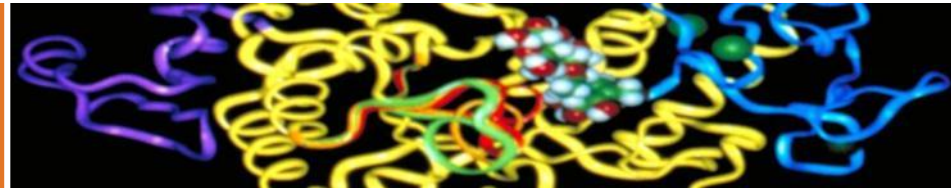


Le carbone renouvelable au croisement des enjeux de durabilité

Paul Colonna

▮ Jeudi 18 avril 2013



- Agro-chimie
- Agro-ressources
- **La bioéconomie**
- Les bioproduits (bio-based)
- Chimie bio-sourcée (bio-based)
- Chimie du végétal
- Chimie verte du Carbone renouvelable
- Economie décarbonée *PV et H₂*
- Usages de la biomasse
- Valorisations agricoles non alimentaires (VANA)
- Valorisation de la biomasse

- **Plantes industrielles**
coton, chanvre, lin, pour l'habillement, bois pour l'habitat et la chaleur, savons végétaux pour l'hygiène,
- *Remarque: laine, cuir, huiles de baleine et de cachalot,*

Les 3 défis majeurs

- (1) **contrôler, limiter et réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES)** dans l'atmosphère pour conduire à un développement neutre (émissions = absorption) au plan carbone (facteur 4 issu de la loi Programme d'orientation de la politique énergétique française; paquet Energie-Climat de l'UE)
- (2) **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.
- (3) **prévenir les risques sanitaires humains et environnementaux**, associés à des substances et à leurs substituts, dans leurs effets directs sur la santé aussi bien que par les conséquences de la dégradation de notre environnement sur l'augmentation d'un certain nombre de pathologies chroniques induites.



CARREFOURS
DE L'INNOVATION AGRONOMIQUE

Les perspectives de la bio-économie

Mobiliser plus fortement le carbone biologique pour répondre à ces trois enjeux repose sur une intensification des deux flux photosynthèse et dégradation pour en prélever une partie à des fins humaines. C'est la perspective offerte par la **bioéconomie** : son objectif est la production des biens et services pour réduire la dépendance à l'égard des ressources non renouvelables des populations, en assurant, de manière pérenne, leur sécurité aussi bien alimentaire et environnementale qu'économique. La transformation de la biomasse par des agents **biotechnologiques** est renouvelée par les progrès de la biologie moderne.

En découlent **deux perspectives** :

- (1) développer une bio/agro-industrie, enjeu de réindustrialisation européenne.
- (2) accompagner les développements régionaux à partir des avantages propres à chaque région: compétences, ressources et localisation géographique.

Les sources de biomasse

(1) **les produits d'origine agricole**, subdivisés entre d'une part les cultures traditionnelles de plantes annuelles (céréales, oléagineux) recherchées principalement pour leurs parties nobles (grains, graines et tubercules), et d'autre part les cultures dédiées à la bioraffinerie (*Miscanthus*, *panic érigée*, etc.), ainsi que les résidus de cultures et d'élevages.

(2) **les produits d'origine forestière** : bûches, granulés, plaquettes et résidus de l'exploitation forestière ou de cultures sylvicoles spécifiques (taillis à courte ou à très courte rotation de peuplier et d'eucalyptus). La mobilisation de la ressource forestière, dans le respect des règles d'une exploitation durable, est un verrou actuellement dans certains pays où la valeur patrimoniale l'emporte sur la valeur commerciale.

(3) **les produits d'origine aquatique** : algues, résidus de la pêche et de la pisciculture. les co-produits et effluents des industries de transformation des matières biologiques : scieries, papeteries, industries agro-alimentaires, élevages industriels.

(4) **les autres déchets organiques** : déchets urbains, boues issues des stations d'épuration, ordures ménagères, déchets verts provenant de parcs et jardins.

Les solutions végétales

<http://www.inra.fr/arpvega>

| Famille biochimique | Plantes strictement lignocellulosiques | Plantes à réserve glucidique | Plantes à réserve lipidique |
|-------------------------|--|--|--|
| lignocellulose | sylviculture (peuplier, saule, pin, eucalyptus, robinier,...), miscanthus, lin, chanvre, ramie Sorgho, Triticale <i>Macro-algues</i> | tiges de canne à sucre, tiges et enveloppes des grains | tiges et enveloppes des graines |
| amidon | | grains de céréales (blé, maïs, orge, riz, sorgho), graines de protéagineux | |
| saccharose | | racines de betterave, tige de canne à sucre | |
| oligosaccharides | | graines de légumineuses | |
| lipides | | | graines d'oléagineux: colza, tournesol, soja, ricin, coton, cameline palmier, micro-algues |
| protéines | | grains de céréales (gluten de blé, de maïs ...) | graines d'oléagineux (tourteaux), micro-algues |

Les micro-algues

Caractéristiques des microalgues vertes

- oligosaccharides actifs
- métabolites II (pigments)
- Production d'hydrogène
- Forte teneur en lipides poly-insaturés
- Voies métaboliques originales (terpénoïdes longs par ex)
- Disponibilité d'enzymes d'intérêt pour la biosynthèse et la bioconversion
- Productivité élevée en biomasse **40t/ha.an**
- Homogénéité du matériel biologique
- Disponibilité de données génomiques
- Transformation génétique – usine cellulaire
- Production des lipides et de l'hydrogène dans des conditions de stress
- Coût d'infrastructure pour les systèmes intensifs
- Pour les systèmes ouverts, microalgues diluées
- Forte teneur en eau
- Extraction des molécules d'intérêt
- Manque de connaissance pour une valorisation intégrale de la ressource
- Accumulation des métaux lourds
- Sensibilité aux pathogènes et compétiteurs (en milieu ouvert)

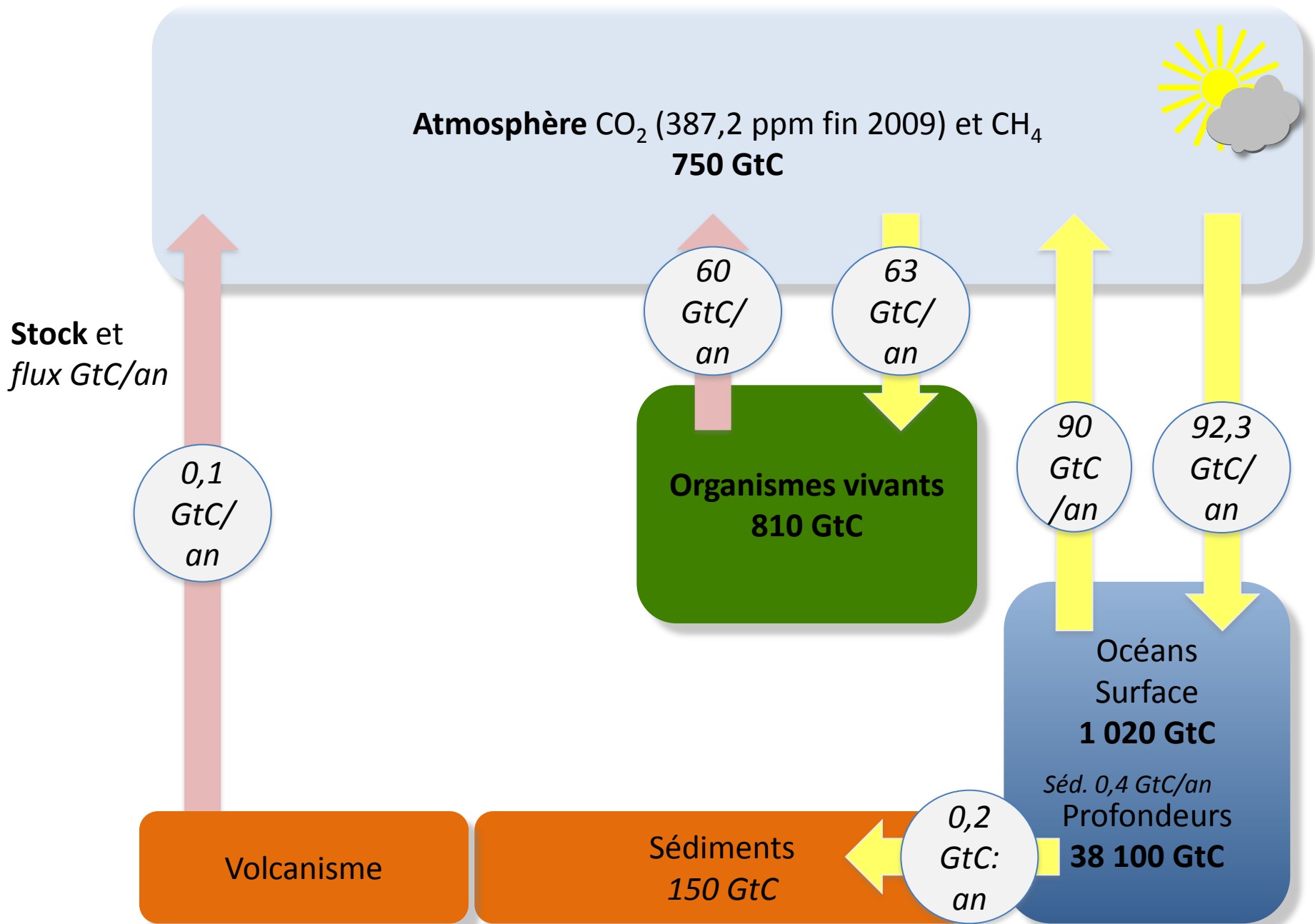
Opportunités

Caractéristiques externes (marchés, politiques publiques, concurrence,...)

- Besoin de bio-remédiation
- Biologie synthétique
- R&D émergente sur les micro-algues (transfert de connaissance possible d'une espèce à l'autre)
- Complémentarité des usages (systèmes intégrés)
- Limitation des émissions de CO₂ (capture de CO₂)
- Pression sur la ressource en eau douce et concurrence pour l'usage du sol

Limitations

- Nombreux brevets sur les enzymes de biosynthèse des acides gras et plus généralement stratégie de protection systématique des gènes d'intérêt dès qu'un génome est annoté
- Filière non organisée en France
- Domaine très spéculatif

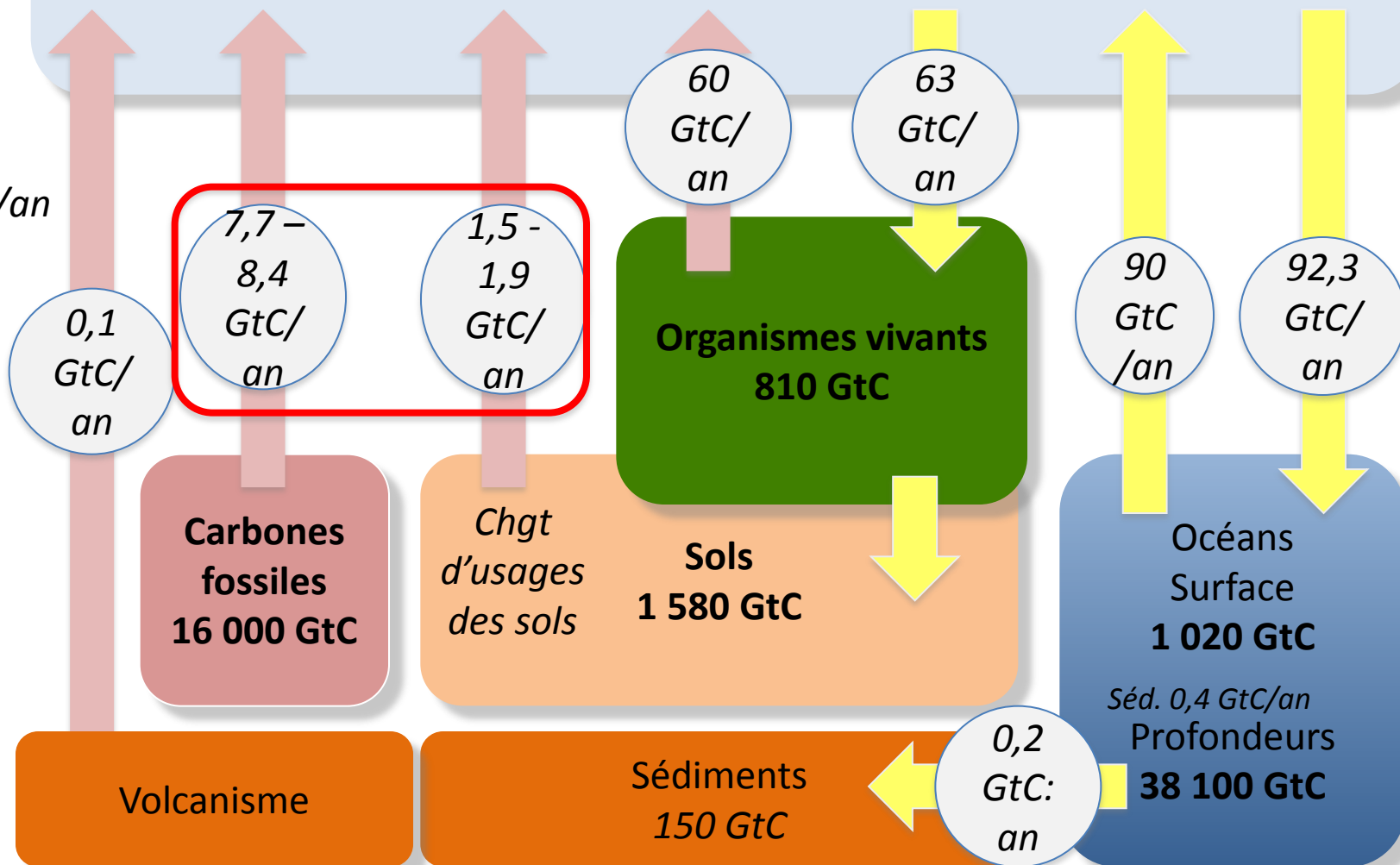


Sources: à partir de GIEC, Friedlenstein et al., 2010; Pan et al., 2011

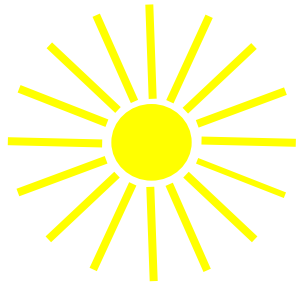


Atmosphère CO₂ (387,2 ppm fin 2009) et CH₄
750 GtC

Stock et
flux GtC/an



Sources: à partir de GIEC, Friedlenstein et al., 2010; Pan et al., 2011

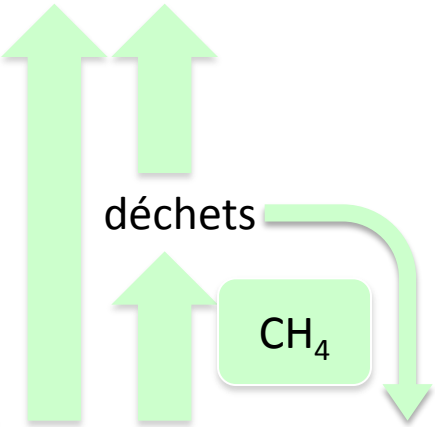


CO₂, CH₄, N₂O

Services support,
de régulation,
culturels et
sociaux

Services
écosystémiques

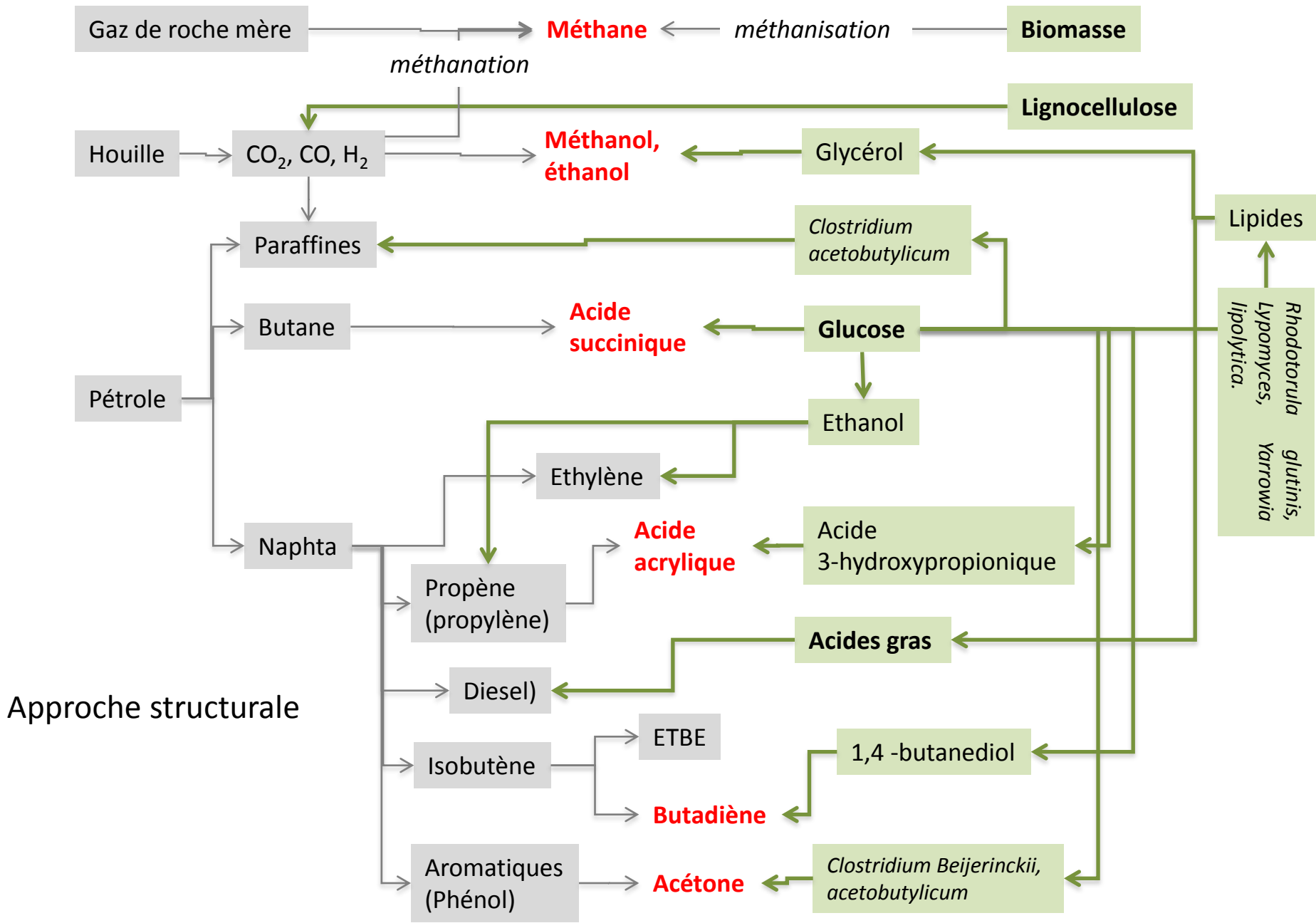
Alimentation, Habillement
Hygiène, Transports, Habitat



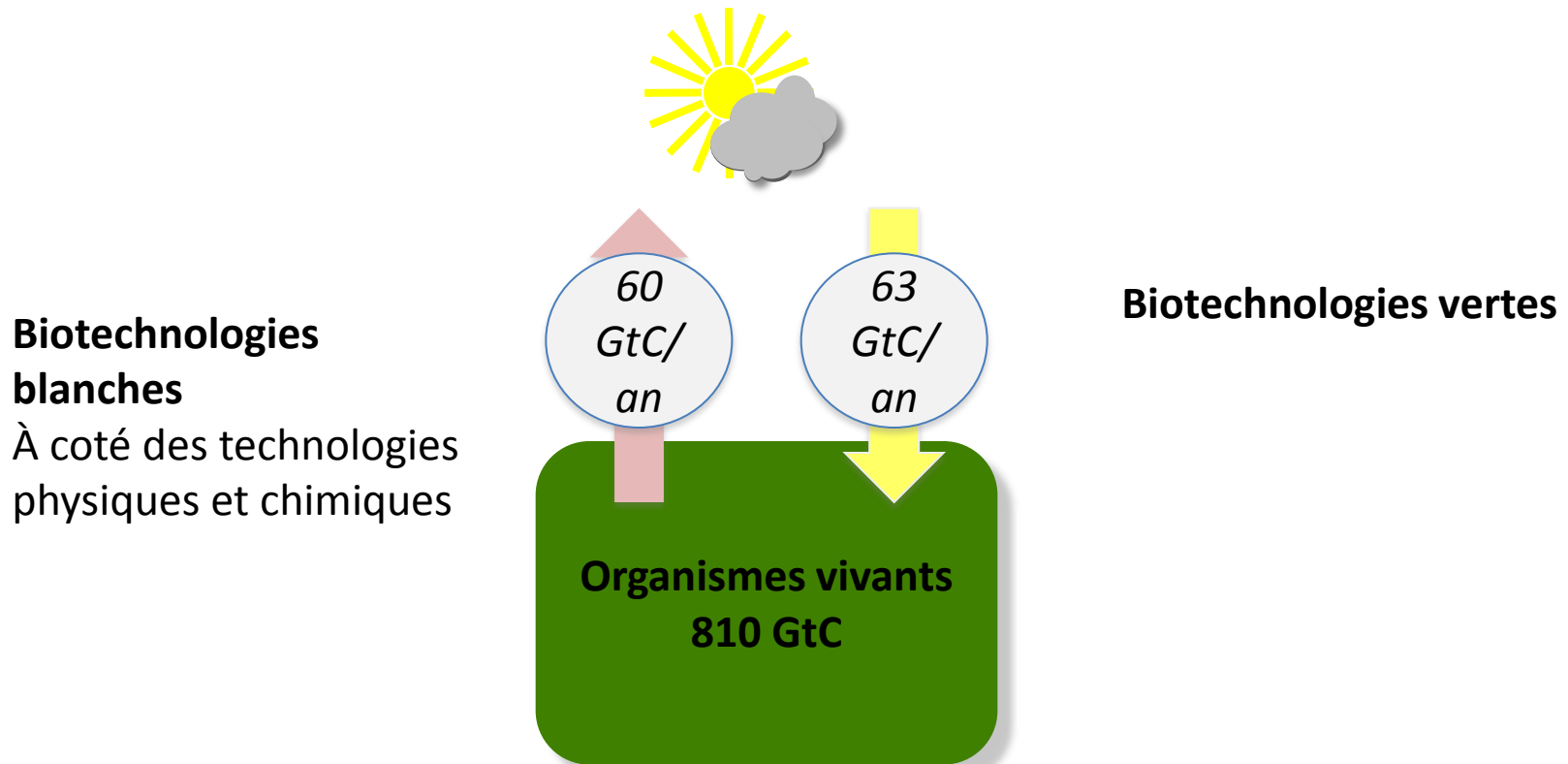
Polysaccharides [C₆(HOH)₅]_n, la lignine [C₁₀H₁₂O₃]_n, les terpènes C₁₀H₁₆, les lipides à base de glycerol (C_nH_mO₆) avec n entre 50 et 60,

Méthane
CH₄ et
pétrole
[CH₂]_n





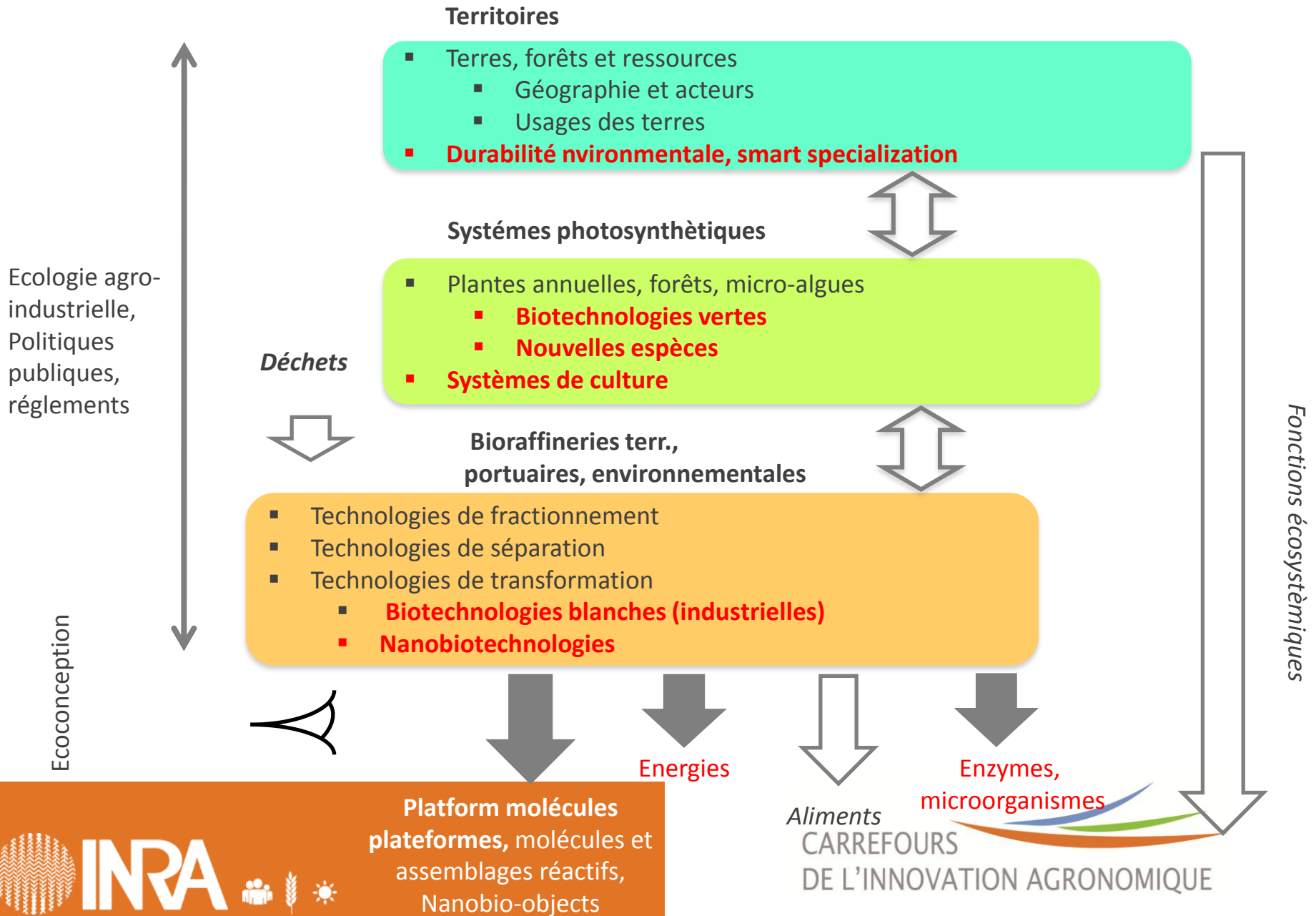
Les changements de paradigmes technologiques



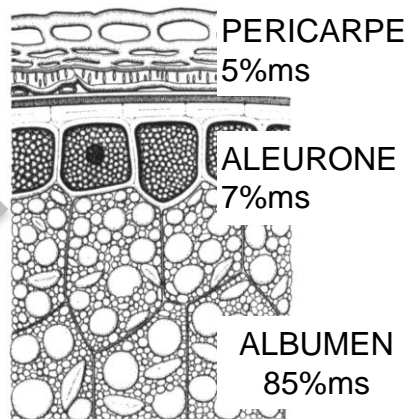
Élargissement de la panoplie enzymatique
Modifications orientées et raisonnées

Biologie moderne, depuis le séquençage jusqu'à la biologie computationnelle

Les changements de paradigmes technologiques



Grain de blé
6x4x3 mm



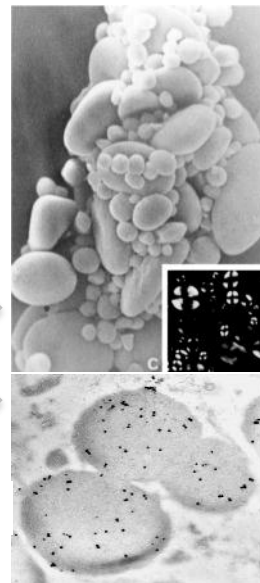
Sons et
remoulages

77-82 %ms

Farines et
semoules

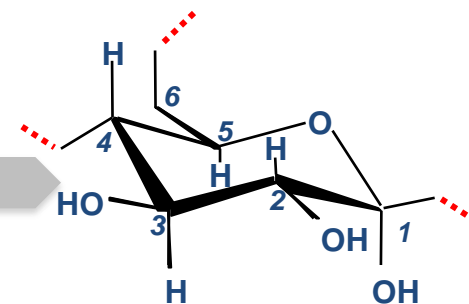
9-14 %ms

Grain
d'amidon
(25 µm)



Corpuscule
Protéique
(1 µm)

Unité
glucosyl
0,3 nm

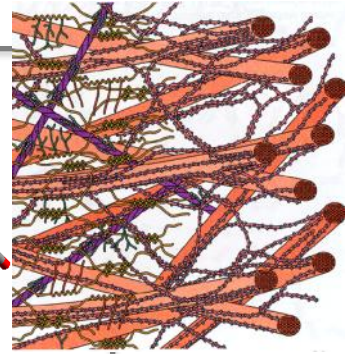
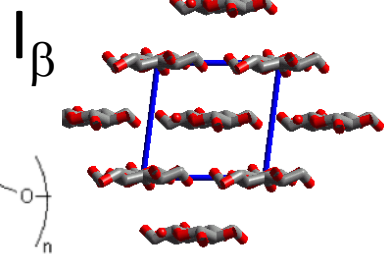
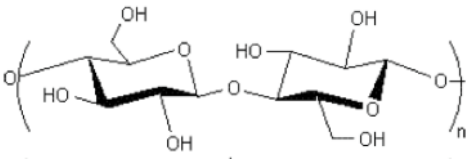


Forces d'adhésion: liaisons ionique, van der Waals, hydrogène

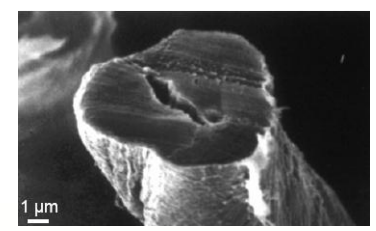
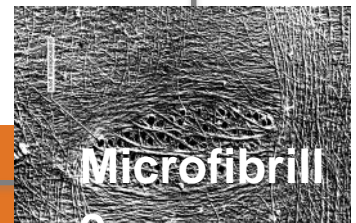
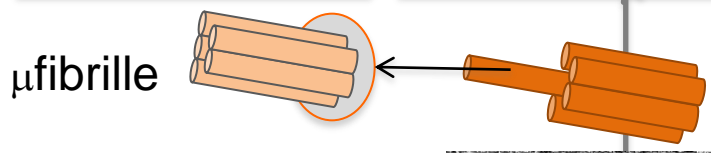
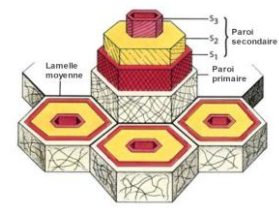
Liaisons covalentes

Les échelles d'organisation de la lignocellulose

Hémicelluloses:
polymères de
**pentoses et
d'hexoses**, avec
estérification



Carpita &
McCann
(2000)



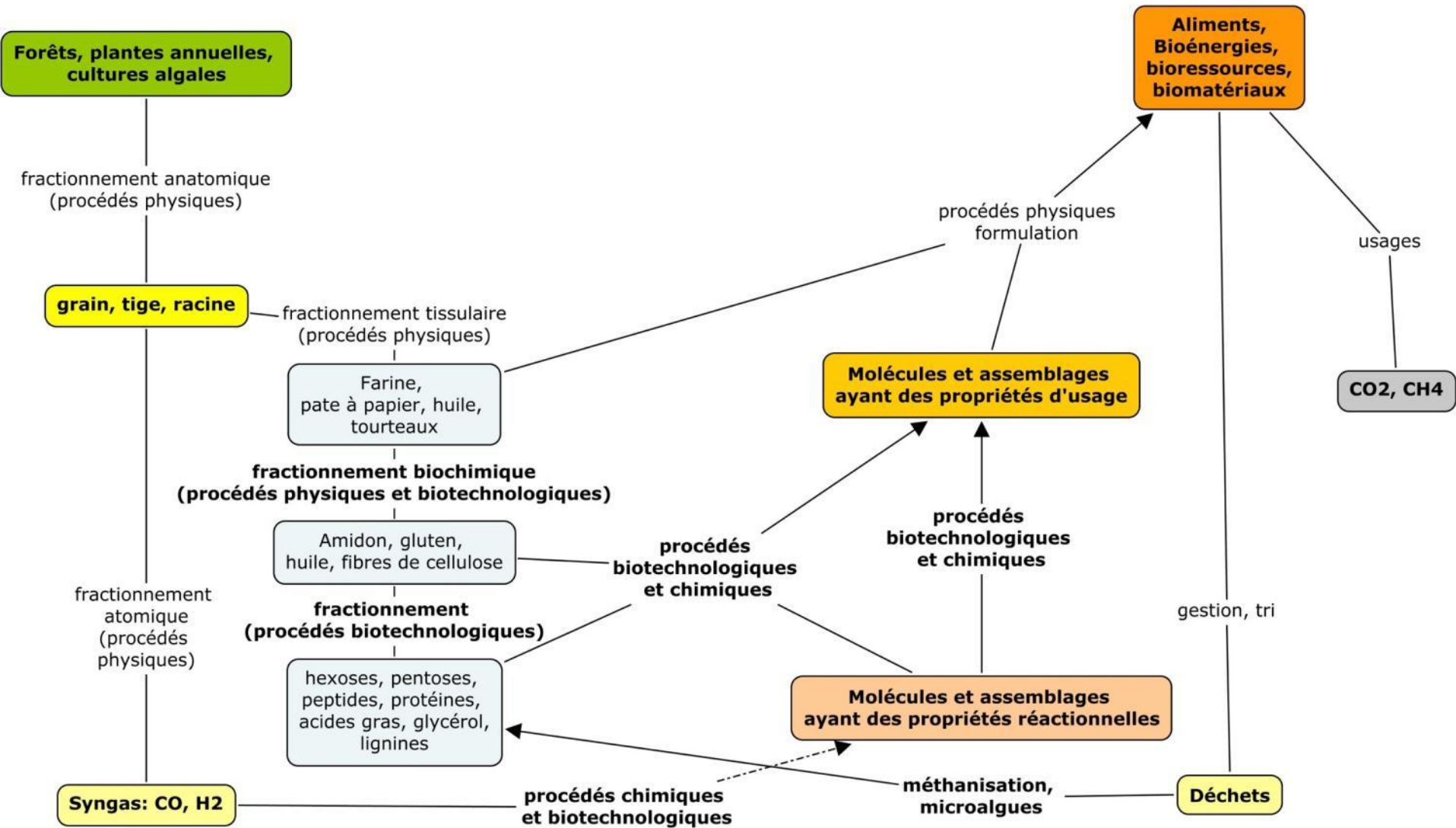
Fibre de coton
CARREFOURS
DE L'INNOVATION AGRONOMIQUE

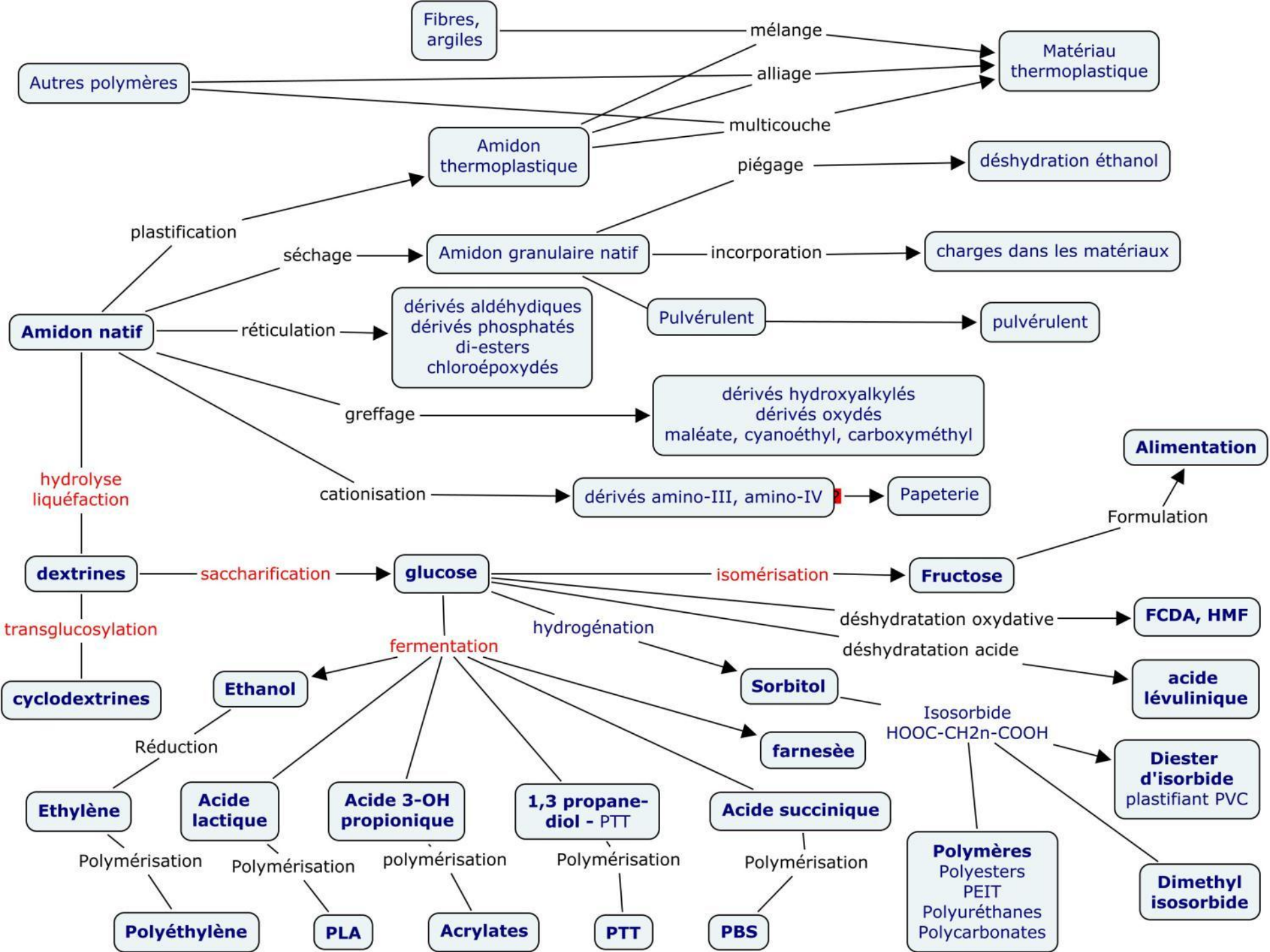
Chanvre
(Helbert)

Alcools
p-coumarique,
coniférylique,
sinapylique

Réticulation extracellulaire

Les bioraffineries





La durabilité de la bioéconomie

3A: available, achievable, affordable

Brundtland (1987)

L'objectif de la bio-économie est la satisfaction durable des besoins en termes d'hygiène, habillement, habitat, transport, (flux de matière, d'énergie et de services) d'un ou plusieurs groupes de consommateurs, d'où le besoin d'articuler et dimensionner ces activités dans et à côté du système alimentaire, avec un réglage fin des flux de carbone et d'énergie. L'hypothèse sous-jacente est la substituabilité des matières premières : le coût énergétique d'accès à certaines matières est à mettre en balance avec le caractère délétère de certains prélèvements des ressources.

- ◆ Pour une population donnée, est ce plus durable que le carbone fossile ?
 - Tensions environnementales
 - Safe by design
 - Propriété intellectuelle
- ◆ Pour une population donnée, est ce réalisable ?
 - Conflit d'usages ?
- ◆ Pour les pays en développement, est ce abordable ?
 - Court terme vs long terme

Conclusions

- Passage de l'agriculture-agro-industrie à la **bioéconomie**
 - Long terme
- Une solution = un **triplet** « espèces - systèmes de production – procédés de transformation »
- **Deux changements de paradigme**
 - Les biotechnologies vertes et blanches: innovations technologiques
 - L'approche holistique
- **Territoires**
 - Ces filières vont-elles contribuer à étendre les territoires agricoles et forestiers, et à diversifier les mosaïques paysagères ?
 - Comment organiser leur coexistence et leurs multiples imbrications avec les filières alimentaires ?
 - Quels modes de gouvernance adopter pour favoriser les coordinations territoriales ?
 - *Dans un contexte d'écoscepticisme ou relativisme !*
- **Institut Carnot 3BCar (<http://www.3bcar.fr/>)**