

# Le programme Ecoserre



- Programme (2006-2008) financé par l'ANR qui regroupe des équipes de l'INRA, de l'Université et des Instituts Techniques relevant de disciplines biotechniques et économiques autour de la question de la viabilité des systèmes de cultures protégées (horticoles et maraîchers) dans un contexte d'agriculture durable.



# CONCLUSIONS

- Malgré des succès indéniables l'agrosystème serre est en crise.
- Les questions de l'énergie, de l'eau et d'une production sans pesticides sont les points les plus critiques.
- L'agrosystème serre dispose d'atouts remarquables que sont le contrôle du milieu et des transferts et le gain d'espace.
- Son caractère durable peut coïncider avec son intensification si la question du chauffage est résolue.
- Les réponses techniques et économiques ne sont qu'un des éléments du problème.
- Les réglementations, les pénalités ou les aides et... l'image de marque de la filière sont des éléments de plus en plus déterminants et encore mal maîtrisés du problème.

