



COLLÈGE
DE FRANCE
—1530—



Le potentiel et les enjeux de la biomasse

Paul COLONNA



Les fibres textiles: la réalité d'un domaine mixte

- En 2009, 71 Mt
- Les fibres naturelles: 34% laine/soie/coton, 8% autres
 - Maîtrise génétique des structures et donc des propriétés d'usage, et des procédés dans les bioraffineries
- Les fibres synthétiques: 58%
 - Nouveaux monomères biosourcés: propane-1,3-diol pour des polyesters
 - Voie classique; propylène transformé en acroléine, hydratation de l'acroléine, puis une hydratation
 - Voie biotechnologique, combinant des enzymes pour la bioraffinerie et des microorganismes.

Le bien-être énergétique, la transition

| Les sources | Energies primaires (Mtep) |
|-------------------------------|---------------------------|
| Charbon | 13,5 |
| Pétrole | 94,5 |
| Gaz | 39,2 |
| Electricité nucléaire | 115 |
| Energies renouvelables | 18,2 |
| Total | 280,4 |

Source: MINEFI

| Les sources renouvelables | 2008 | 2020 |
|---------------------------------------|------------------------|----------------------|
| Eolien (%) | 2,6 | 13,8 |
| Pompe à chaleur – géothermie (%) | 3 | 6,6 |
| Biogaz – déchets (%) | 8,6 | 8 |
| Biocarburants (%) | 11 | 11 |
| Hydraulique (%) | 29 | 15,8 |
| Bois-énergie (%) | 45,7 | 41 |
| Solaire thermique – PV (%) | 0,2 | 3,8 |
| Marine et solaire thermodynamique (%) | - | 0,08 |
| Total (Mtep) | 18,2/ 280,4 | 36,6/ 305 |

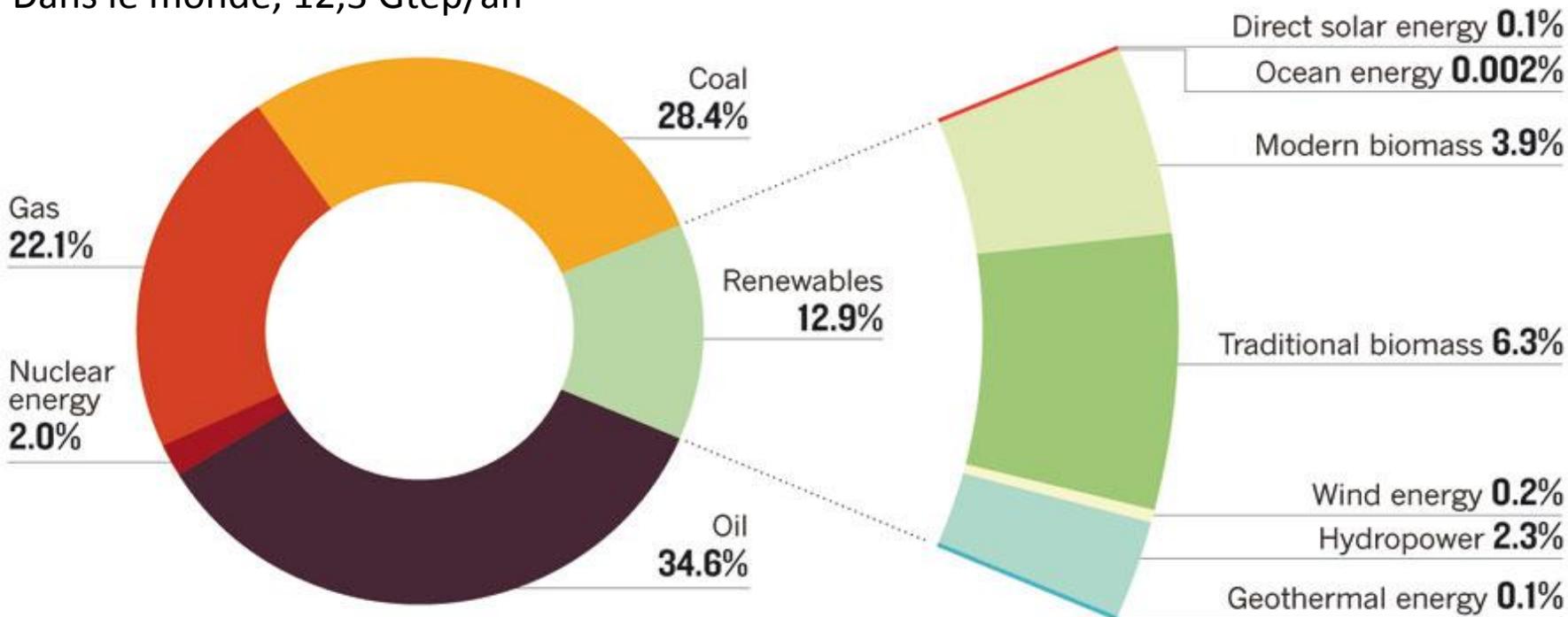
Source: ADEME



Les consommations énergétiques

Le poids du carbone fossile

Dans le monde, 12,3 Gtep/an



Source: Nature, 2011

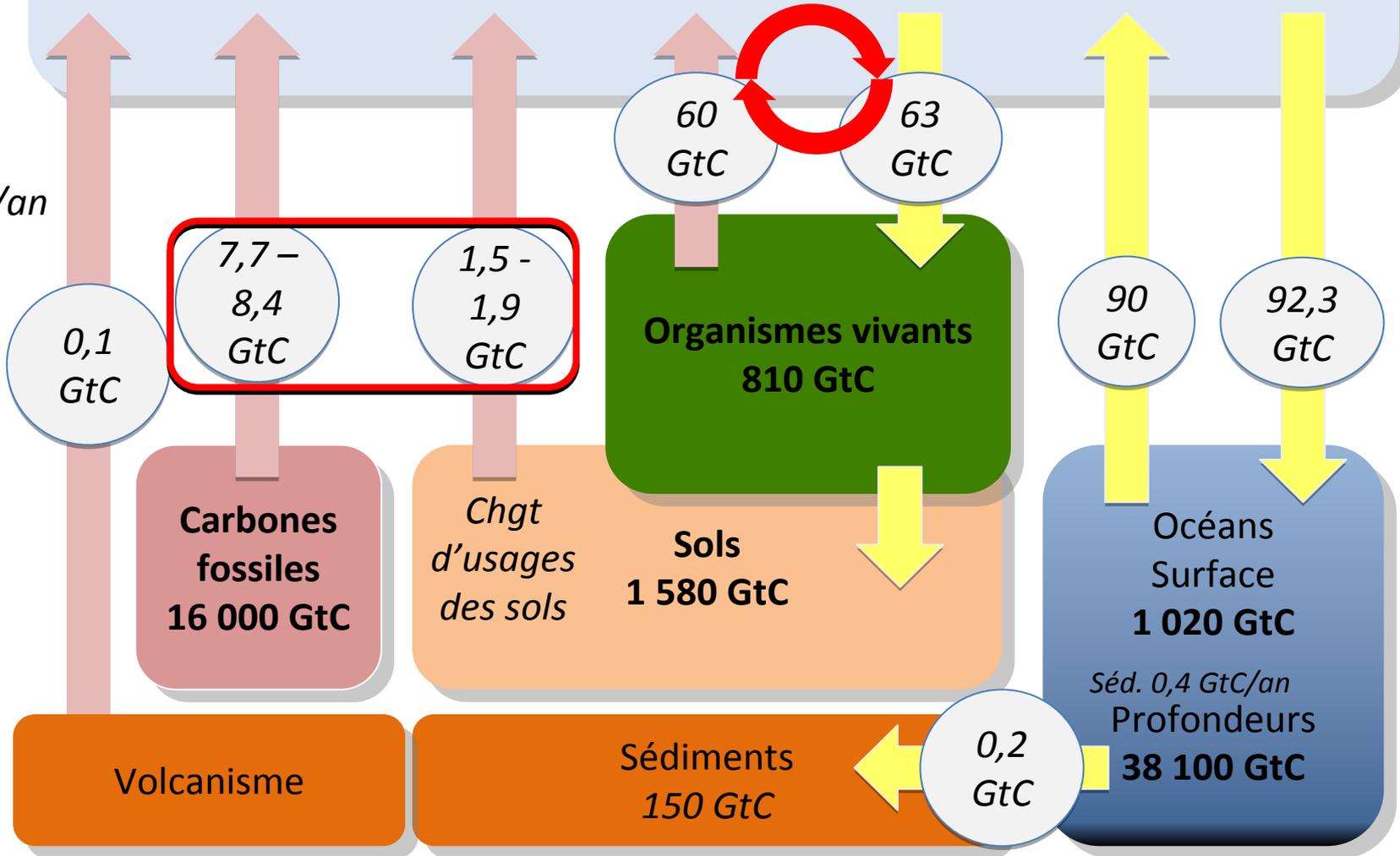
| 9 500 MtC | Energie : 9 090 MtC | Chimie : 400 MTC |
|---------------------|---------------------|------------------|
| C fossile | 8 090 | 369 |
| C biologique | 1 000 | 30 |

Source: ACS et Minefi, sur des données 2005

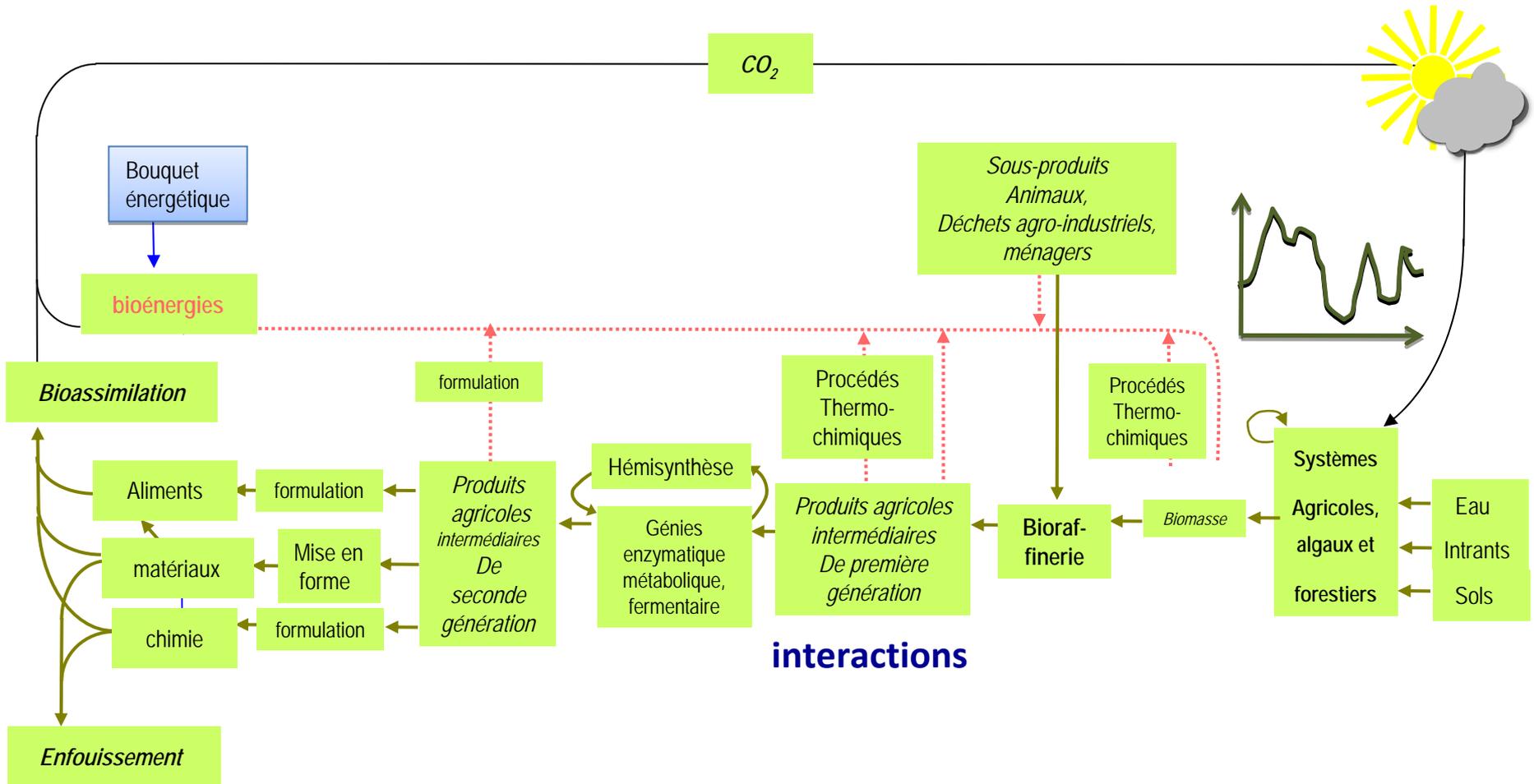


Atmosphère CO₂ (387,2 ppm fin 2009) et CH₄ 750 GtC

Stock et
flux GtC/an



Le système des Carbones Biologique et Fossile est complexe (et compliqué).



- Les opérations constitutives ne sont pas additives, ni linéaires.
- Chaque itinéraire technologique comprend des combinaisons, des substitutions.



Les défis

- (1) répondre aux besoins alimentaires d'une population mondiale d'environ 9 milliards d'individus en 2050, dont certaines populations régionales en situation de fort développement économique,
 - (2) contrôler, limiter et réduire les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère pour conduire à un développement neutre au plan carbone, avec l'engagement de réduire par 4 les émissions de GES à l'horizon 2050 par rapport à 1990 (facteur 4 issu de la loi Programme d'orientation de la politique énergétique française)
 - (3) élaborer des produits de substitution aux hydrocarbures fossiles (et à leurs dérivés) dont les réserves, pour un coût donné, seront de plus en plus rares,
 - (4) adapter les ressources naturelles sous la pression du changement climatique
- ... et **des finalités socio-économiques et géopolitiques** connexes
- favoriser l'indépendance énergétique
 - initier un développement neutre au plan carbone
 - développer une bio/agro-industrie, ce qui est un enjeu de restructuration/relocalisation/réindustrialisation

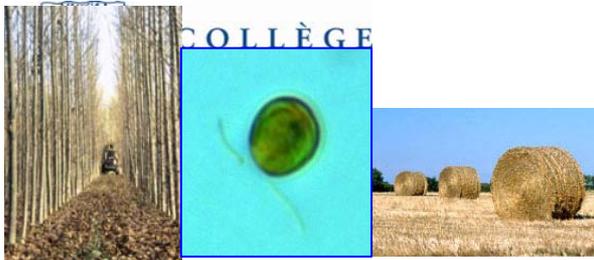


Etendre le concept de biomasse

La biomasse est la source de matière organique carbonée, produite par des organismes vivants ou par leur décomposition. Cette biomasse est formée essentiellement de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, provenant de divers types de ressources :

- les produits d'origine agricole
- les produits d'origine forestière
- les produits d'origine aquatique, micro- et macro-algues,
- les co-produits et effluents des industries de transformation des matières biologiques : scieries, papeteries, industries agroalimentaires, élevages industriels
- les autres déchets organiques : déchets urbains, boues de station d'épuration, ordures ménagères, déchets verts de parcs et jardins.

Besoin de s'appuyer sur les biotechnologies végétales



COLLÈGE

La bioraffinerie



Biomasses agricole, forestière et algale

Grain, tige

1^{ère} g

Grain d'amidon, fibre, lipide

2^{ème} g

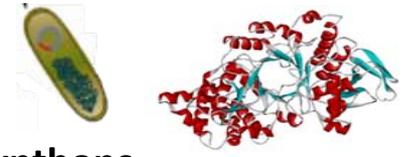
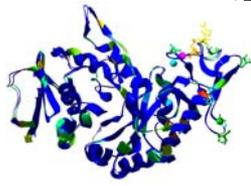
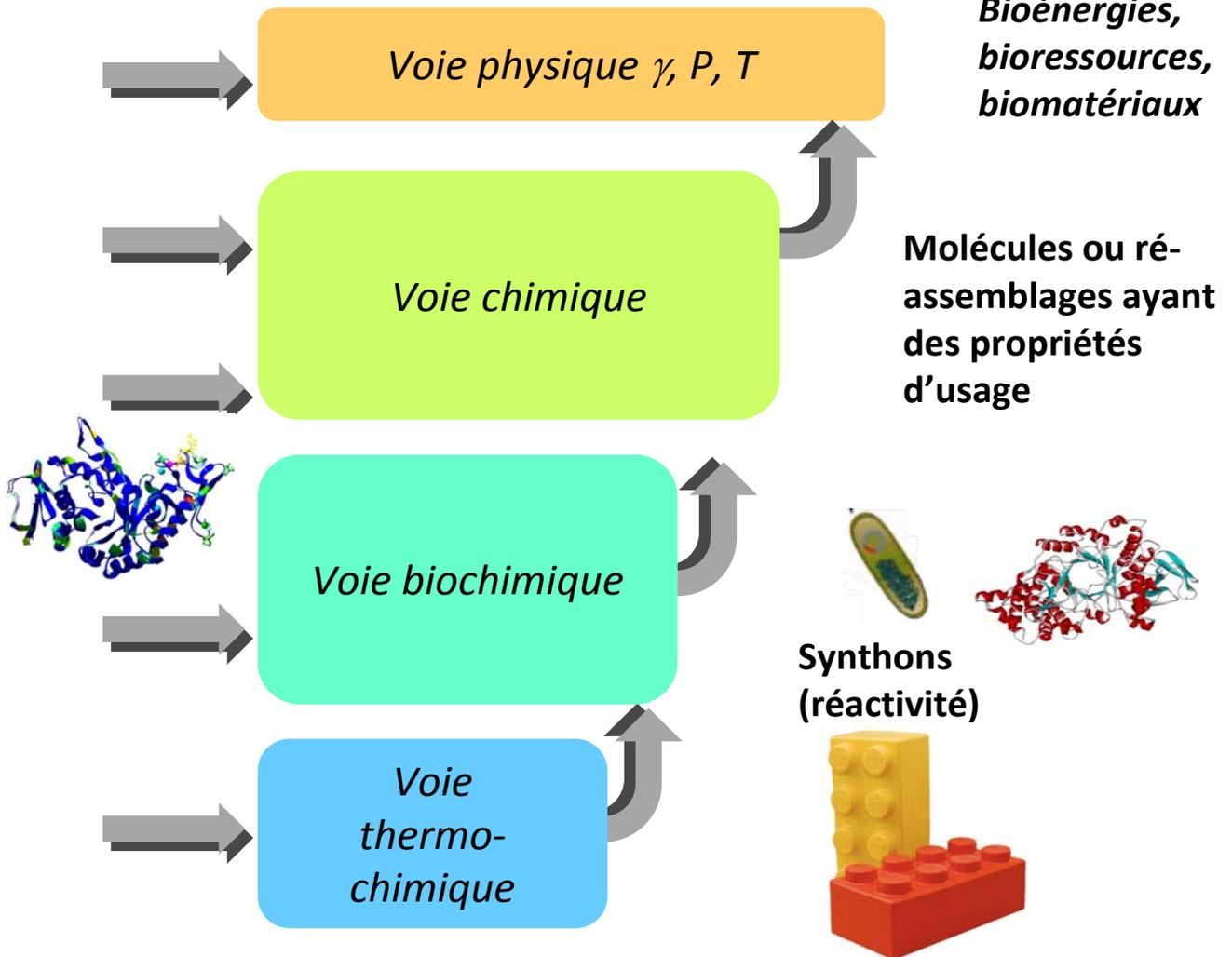
Acides gras, glycérol, polysaccharide, isolat de protéines

3^{ème} g

hexoses, pentoses, peptides et acides aminés

4^{ème} g

Syngas: CO, H₂





L'adaptation aux besoins

- **L'approche structurale** consiste à identifier des biomolécules identiques à celles utilisées dans la chimie du carbone fossile, et à adapter le procédé pour opérer la substitution.
 - La **lignine**; l'hydrogène, le latex d'hévéa.
- **L'approche fonctionnelle** consiste à explorer les molécules existantes dans le domaine végétal pour y trouver des propriétés semblables à celles recherchées (même si ces propriétés sont portées par des molécules de structures différentes de celles actuellement utilisées), et à adapter la formulation et la mise en œuvre
 - Place des biotechnologies et de l'hémisynthèse.
 - Un atout des molécules d'origine biologique est leur capacité à l'auto-assemblage, déjà mise en valeur dans les nanobiotechnologies.
- La **principale limite cognitive** : l'insuffisance des connaissances dans le domaine des relations structures moléculaires – propriétés physico-chimiques – propriétés d'usage pour les molécules d'intérêt, comparativement aux molécules pétro-sourcées.



Hydrogène 119,4 MJ/Kg

Stockage ?



50 — 50,1: Méthane (O/C:0)

44,5: Isoprénoïdes

44,0 : Alcane

42.8: Diesel (O/C:0)

42.5: Gasoline (O/C:0)

40 —

36.3: FAME (O/C:0.17)

36.3: ETBE (O/C:0.17)

34.4: Butanol (O/C:0.25)

30 —

30 : Ethanol

28.8: DME (O/C:0.5)

26.9: Ethanol (O/C: 0.5)

20 —

> 20 Huiles de pyrolyse

Bois-énergie 16 – 19 Biomasse

14.2: Glucose (O/C:1)

10 —

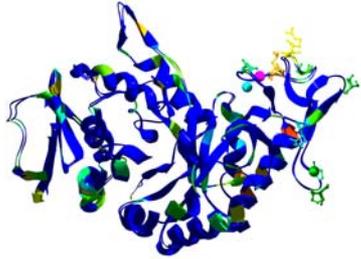
Consommation mondiale: 442 EJ/an

Part des bioénergies: 50 EJ/an

Potentiel 100 à 300 EJ/an. Chum et al., 2011

0: CO₂ / H₂O 0

MJ/kg



**Enzymes
des
espèces
Sauvages**
4585 enzymes
MACiE database

**Mutagenèse
aléatoire, puis
dirigée**

10 à 20 variants
ciblés à partir de
données
structurales

Accès aux
gènes

**Evolution
moléculaire**

Données
structurales non
nécessaires,
Accumulation de
modifications
bénéfiques

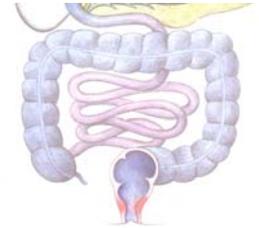
Arnold, 1997

**Conception
rationnelle**

Modélisation,
screening virtuel

Baker, 2008

**Approche
combinant les
4 précédentes**



Métagénomique
10⁵ à 10⁶ clones
par banque sans
culture préalable

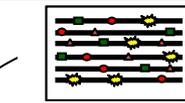
Amylase
(Payen, 1833)

*Technology
-push*

Smith, 1978

*Mutagenèse
massive*

Souches
extrémophiles



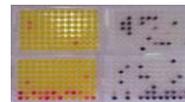
10⁵-

*Criblage à
haut débit*

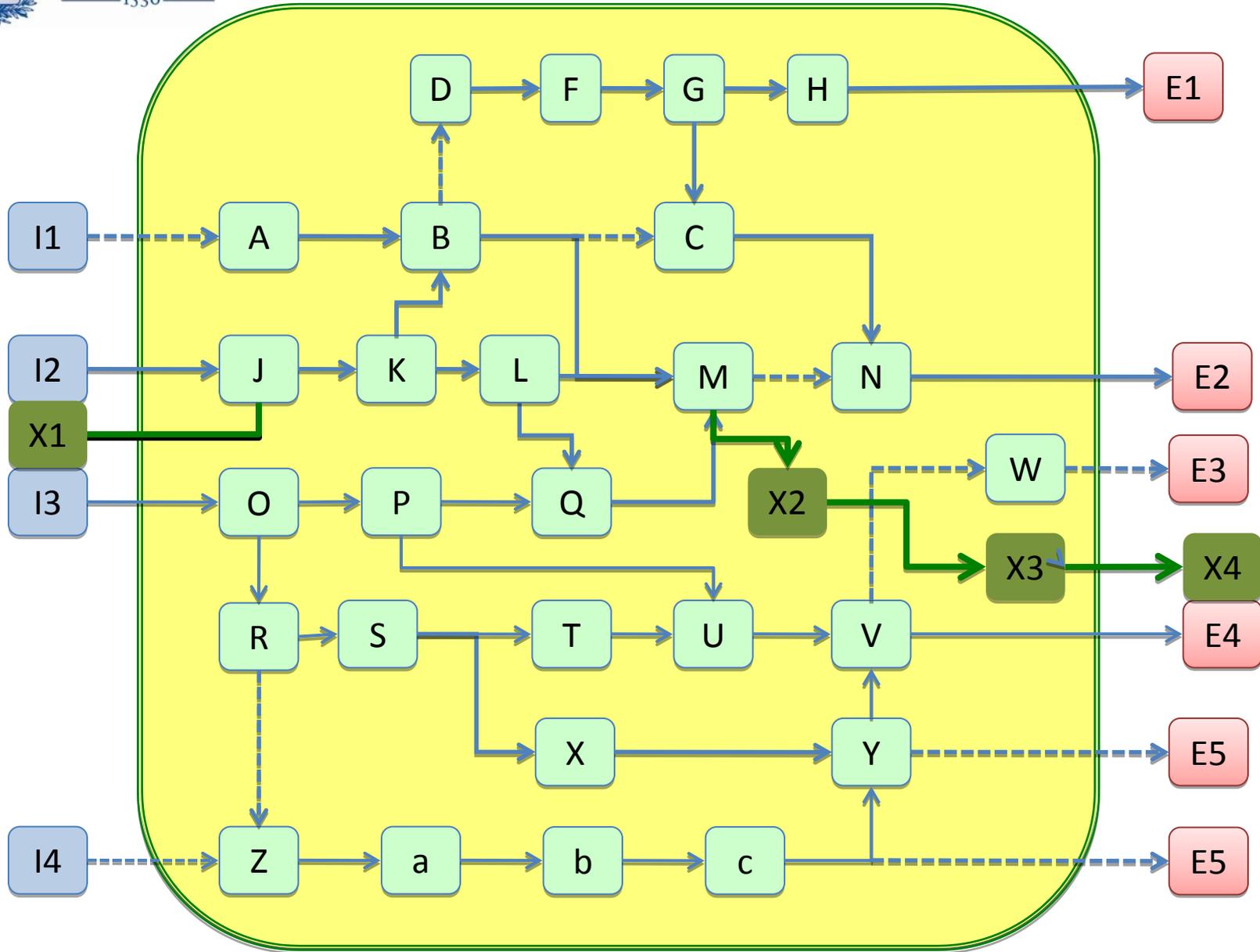


10⁴-

10⁵



Screening assays
10³-



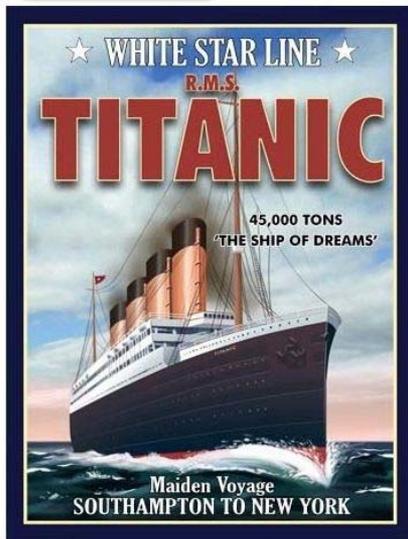


La biologie de synthèse

Consortium européen Synbiology : **l'ingénierie de composants et systèmes biologiques qui n'existent pas dans la nature.**

Démarche d'ingénieur

- **Conception** rationnelle *in silico* d'un nouveau composant, dispositif ou système biologique, faisant appel à la modélisation mathématique et à la simulation informatique ; cette approche, appuyée sur les données disponibles (biologie intégrative, génomique, protéomique...), permet d'explorer par avance les propriétés de l'objet qui sera construit ; le recours à cette méthodologie et la complexité des objets conçus sont les éléments qui distinguent la BS du génie génétique.
- La **construction** *in vitro* de l'objet ainsi conçu.
- La **validation** est le suivi du fonctionnement de l'objet et l'évaluation de ses impacts sur la santé, l'environnement et la société.
 - Les approches de flux métaboliques.



Controverses sociétales

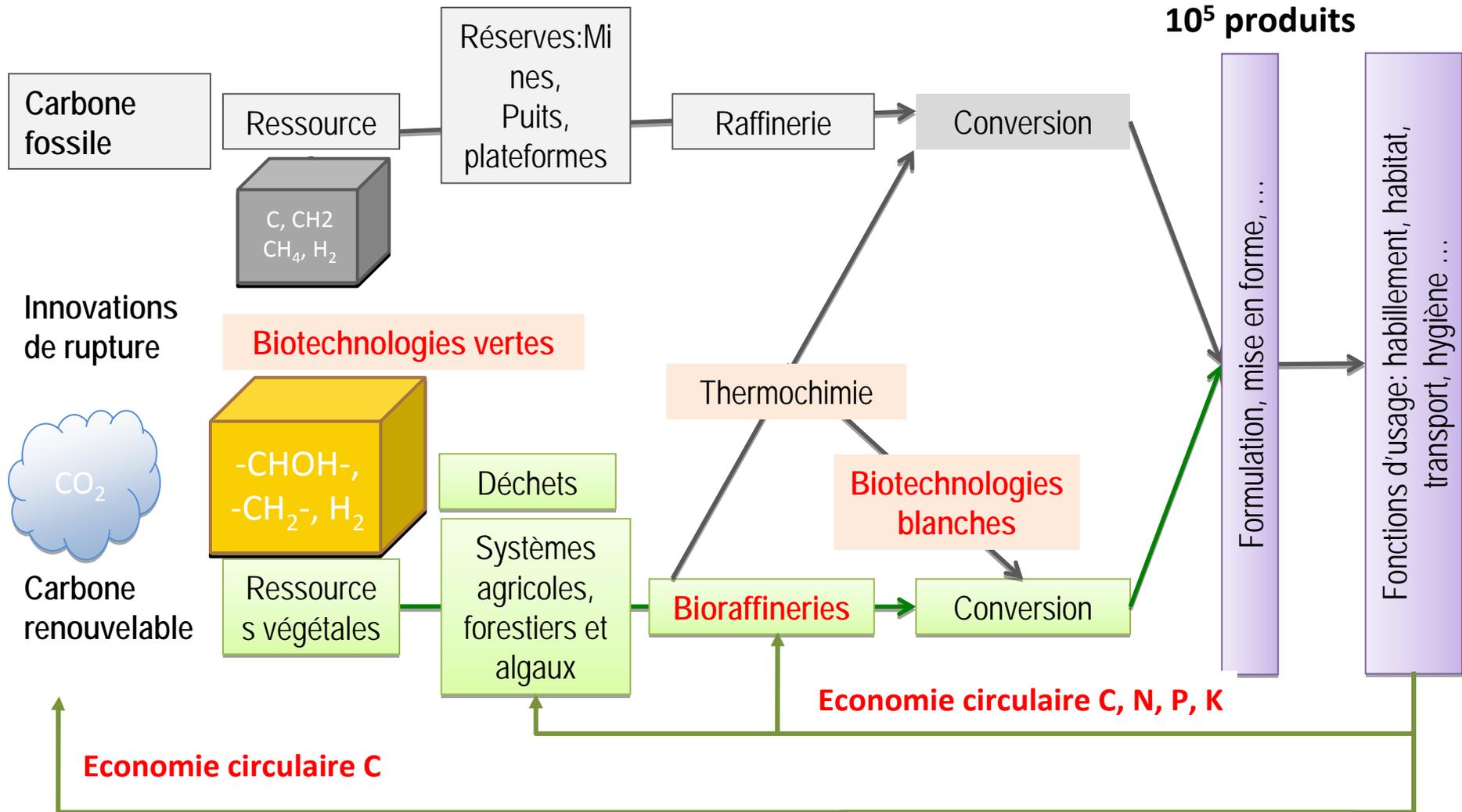


- **La sûreté des procédés biotechnologiques**, tant au niveau des accidents industriels et environnementaux que de la sécurité des produits finax (règlement REACH).
- **La propriété intellectuelle**, en raison des phases *in silico* fondées sur des outils logiciels à large spectre et sur la construction biotechnologique, à spectre très étroit, commercialisable pour des applications ciblées.
 - Compatibilité avec les certificats d'obtention végétale pour les plantes.
- **L'éthique**, avec l'artificialisation du vivant, en particulier en biologie de synthèse, qui peut heurter certaines cultures.

Source: P-B Joly



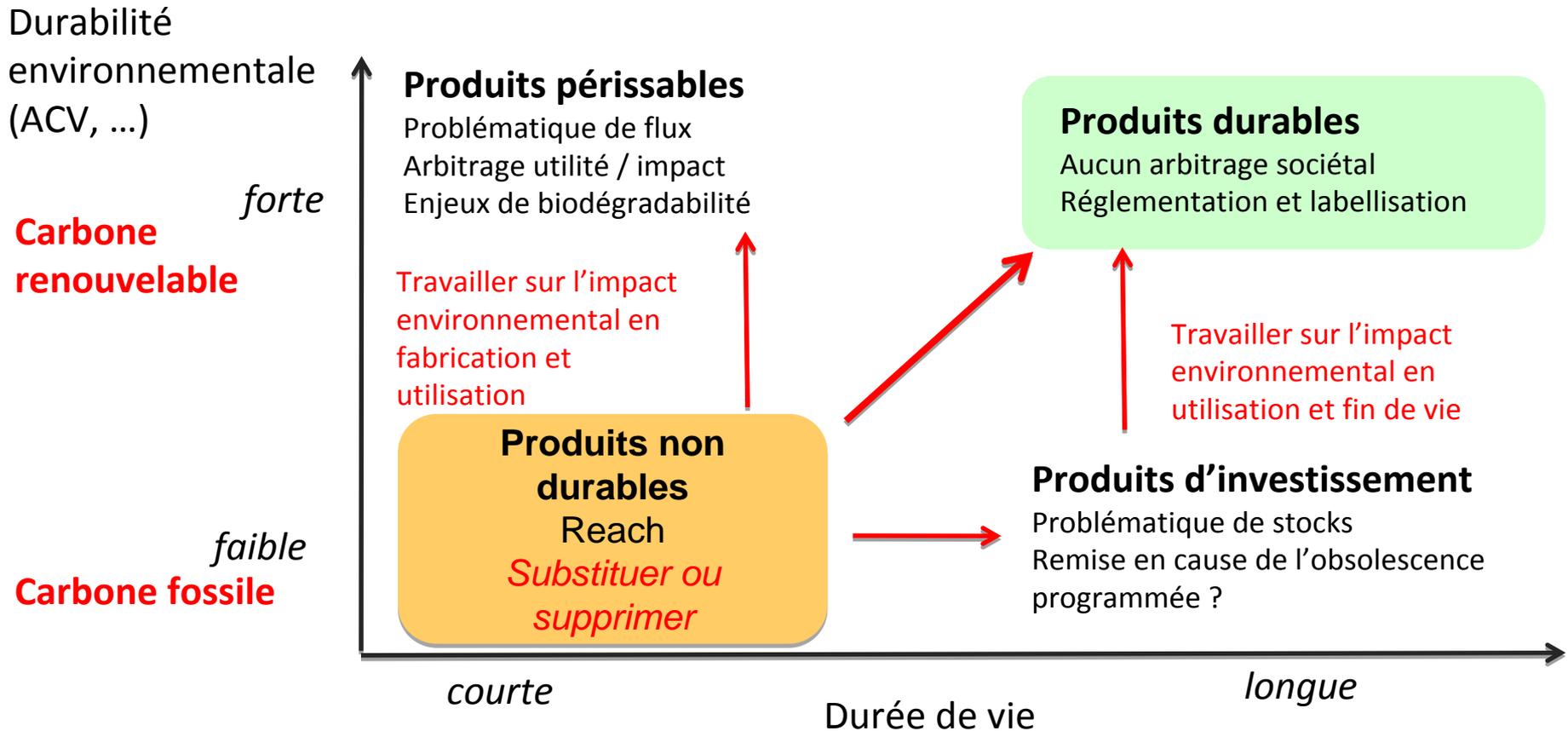
Le couplage avec la chimie de synthèse



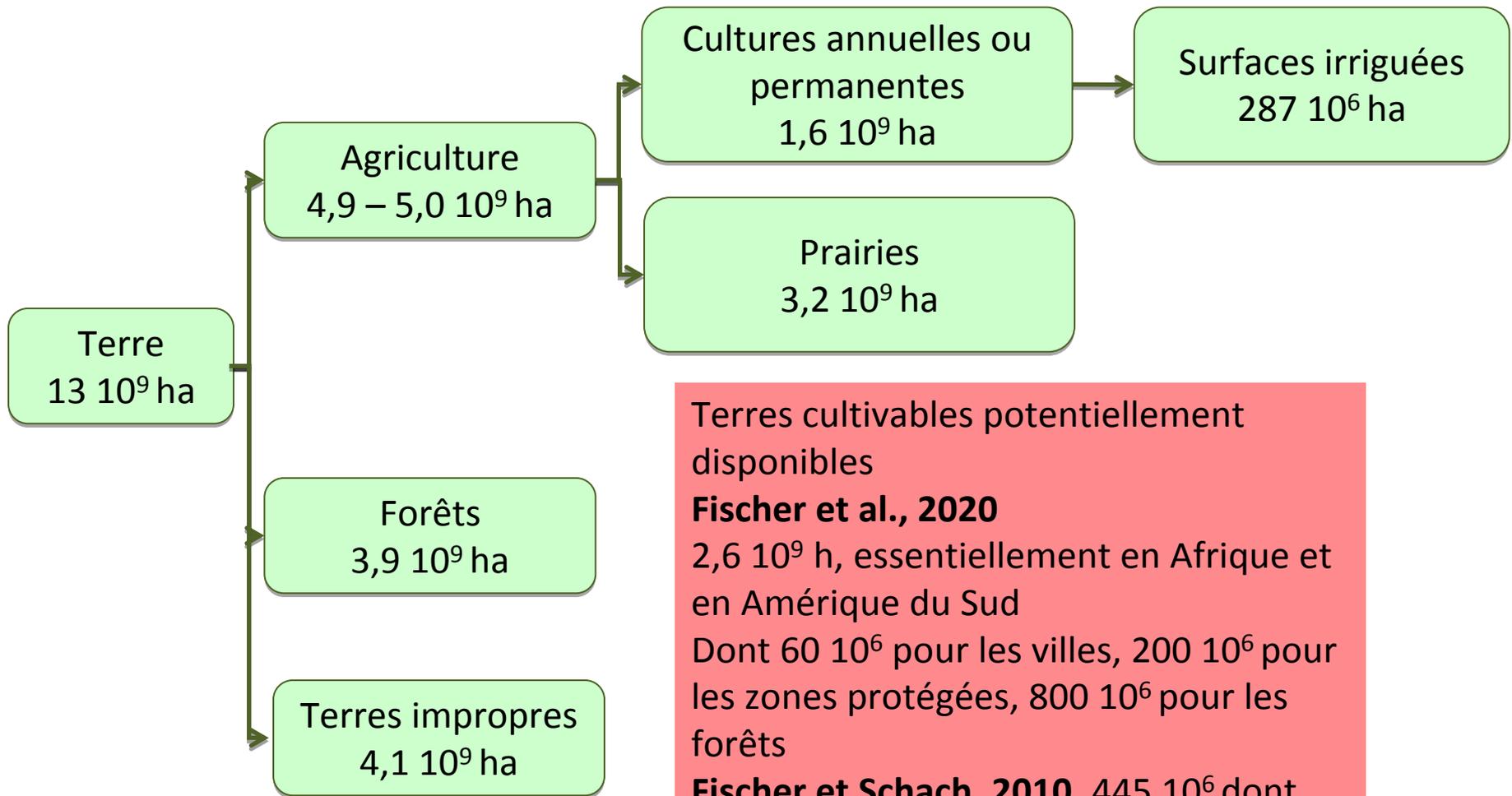


Concurrence et complémentarité avec le carbone fossile

Les allégations de neutralité Carbone donnent lieu à des controverses
Reduce, recycle, reuse, new sourcings



Disponibilité des terres



Terres cultivables potentiellement disponibles

Fischer et al., 2020

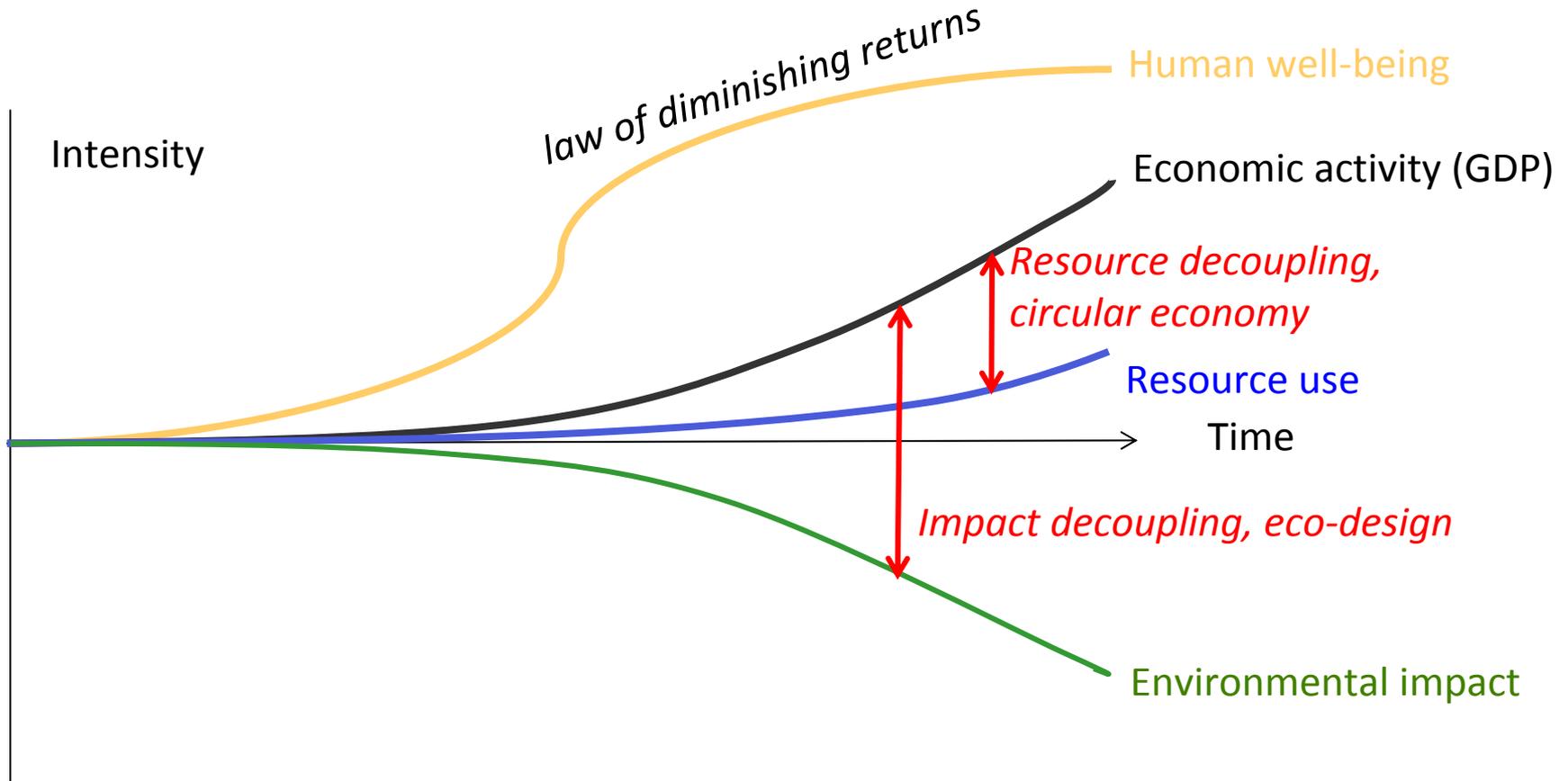
2,6 10⁹ h, essentiellement en Afrique et en Amérique du Sud

Dont 60 10⁶ pour les villes, 200 10⁶ pour les zones protégées, 800 10⁶ pour les forêts

Fischer et Schach, 2010. 445 10⁶ dont 50% en Afrique



Conclusion





COLLÈGE
DE FRANCE
—1530—



Merci pour votre attention