

Université du 3^e âge, Neuchâtel

Mardi 5 janvier 2016

Le vivant : source(s) d'énergie pour le futur ?

Michel Aragno

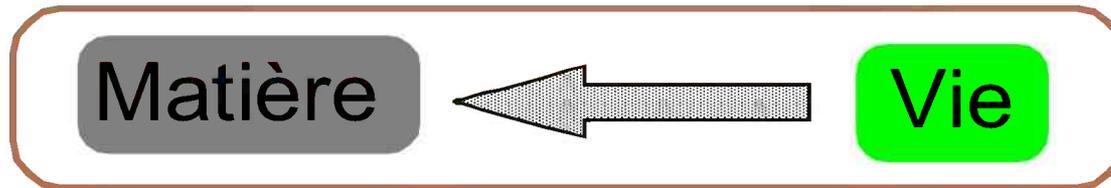
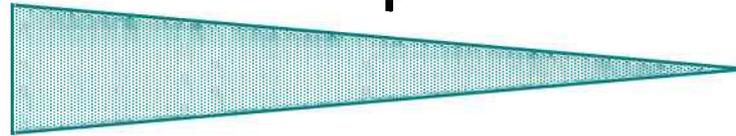
Professeur honoraire de microbiologie

Université de Neuchâtel

michel.aragno@unine.ch

1. Introduction: Vie et énergie
2. Ressources énergétiques
3. Formes de bio-énergie
4. Source primaire d'énergie: le Soleil
5. Photosynthèse
6. Carburants et aliments dérivés du végétal
7. Réflexions sur la gestion durable de l'environnement
8. Classification des systèmes bio-énergétiques
9. La biométhanisation
 - 9.1 Principes
 - 9.2 Biogaz à la ferme (Inde)
 - 9.3 Le projet UE ORION
10. Biodiesel
11. Cultures d'algues ou de Cyanobactéries
12. Cellules bio-voltaïques (bio-piles à combustible)
13. Conclusions

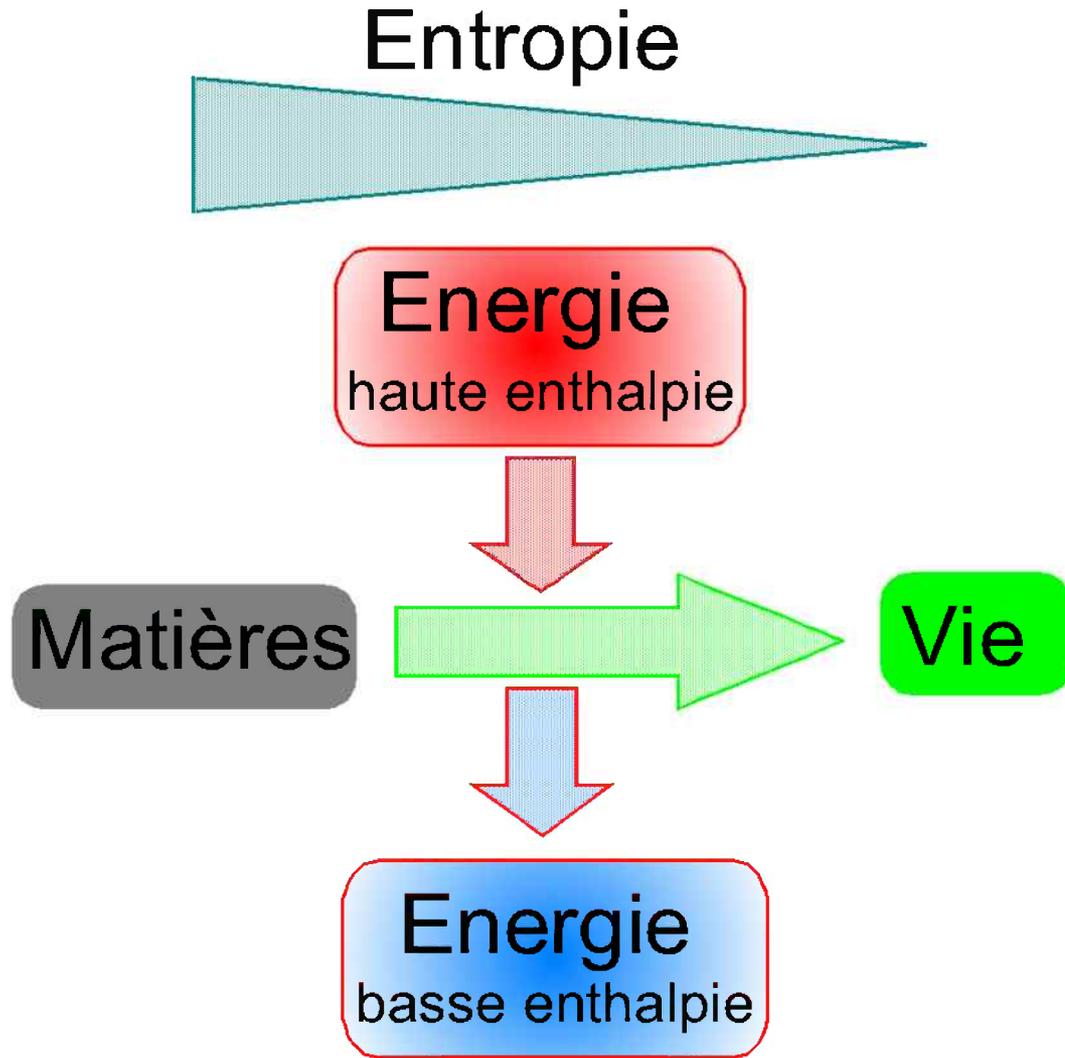
Entropie



L'évolution spontanée d'un **systeme fermé** va vers l'augmentation de l'entropie, et donc du désordre

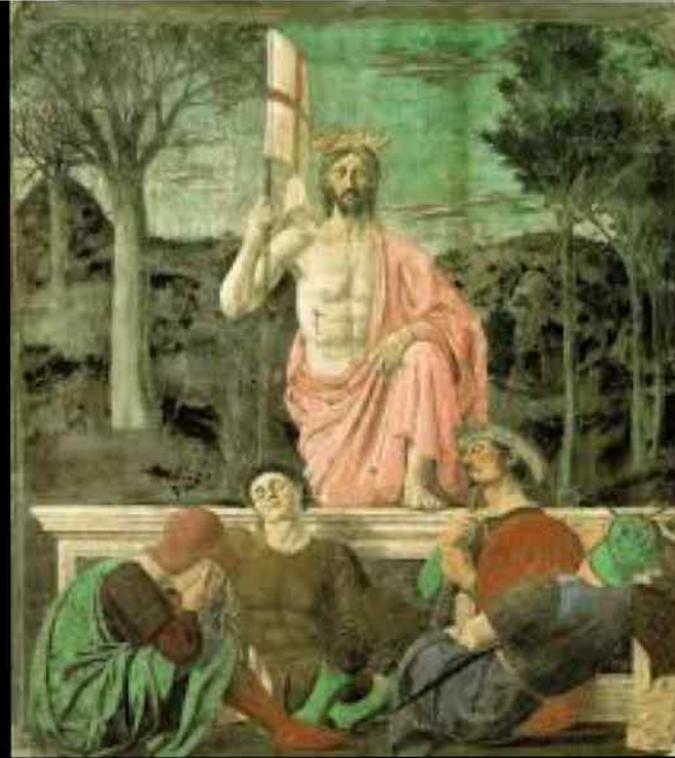
(2^e principe de la thermodynamique)

La vie échappe-t-elle au 2e principe de la thermodynamique ?



La vie est un **ystème ouvert** qui consomme de l'énergie





La Résurrection
Piero della Francesca
Sansepolcro, 1465

« La vie est l'ensemble des fonctions qui résistent à la mort »

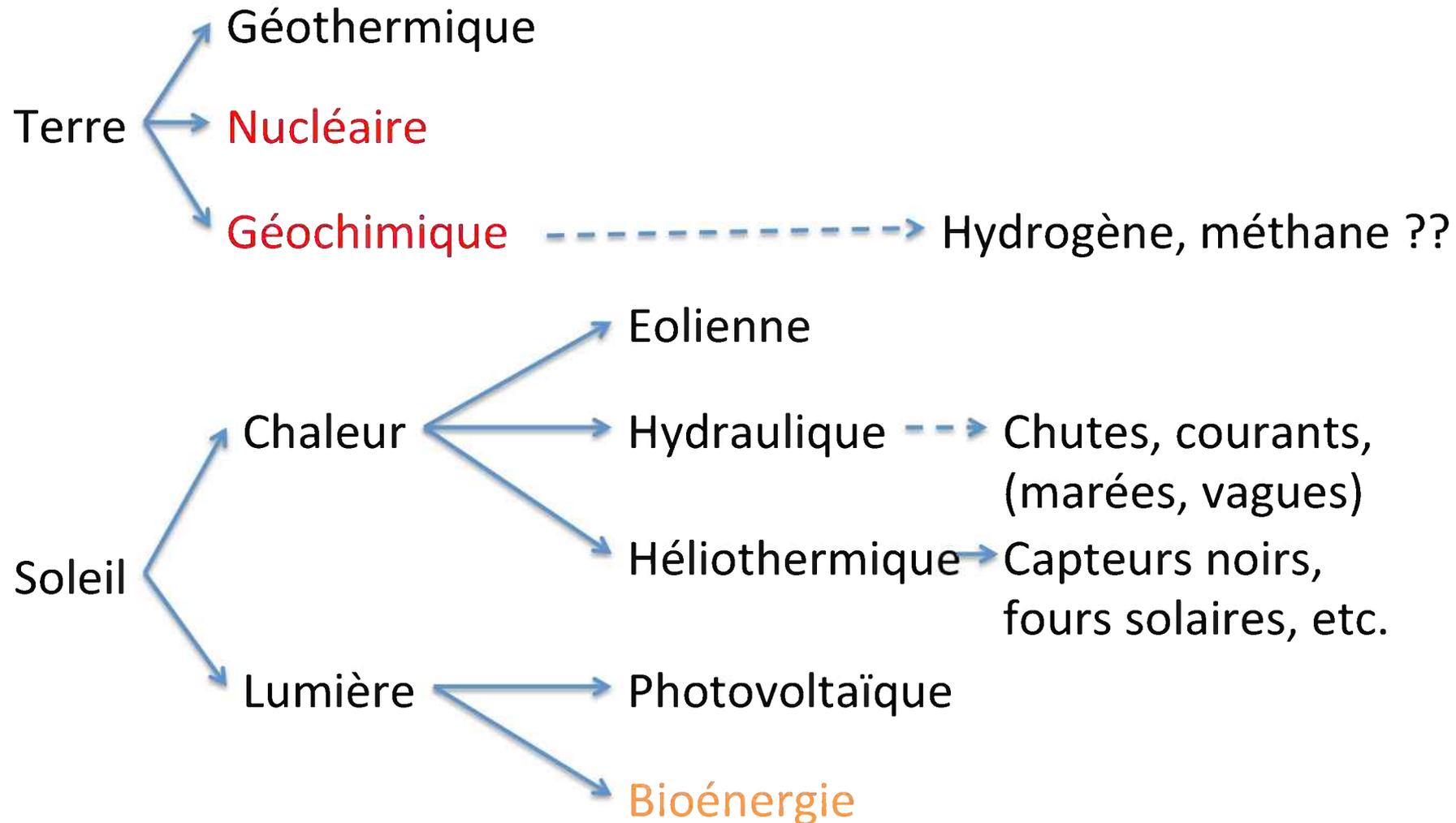
M.F.X. Bichat (1800)



Autre réflexion:

« Le vivant est une matérialisation
de l'énergie »

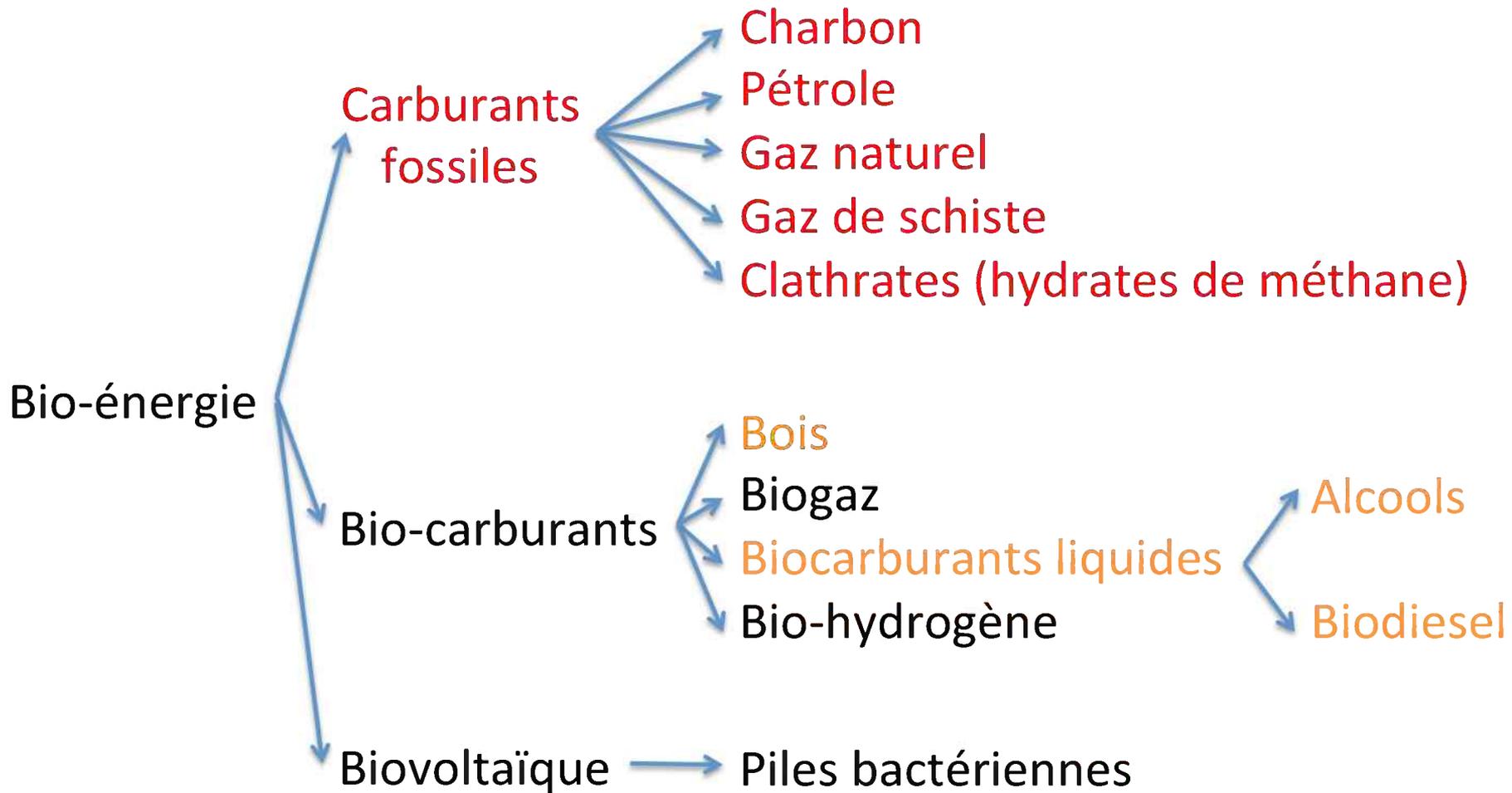
Ressources énergétiques exploitables



Non renouvelable

Selon

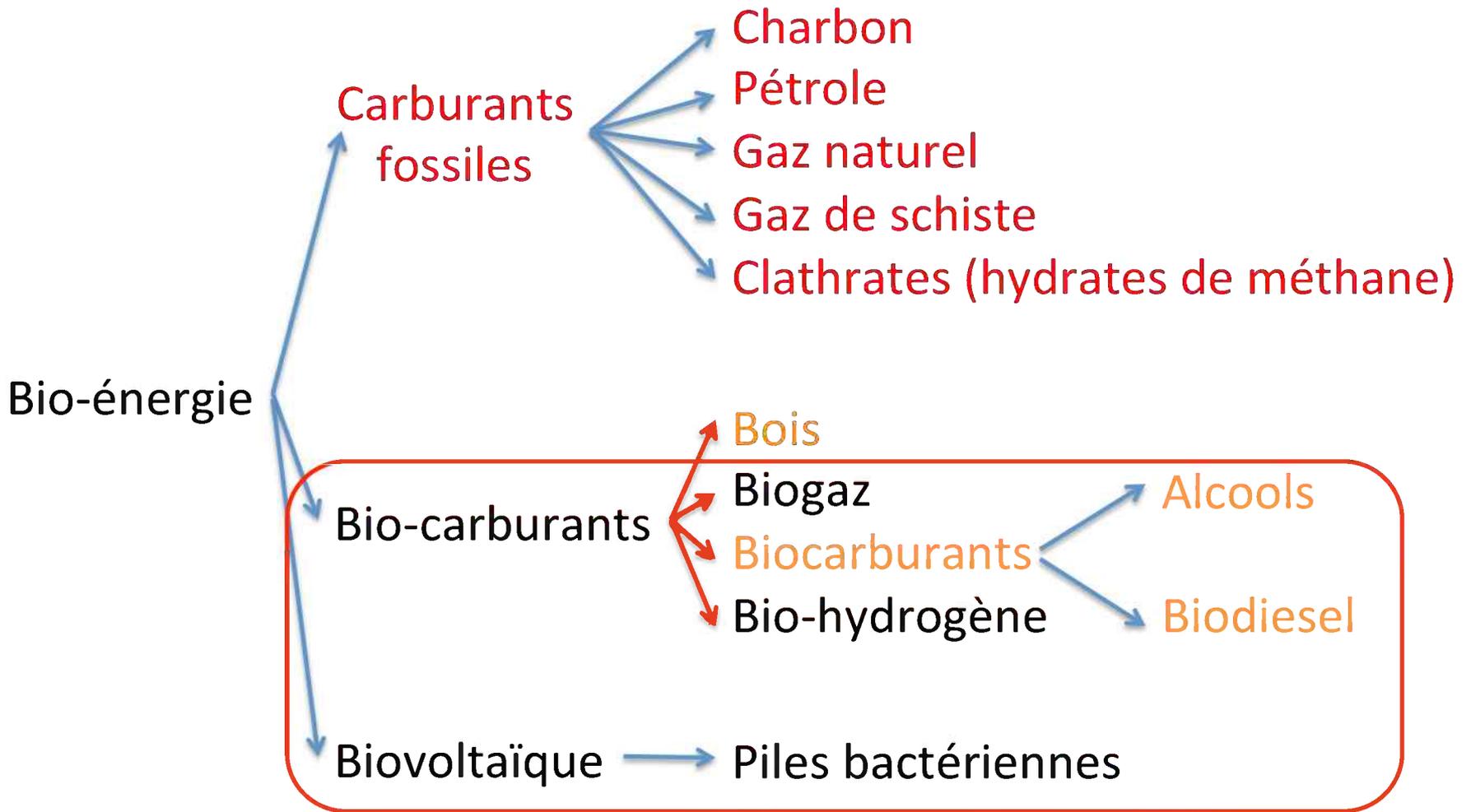
Formes de bio-énergie



Non renouvelable

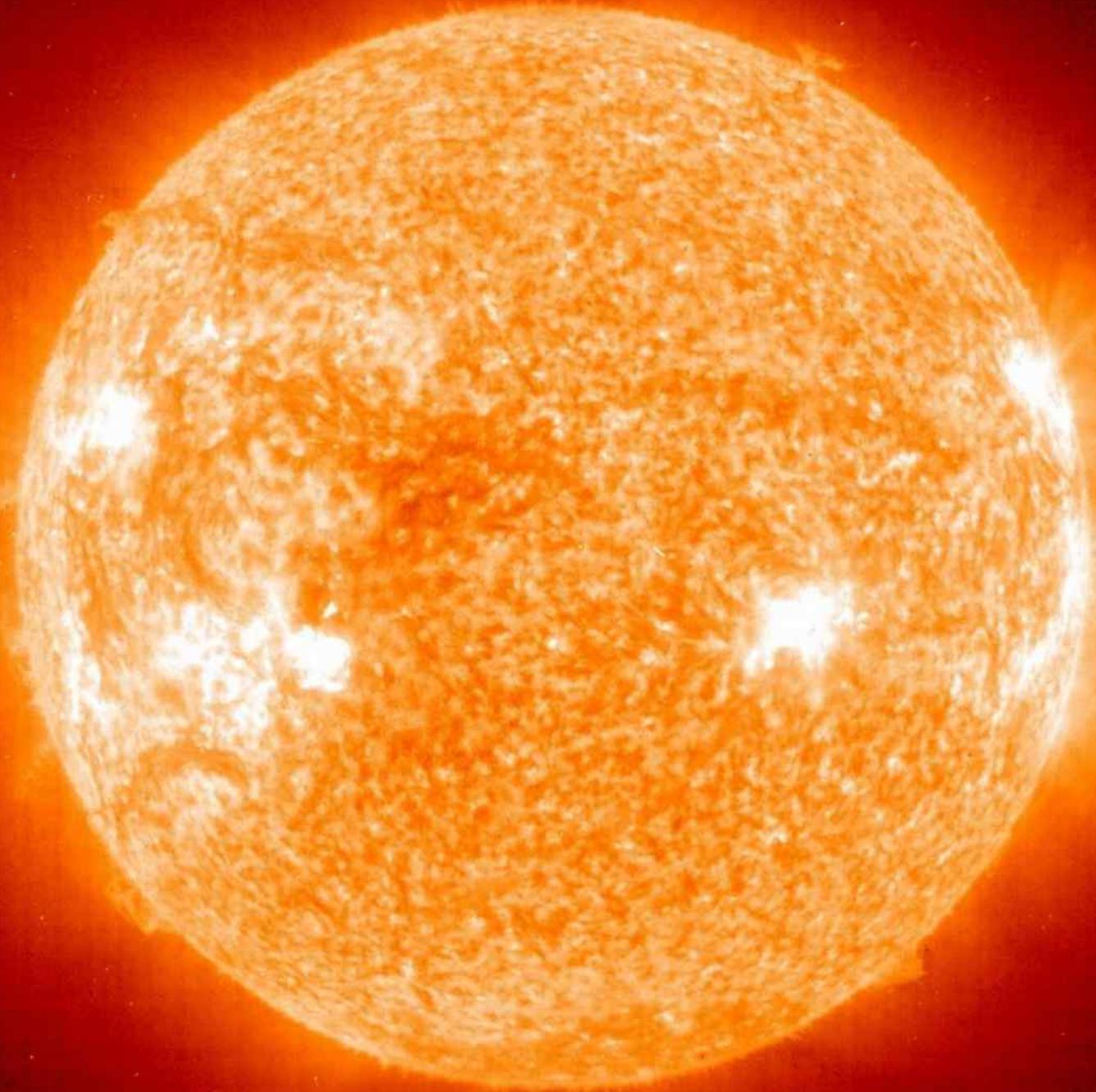
Selon

Formes de bio-énergie



Non renouvelable

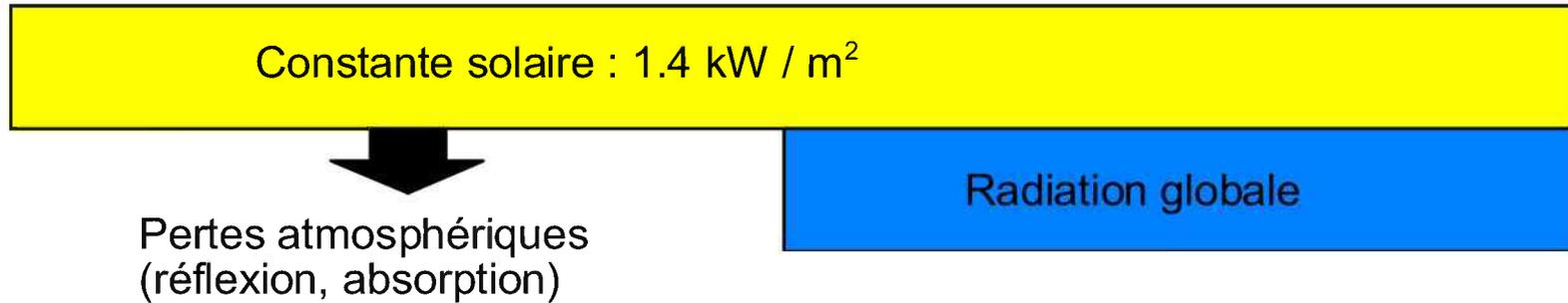
Selon



Internet

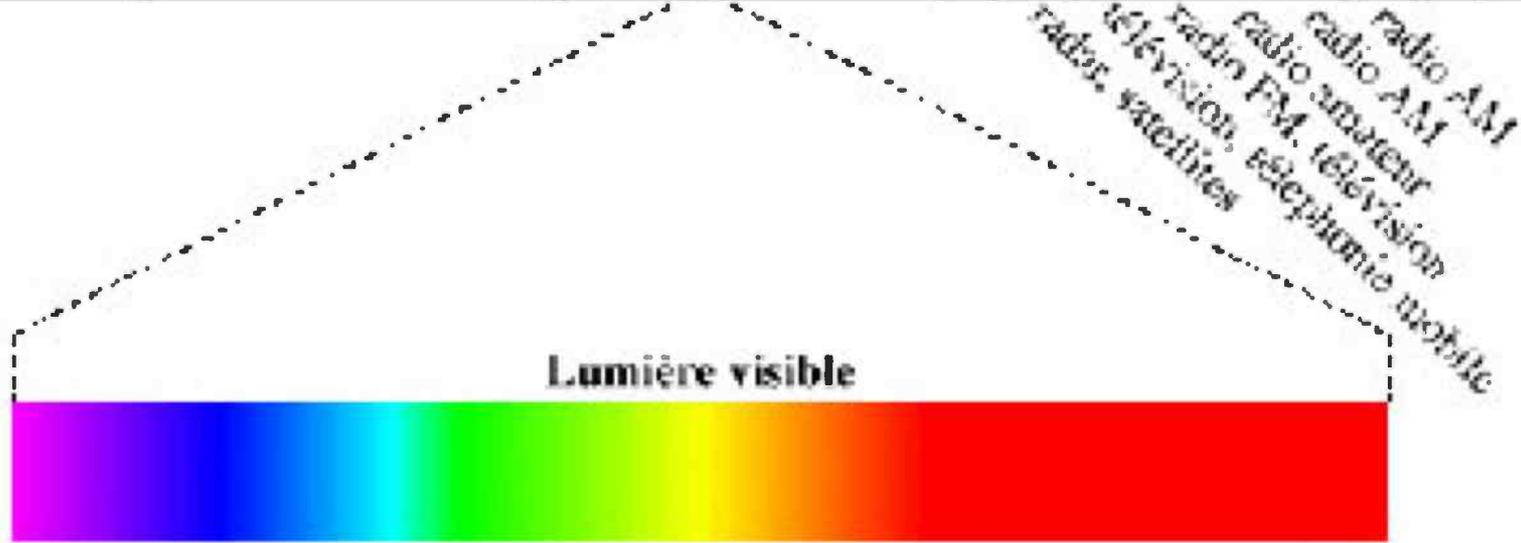
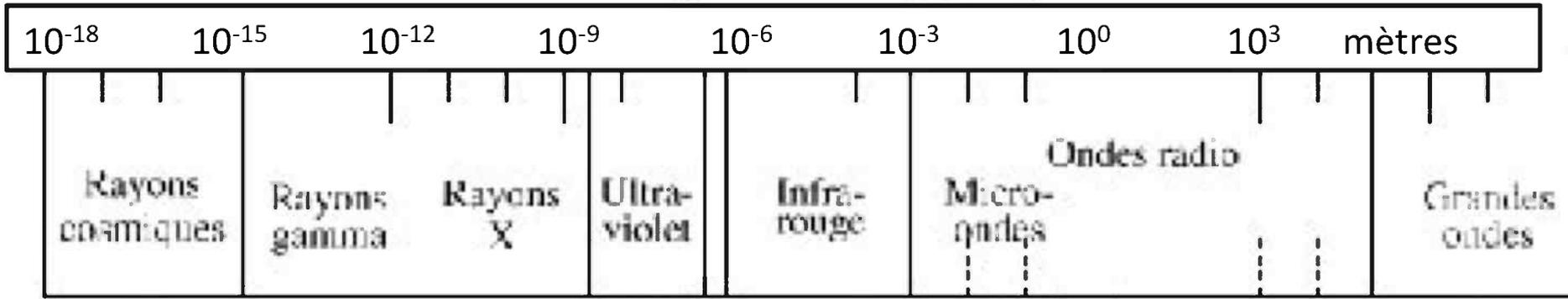
Courtesy of SOHO/EIT consortium. SOHO is a project of international cooperation between ESA and NASA.

Utilisation du rayonnement solaire pour la formation de biomasse



1 nm 1 μ m 1 mm 1 m 1 km

Longueur d'onde λ (en m)



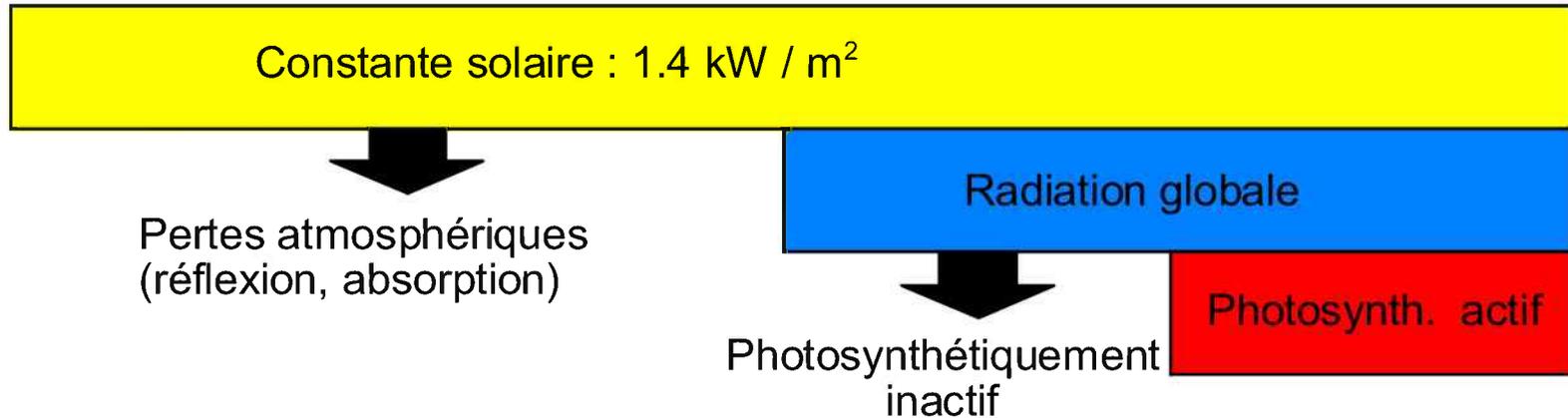
380 nm

780 nm

Le spectre électromagnétique

- Infrarouge: ne fournit pas assez d'énergie (par quantum)
- Ultraviolet: destructeur des macromolécules complexes (ARN, ADN, protéines)
- Moralité: la nature est bien faite !

Utilisation du rayonnement solaire pour la formation de biomasse

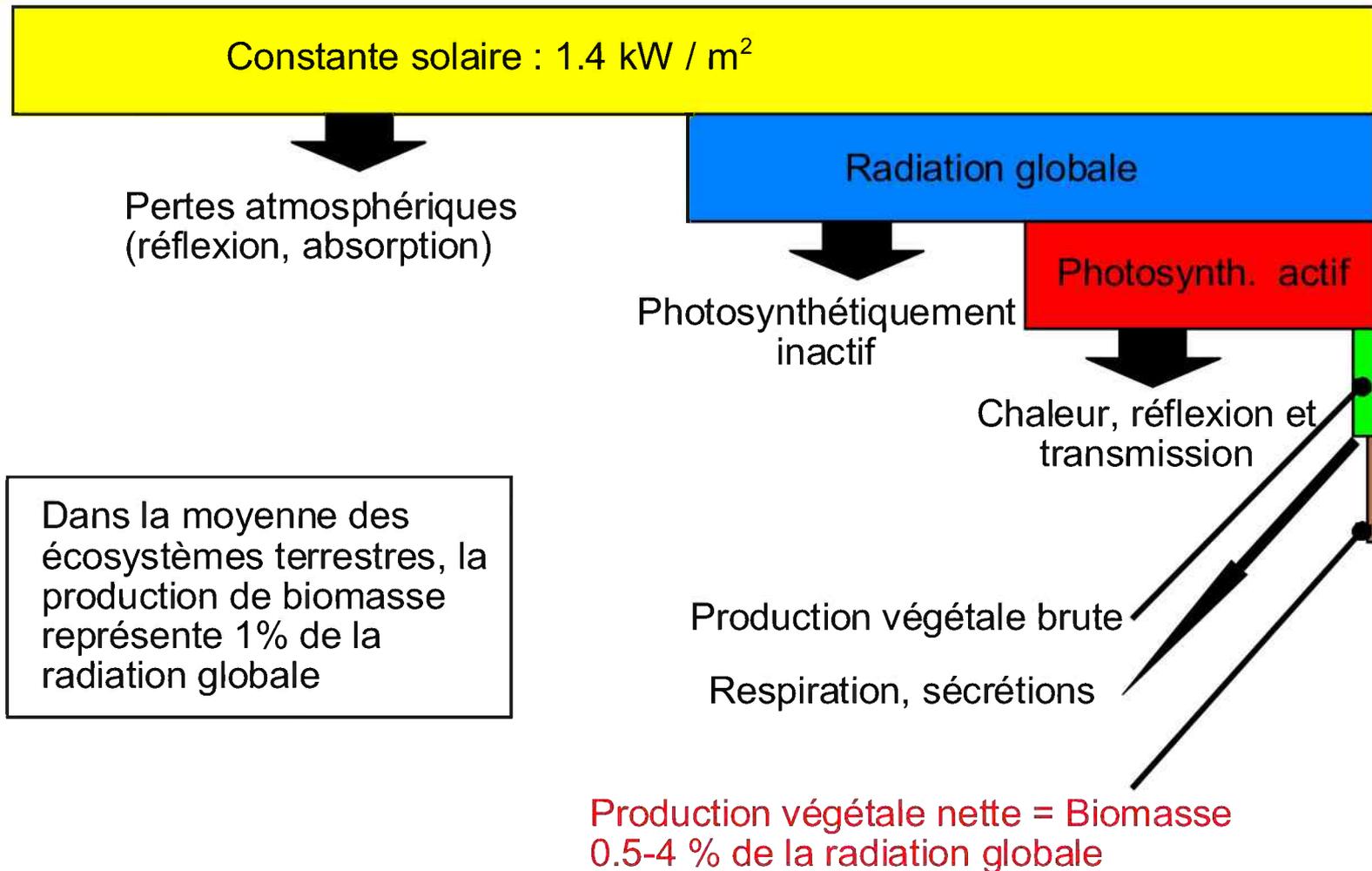


Canopée (forêt amazonienne)

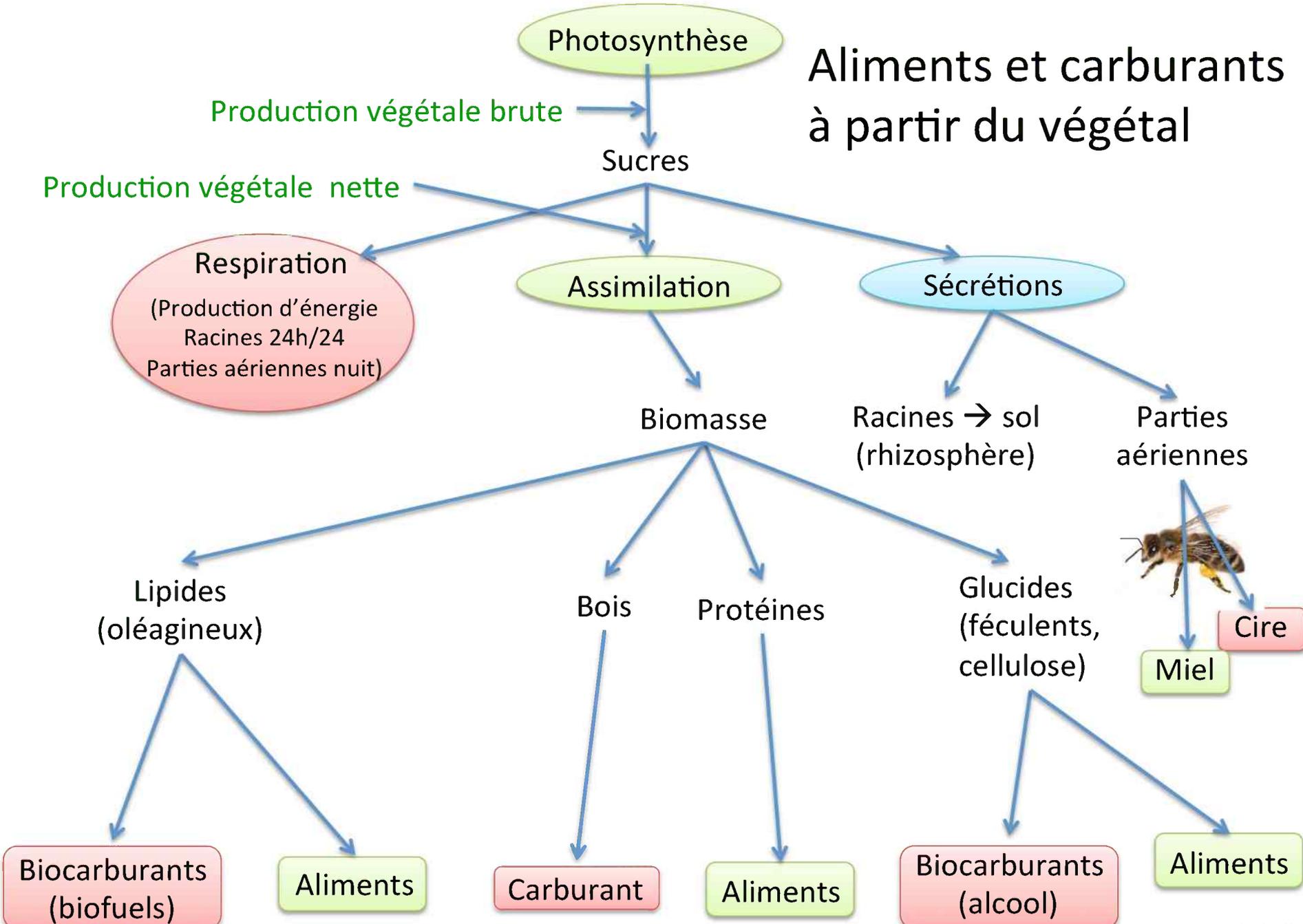
Biocapteurs photovoltaïques existant depuis plusieurs centaines de millions d'années !



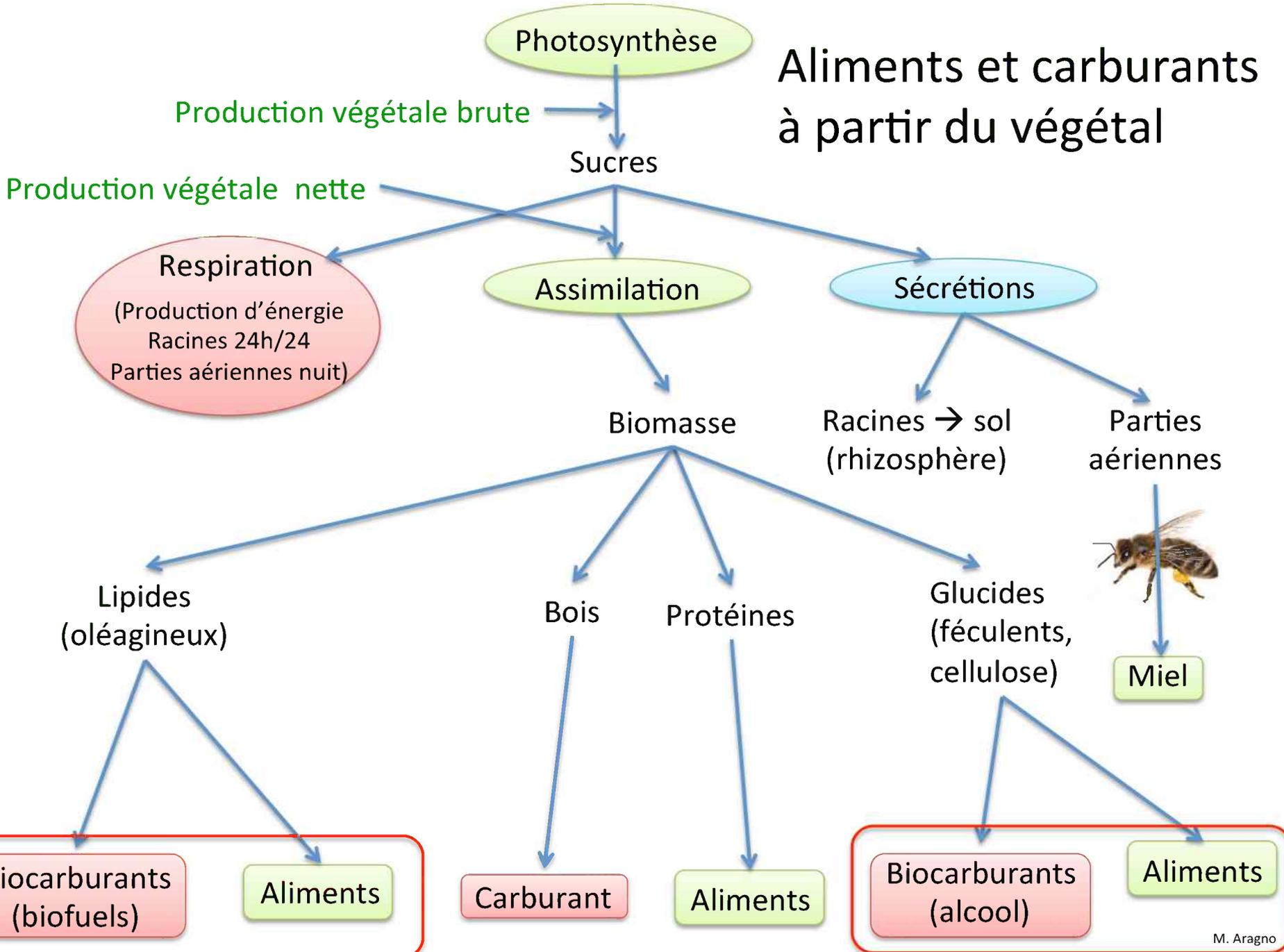
Utilisation du rayonnement solaire pour la formation de biomasse



Aliments et carburants à partir du végétal



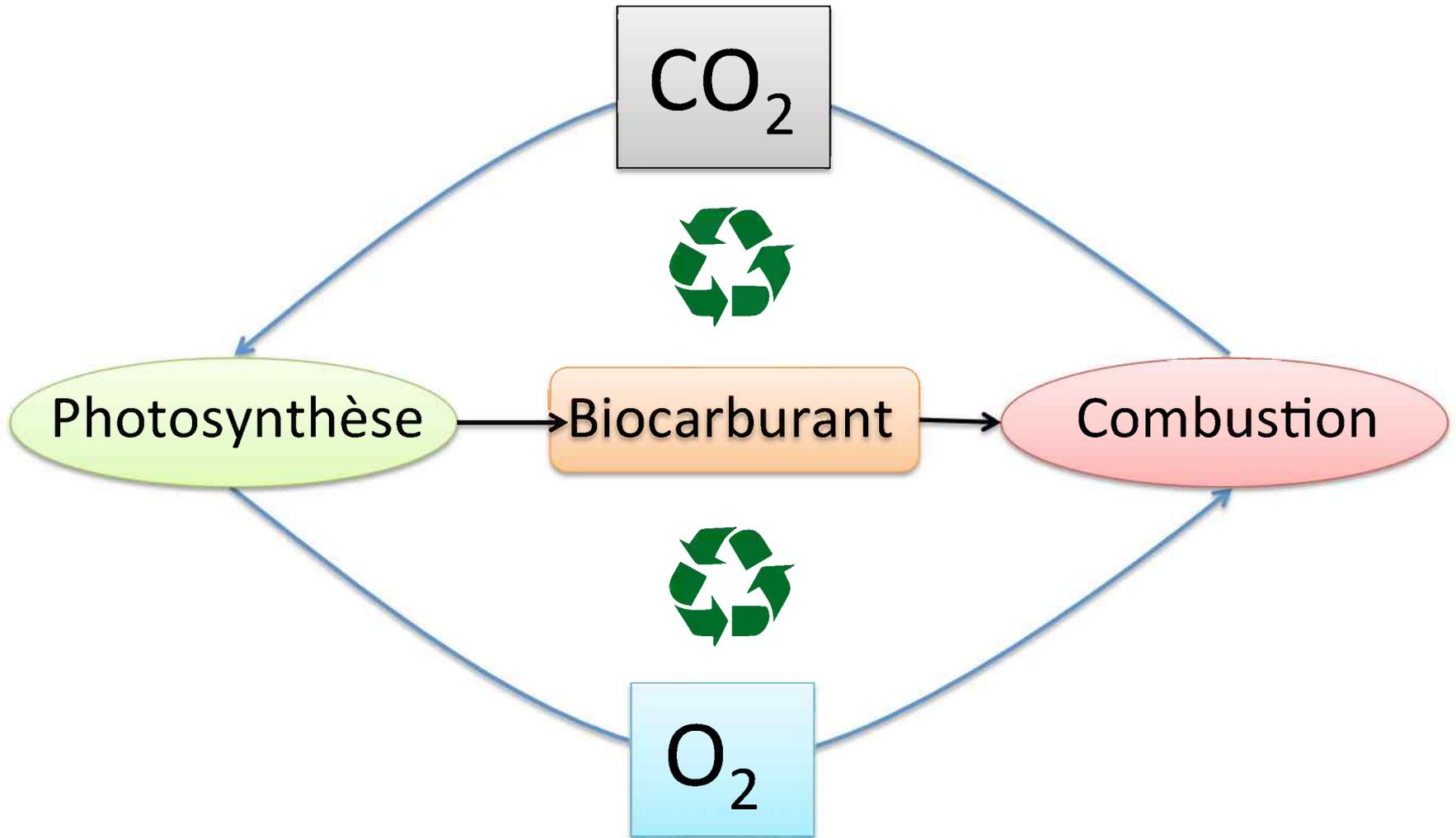
Aliments et carburants à partir du végétal





Rendement des capteurs photovoltaïques:
20 – 25 % de la radiation globale
5-20 fois plus que la production végétale

Pourquoi des biocarburants ?



→ Gestion cyclique du carbone et de l'oxygène:
pas d'accumulation nette du CO_2 dans l'atmosphère

Base de réflexion:

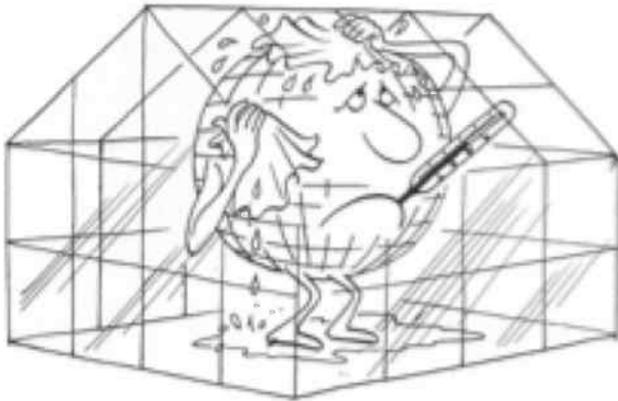
**Une gestion durable de
l'environnement**

Gestion durable de l'environnement

- Climat (CO₂ atmosphérique)

Bouleversement climatique par l'homme

Notre planète piégée par l'effet de serre du gaz carbonique



Commission nationale suisse pour l'UNESCO
Société helvétique des sciences naturelles

Brochure publiée en 1983





Effets du cyclone du 13 mars 2015 à Vanuatu

Gestion durable

- Climat (CO₂ atmosphérique)
- Sols
 - Surexploitation (agriculture intensive) → épuisement
 - Déboisement → érosion



Gestion durable

- Climat (CO₂ atmosphérique)
- Sols
- **Alimentation (quantité et qualité)**



Gestion durable

- Climat (CO₂ atmosphérique)
- Sols
- Alimentation (quantité et qualité)
- **Biodiversité**



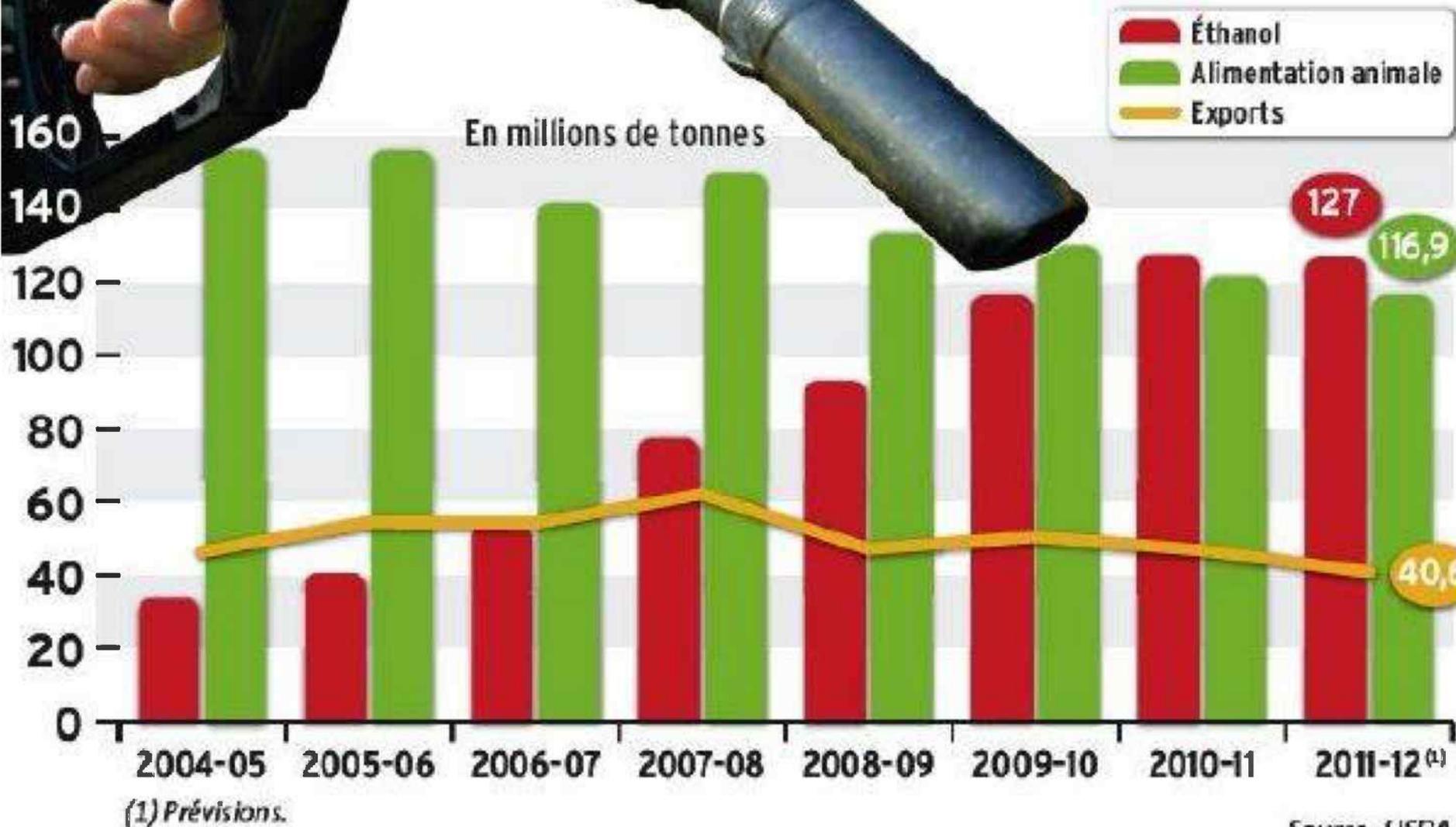
La gestion durable de notre environnement nécessite une vision **globale** et à **long terme**

Une classification (parmi d'autres) des systèmes d'exploitation de bio-énergie

- **Première génération:** cultures exclusivement dédiées à la production de biocarburants, souvent en lieu et place d'aliments ou suite à un déboisement



UTILISATIONS DU MAÏS AMÉRICAIN



Le maïs exige un **apport massif d'engrais**; sa culture entraîne **l'épuisement des sols** et la contamination des **eaux souterraines**

Une classification (parmi d'autres) des systèmes d'exploitation de bio-énergie

- **Seconde génération:** à partir des **déchets**
 - de cultures destinées à l'alimentation
 - de l'agriculture et de l'élevage
 - de l'industrie agroalimentaire
 - de la distribution
 - de la foresterie
 - ménagers, y.c. eaux usées



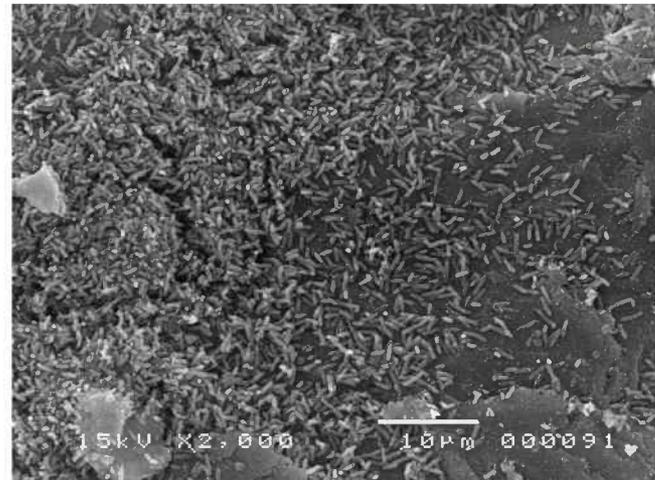
Une classification (parmi d'autres) des systèmes d'exploitation de bio-énergie

- **Troisième génération**, à partir de cultures en bassins de microalgues ou de cyanobactéries à haute efficacité de photosynthèse
 - Biocarburants organiques
 - Hydrogène





Les procédés

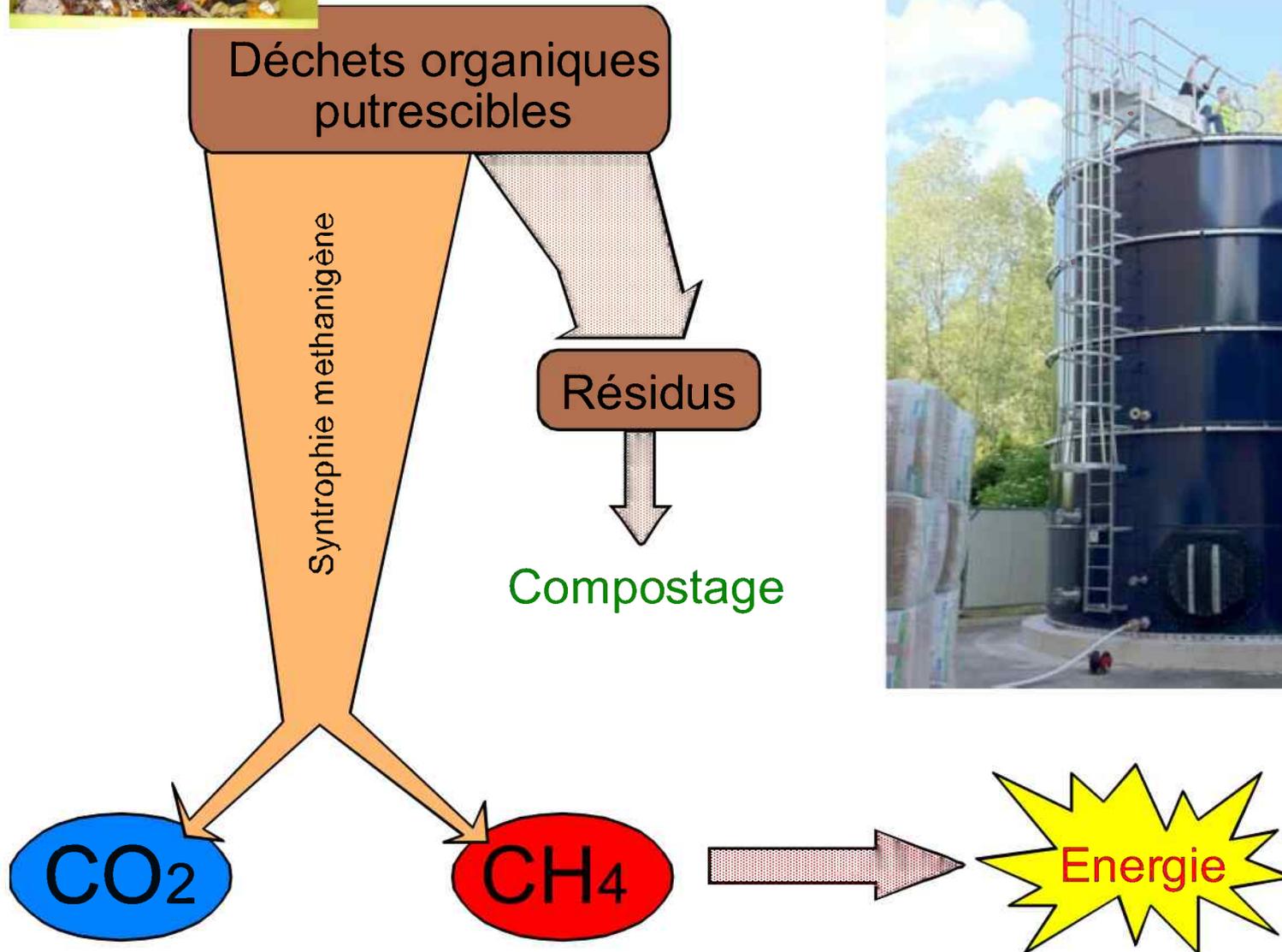


La biométhanisation ou digestion anaérobie

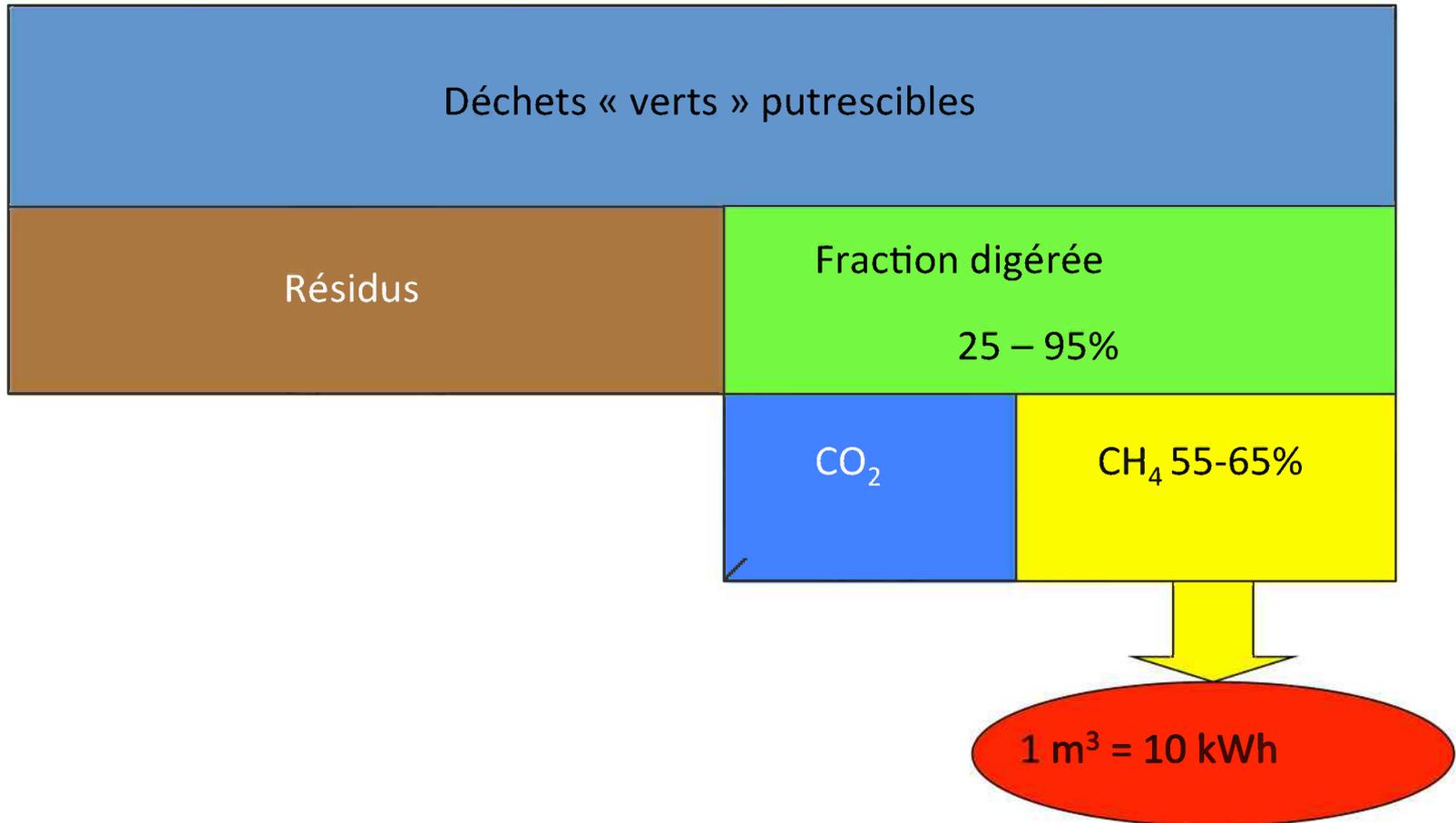
Conversion d'un mélange de
matières organiques putrescibles en
un gaz combustible, le biogaz



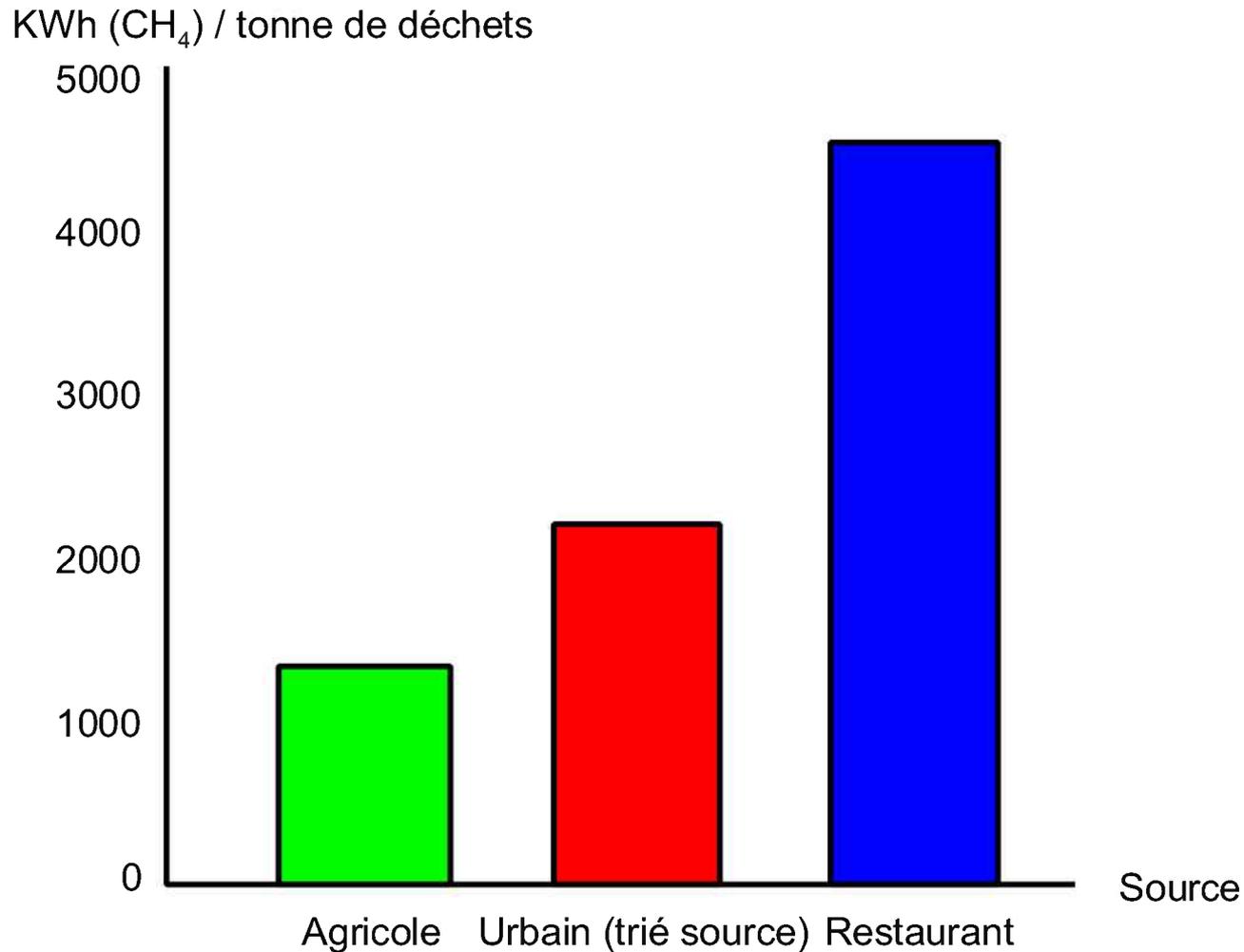
La biométhanisation (biogaz)



Caractéristiques de la biométhanisation des déchets « verts » putrescibles



Rendement de la méthanisation de différents types de déchets (par tonne de matière sèche)

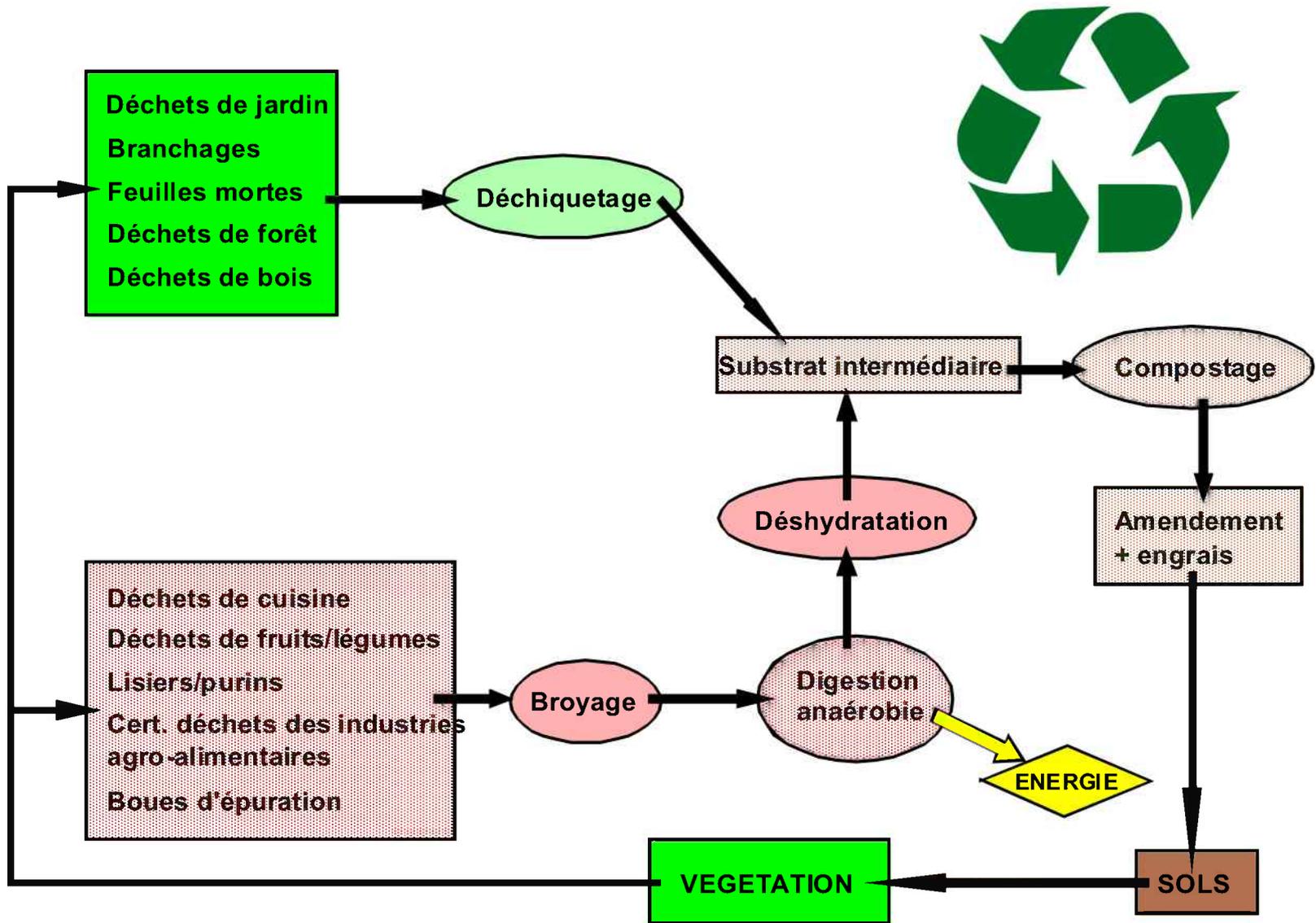


Déchets de cuisine (hôpital d'Yverdon)



Avantages du méthane (biogaz):

- Stockable (énergie de pointe)
- Non toxique, non polluant (si bien contrôlé)
- Usages divers (électricité, chauffage, cuisson...)
- Transportable à distance ou injection dans un réseau
- Production à différentes échelles
- Gestion cyclique des résidus de la digestion anaérobie: recyclage des matières humigènes (compost) et des bioéléments fertilisants (engrais)



Principe d'une gestion cyclique intégrée des déchets organiques

Problèmes posés par la méthanisation

- Technologie assez sophistiquée: digesteurs, contrôle de la température et des paramètres de la digestion (pH, azote, acides volatils)
- La composition du substrat est critique (teneur en eau, C/N, teneur en composés aromatiques)
- Demande un suivi quotidien

Perspectives de production (déchets ménagers triés)

Prod. de déchets par habitant en Suisse: 500 kg/an

Déchets biomasse récupérés: 150 kg/an.habitant

Fraction méthanisée: 45% = 67.5 kg/an.habitant

Production par habitant et par an (approx.):

30 m³ de méthane → 300 kWh →

30 litres de mazout



Intérêt économique de la biométhanisation



La Cerise sur le Gâteau



Elimination d'un déchet polluant, à valeur négative



Production d'un fertilisant pour l'agriculture, à valeur positive



Production d'énergie (biogaz)

Seconde génération, en Inde: digestion anaérobie à la ferme







Le projet européen



En Europe, les restaurants, cantines, marchés, élevages terrestres et aquatiques, cultures maraîchères, industries agroalimentaires, ainsi que la distribution produisent annuellement quelques 240 millions de tonnes (poids humide) de déchets organiques, correspondant à env. 60 millions de tonnes de matière organique sèche.

Ces déchets ont, pour la plupart, un haut potentiel de conversion en biogaz par digestion anaérobie. Approximativement, on pourrait ainsi obtenir théoriquement 20 milliards de m³ / an de méthane, l'équivalent de 20 millions de tonnes / an de pétrole.

Union européenne: 500 millions d'habitants... 40 litres de pétrole par habitant.

Problèmes:

- Le stockage et la manipulation de ces déchets se font généralement dans des conditions hygiéniquement défavorables et prennent de la place
- Le traitement à distance dans des installations centralisées (décharges, incinération, compostage et digestion anaérobie) implique des coûts élevés de collecte, de transport et de traitement

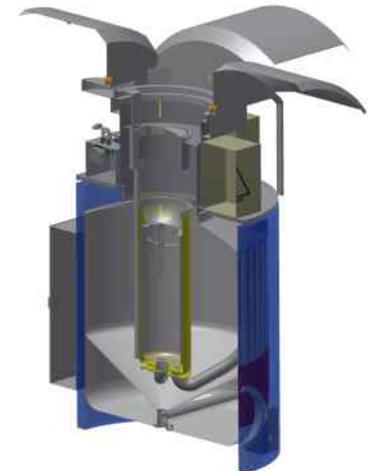
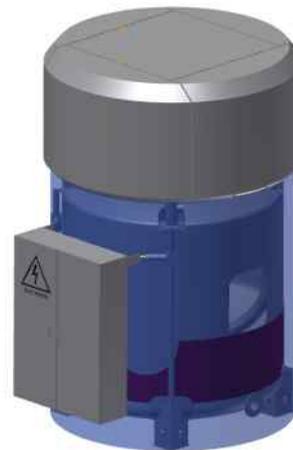


Solutions proposées par ORION:

- Traitement local et valorisation sur le site dans une unité compacte, conteneurisée et isolée
- Réduction des coûts pour l'utilisateur final
- Volume de digesteur petit à moyen (3 à 30 m³)
- Charge organique: 80 – 1000 kg / jour de déchets humides
- Production énergétique: 1.5 – 7.5 m³_{biogaz}/m³_{digesteur}*jour
- Utilisation sur le site du biométhane, production combinée de chaleur (eau chaude) et le cas échéant d'électricité



mahrer@digesto.ch



Du biodiesel (première génération) compatible avec le développement durable ?

Une réflexion sur la situation dans la région de Jodhpur
(Rajasthan, Inde)



Des sols semi-désertiques, peu propices à la culture de céréales



Deux plantes s'y développent bien:



Prosopis juliflora, légumineuse arborescente



Jatropha curcas, plante à biodiesel

Prosopis juliflora



- Légumineuse arborescente originaire d'Amérique latine, introduite en Inde à la fin du XIXe siècle par les Britanniques.
- Produit un bois très dur, bon combustible
- Enracinement très profond, jusqu'à plusieurs dizaines de mètres: épuise les ressources en eau du sous-sol.
- Plante empêchant, dans son environnement la croissance d'autres végétaux (allélopathie).
- Plante invasive, qui recouvre des centaines de milliers de km² en Inde

Pratiquer l'éradication des Prosopis

Une intervention « win-win »



Branchages: déchiquetage et compostage: production d'un amendement (le **compost**) riche en azote (la plante héberge des bactéries fixatrices d'azote)

Troncs: débitage et utilisation comme **combustible** (succédané du charbon !)

Compost:

- Amélioration de la structure des sols (teneur en matière organique)
- Amélioration de la rétention de l'eau et des sels minéraux
- Apport de fertilisants (engrais) → **culture de *Jatropha***

Jatropha curcas



Arbuste de la famille des Euphorbiacées (Brésil)



Broyées et pressées, les graines de *Jatropha* fournissent une huile qui peut être utilisée dans les moteurs diesel (biodiesel)



TERI: The Energy and Resources Institute (New Dehi): une ONG active dans la recherche et le développement dans une approche interdisciplinaire des questions environnementales

UFAR: Umaid Foundation, créée par le Maharadjah de Jodhpur, et qui anime la ferme expérimentale de Sardarsamand

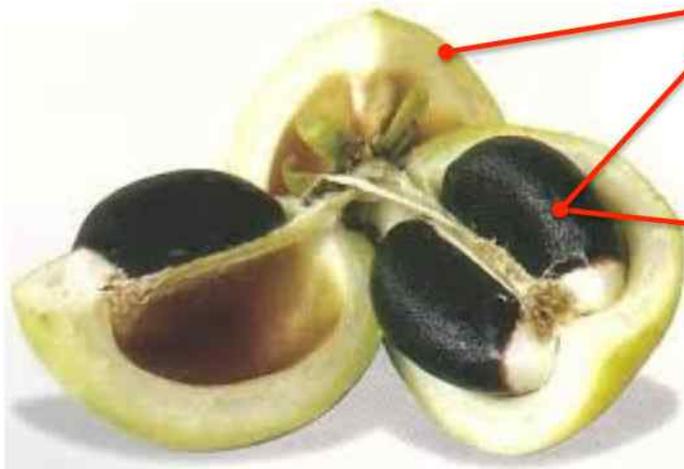
Dans le Jatropha, tout est bon !



Compost



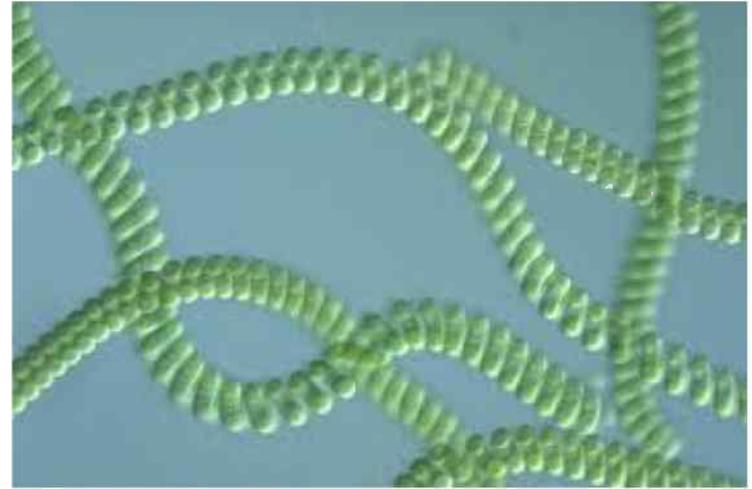
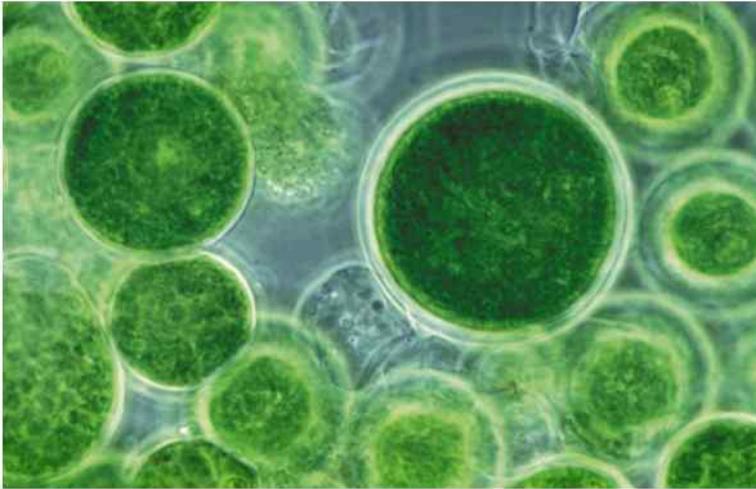
Biogaz



Biodiesel

→ Win – win !

Troisième génération: cultures d'algues et de cyanobactéries



Intérêt des algues et/ou des cyanobactéries pour une production bioénergétique:

- Peuvent être cultivées dans des **régions impropres au cultures sur sol**
- Peuvent donner des **rendements supérieurs** à ceux obtenus par la culture des plantes
- Les Cyanobactéries possèdent des pigments d'antenne absorbant la lumière dans les zones du spectre non couvertes par ceux des végétaux (vert et jaune): les phycobilines

Modes d'utilisation des algues / cyanobactéries pour une production énergétique

- Récolte de la biomasse totale des cellules, et utilisation comme substrat en digestion anaérobie → biogaz
- Extraction de carburants de la biomasse des cellules
- Sécrétion de biocarburants (alcools ou succédanés de pétrole) par les cellules vivantes, et séparation

Applications industrielles



Exemple: Sapphire Energy (New Mexico, USA):

- Production de « Green Crude », biopétrole extrait de la biomasse
- Prévoient une production, en 2018, de 5000 barils/jour, soit $800 \text{ m}^3/\text{j}$, à coût compétitif par rapport au brut.

Recherches de pointe



Xinyao Liu, Roy Curtiss et collaborateurs (2011): production d'un *Synechocystis* (Cyanobactérie) par modification génétique, dont les cellules vivantes sont capables de sécréter en continu un succédané de pétrole, avec un rendement très élevé. Ce produit se sépare spontanément de la phase aqueuse.

"In China, we have a saying," Liu said. "We don't kill the hen to get the eggs."

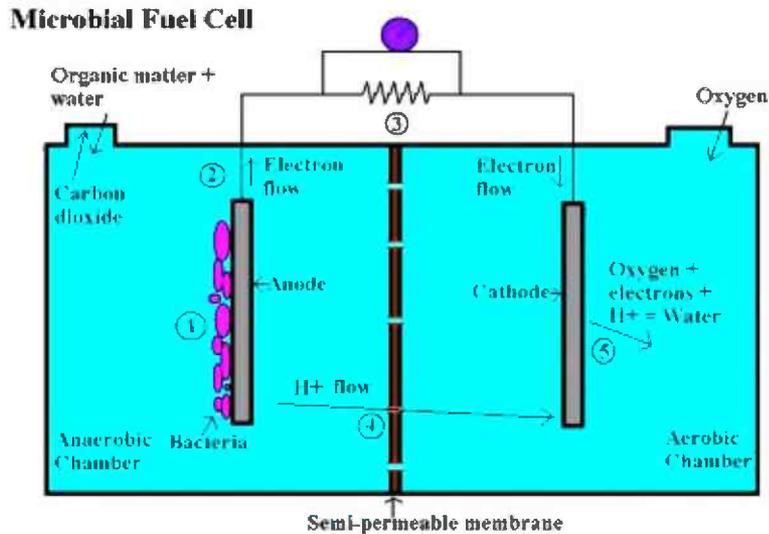




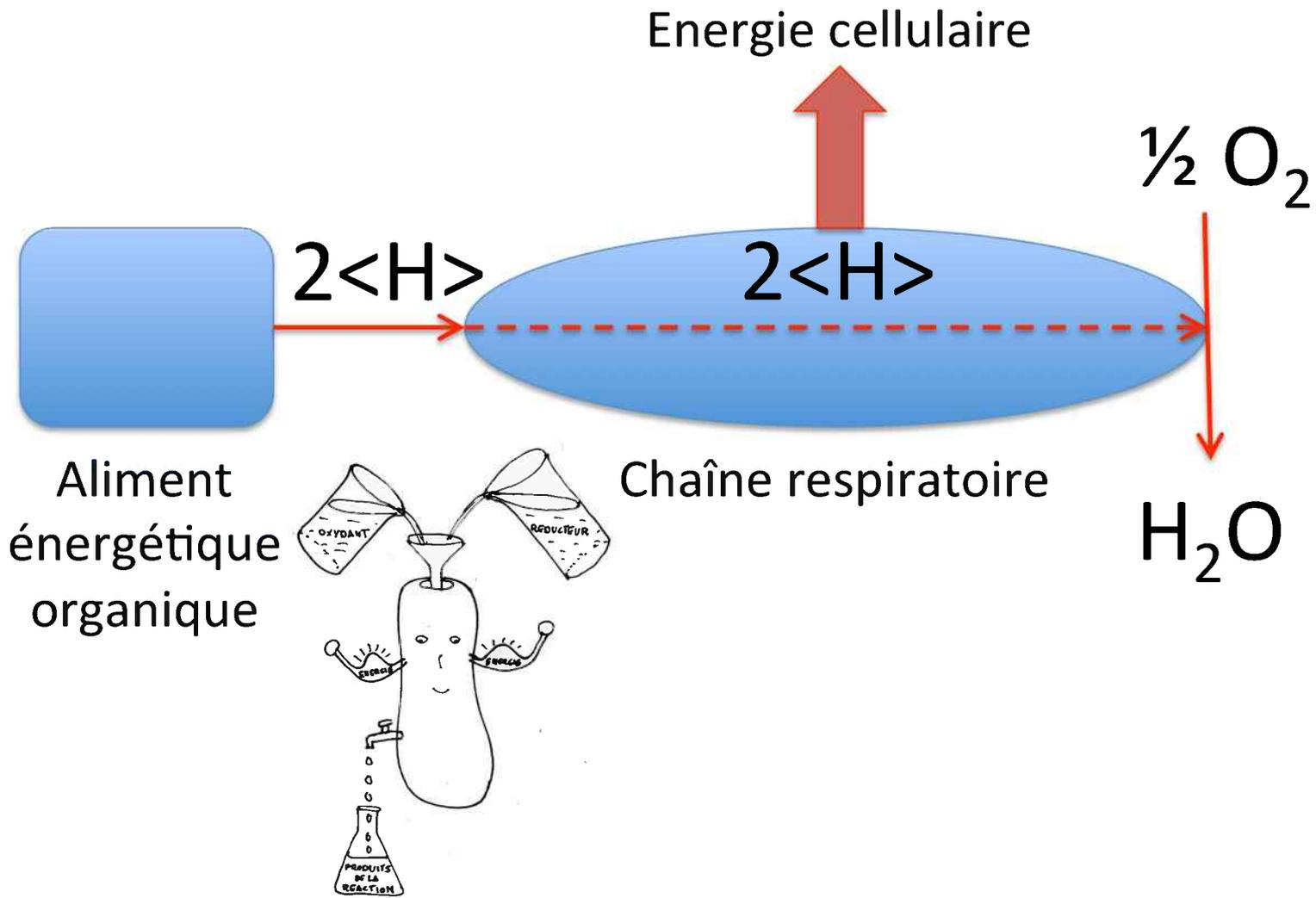
Une quatrième génération ?

Les piles   combustible bactériennes
(cellules bio-voltaiques)

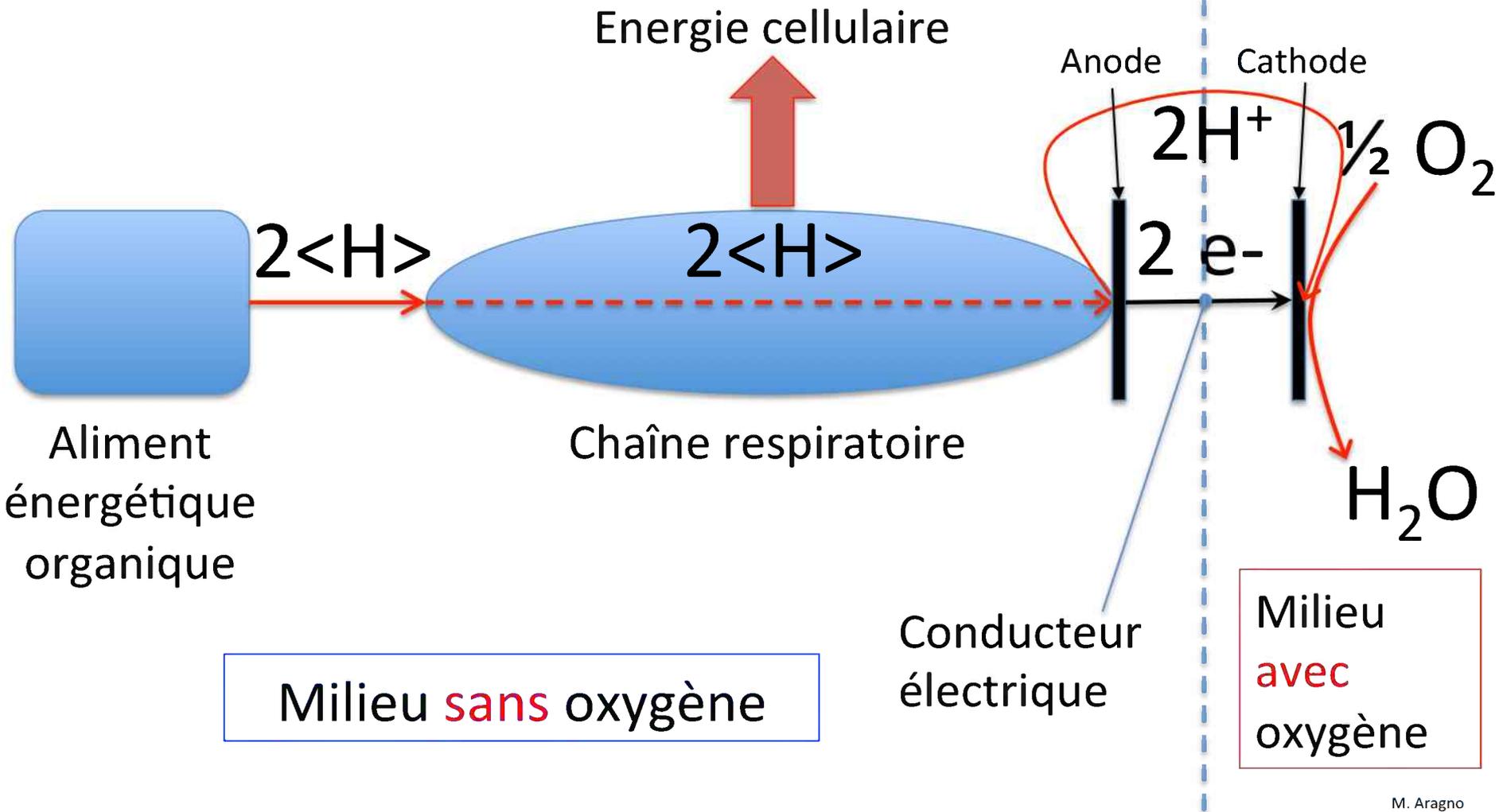
Greg



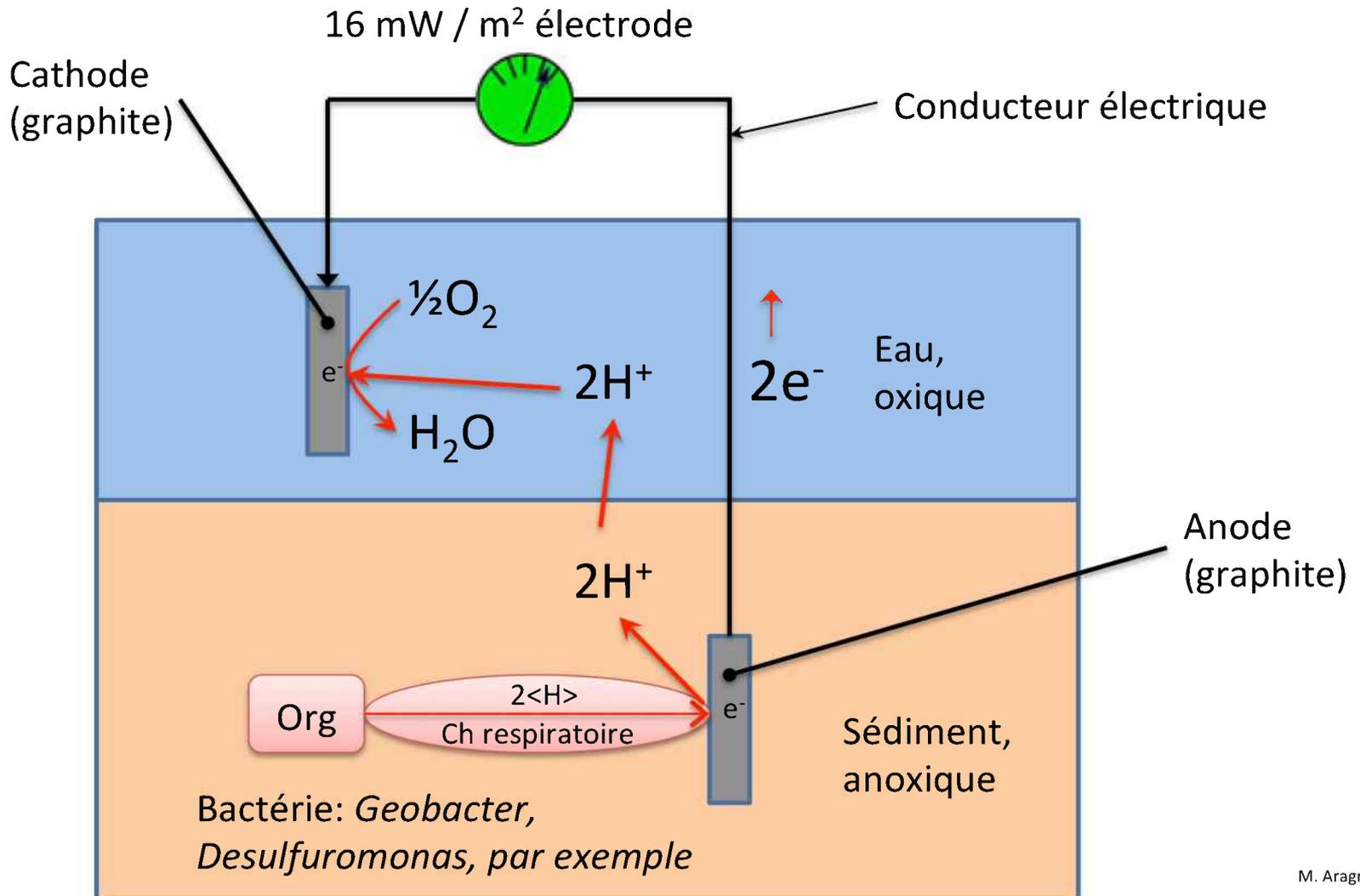
Principe (très schématisé !) de la respiration aérobie (animaux, plantes, champignons, certaines bactéries)



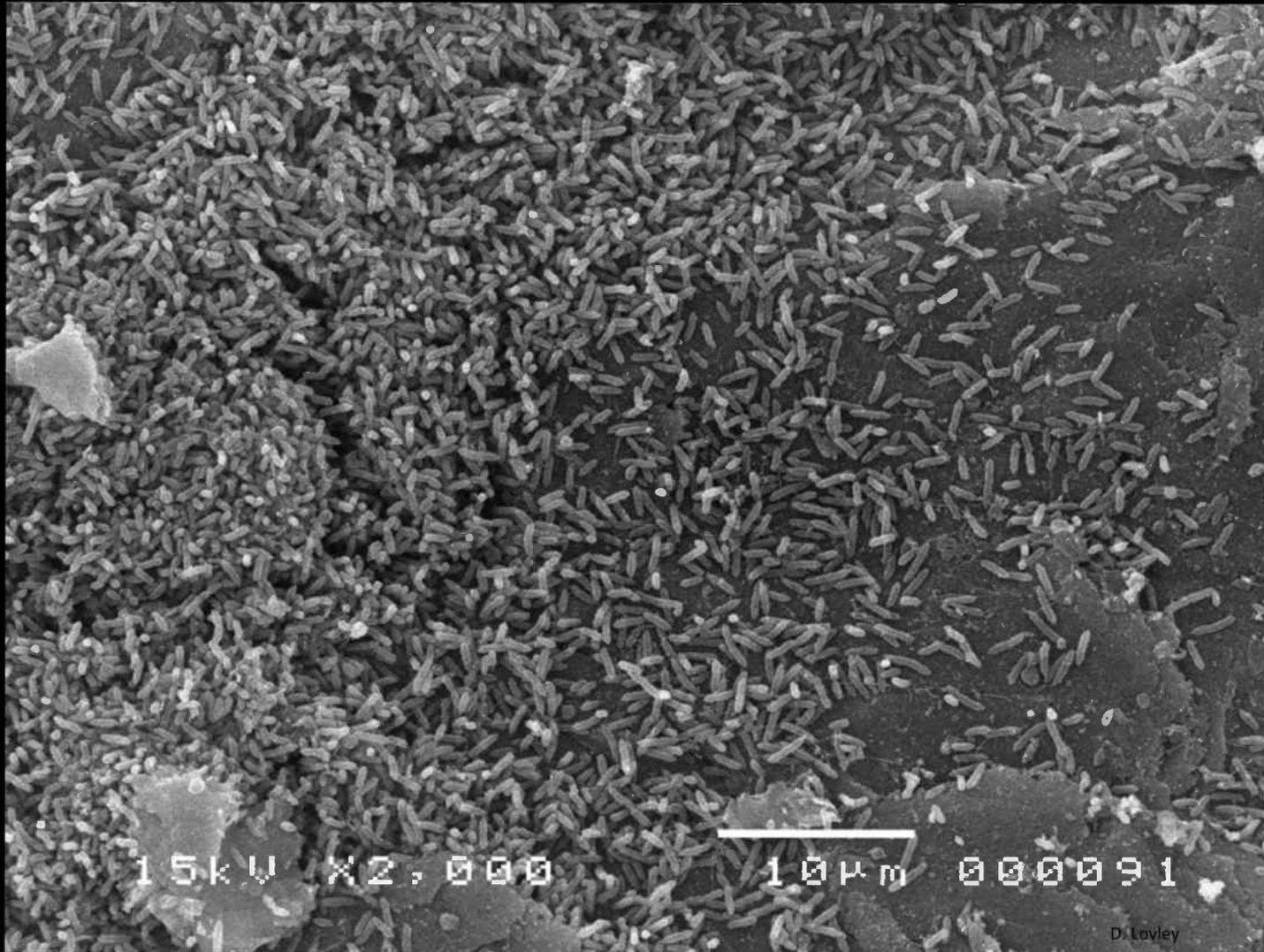
Au lieu de transférer les électrons directement à l'oxygène, certaines bactéries sont capables, en absence d'oxygène, de les transférer à une électrode (anode) reliée à une autre électrode (cathode) plongée, elle, dans un milieu oxygéné. Il s'établit alors un courant électrique entre les deux électrodes



Génération de courant électrique (biopile bactérienne) dans un écosystème aquatique: eau riche en oxygène, et sédiment sans oxygène, mais riche en matières organiques



Tapis de cellules *Geobacter spp.* colonisant une électrode de graphite

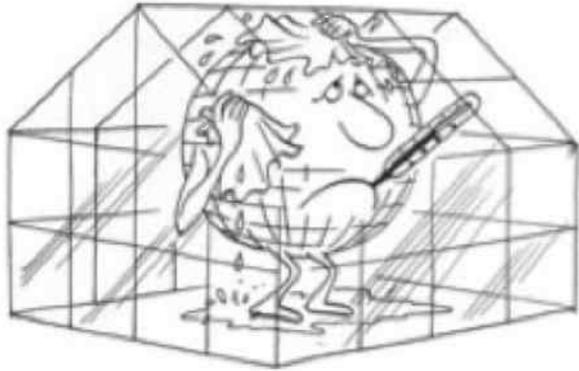


Conclusions 1

- A confronter aux besoins énergétiques de l'humanité, les bio-énergies ne représentent qu'un **marché de niche**.
- Toutefois, dans la perspective de l'**abandon**, à terme, tout à la fois des énergies **fossiles** et de celles liées à la **fission nucléaire**, même les « niches » ne doivent pas être négligées.
- A l'exemple du biogaz, la digestion anaérobie inclut des aspects (élimination de déchets, production d'amendements) dont l'importance économique dépasse celle de la production d'énergie
- Selon les cas, les bioénergies peuvent être liées à des **applications locales**, à l'exemple du « biodiesel » dans les régions pauvres et semi-désertiques.

Conclusions 2

Le choix d'une production bioénergétique doit se situer dans une approche globale, intégrant entre autres:



Le climat



La protection et la fertilité des sols



L'alimentation (quantité et qualité)



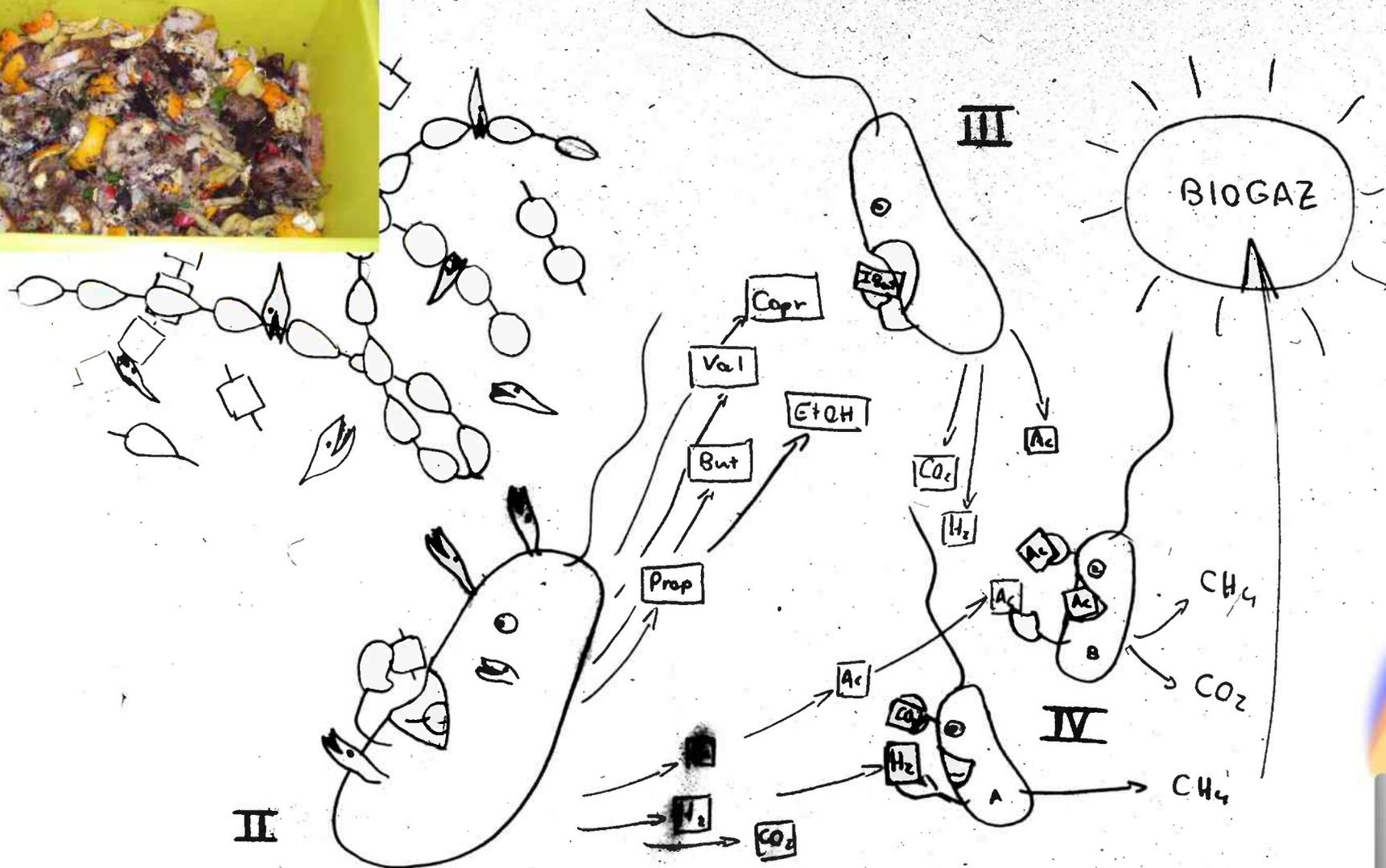
La biodiversité

Conclusions 3

Le choix d'une production bioénergétique doit tenir compte des **impératifs économiques**.



Mais l'évaluation économique doit se faire sur la **globalité du processus** et de ses ramifications collatérales, et pas seulement sur l'aspect énergétique



Merci de votre attention !

