



JE 13 FÉV. 20

# Transition énergétique et biocarburants

DU CHAMP À LA ROUE : OÙ TROUVERONS-NOUS  
L'ÉNERGIE DE NOUS DÉPLACER DEMAIN ?

PUBLICS SCOLAIRES • ENTRÉE GRATUITE • INSCRIPTION OBLIGATOIRE

LEDOME.INFO

LE  
**DŌME**



**Laboratoire Catalyse  
et Spectrochimie**



**ENSI  
CAEN**



Credits: CH\_123 (Pisabay)

# QUIZZ!

**Combien de litres consomme un bus pour venir de Vire (à 60km) sachant qu'il consomme environ 60 litres pour 100km parcourus (un bus de 65 places) ?**

- A. 66 litres**
- B. 26 litres**
- C. 36 litres**
- D. 72 litres**

# ARNAUD TRAVERT

Enseignant-Chercheur (Professeur, Université de Caen)

Recherches fondamentales sur la « catalyse hétérogène »

## Déclaration d'intérêts:

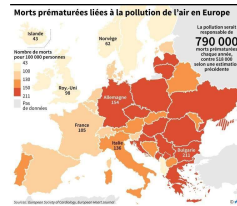
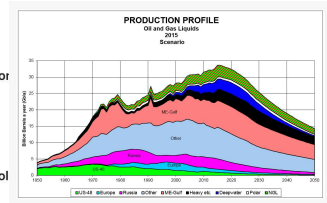
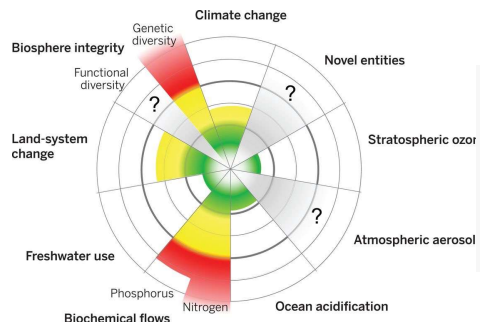
- Relations avec l'industrie: du puit à la roue !



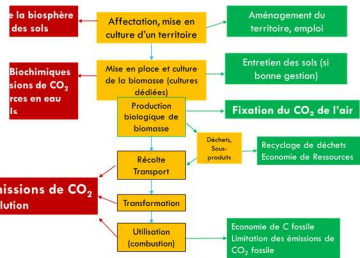
- Pas de relation avec le monde agricole ou l'industrie agro-alimentaire
- Déplacement quotidien en vélo, voyages pro en train/avion...



# PLANTONS LE DÉCOR...

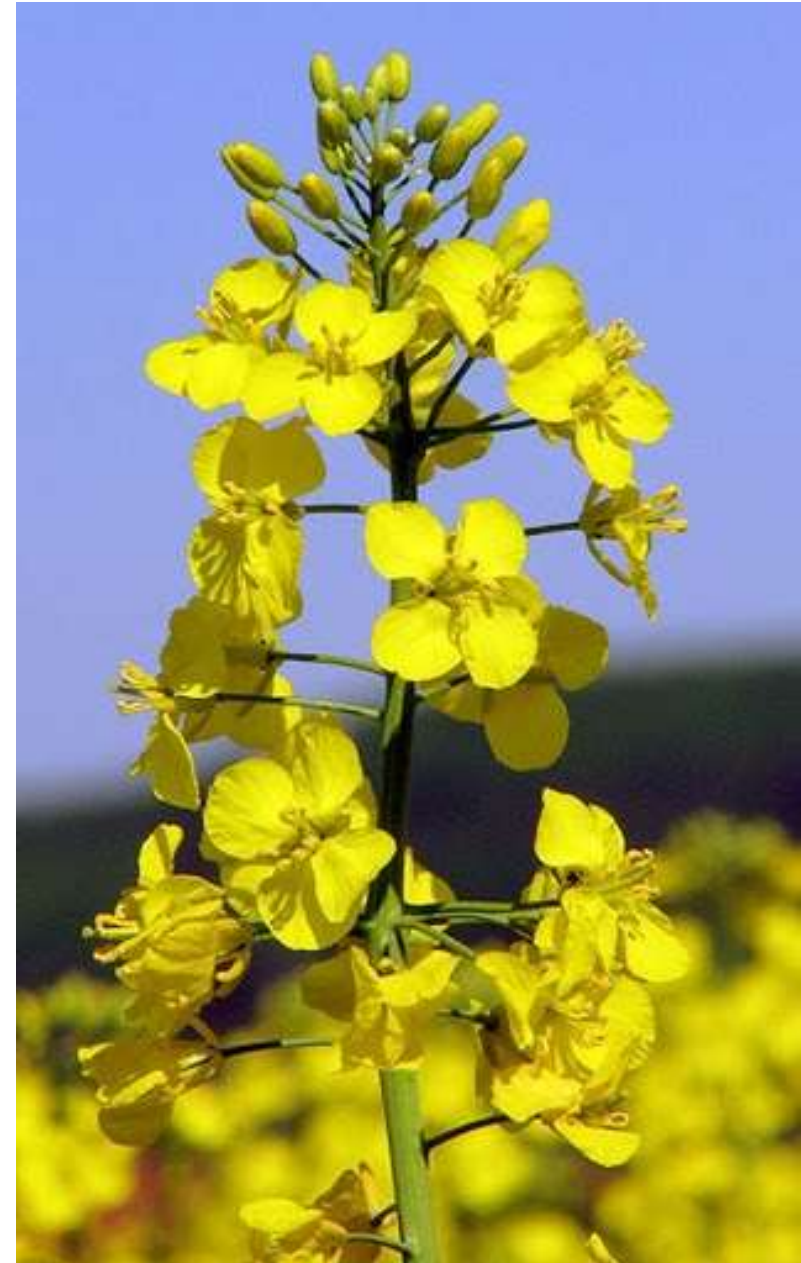
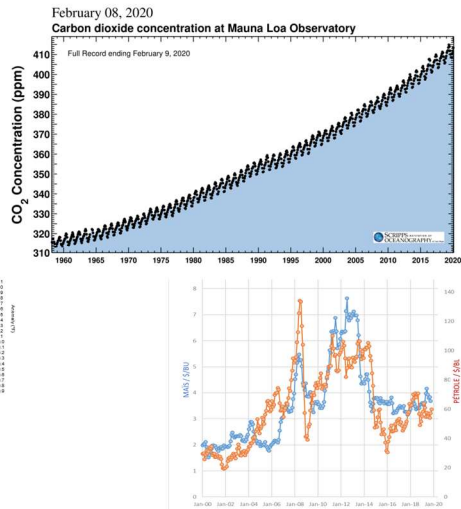
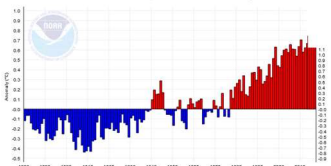
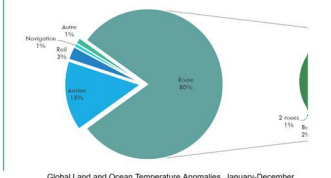


Evolution des concentrations de différents polluants en France métropolitaine



Adapté de l'ADEME

■ Beyond zone of uncertainty (high risk)
 ■ Below boundary (safe)
 ■ In zone of uncertainty (increasing risk)
  Boundary





# QUIZZ!

**Le principal problème d'environnement lié à l'utilisation du pétrole à l'échelle mondiale, c'est :**

# ÉNERGIE, TRANSPORTS, IMPACTS: LES GRANDS CHIFFRES (FRANCE)

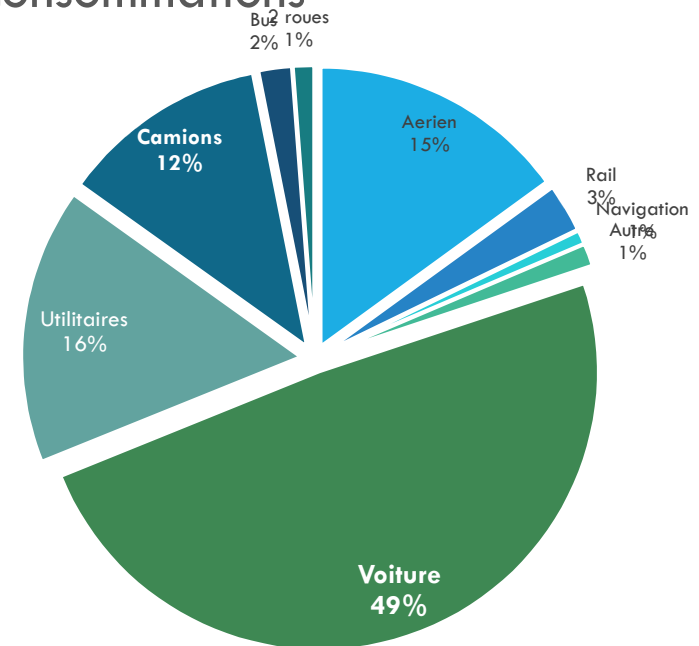
## Transports

- 1/3 de la consommation d'énergie finale
- 1/3 des émissions de CO<sub>2</sub>
- 1/2 émissions d'oxyde d'azote
- 1/5 des émissions de particules.

## Position dominante du secteur routier

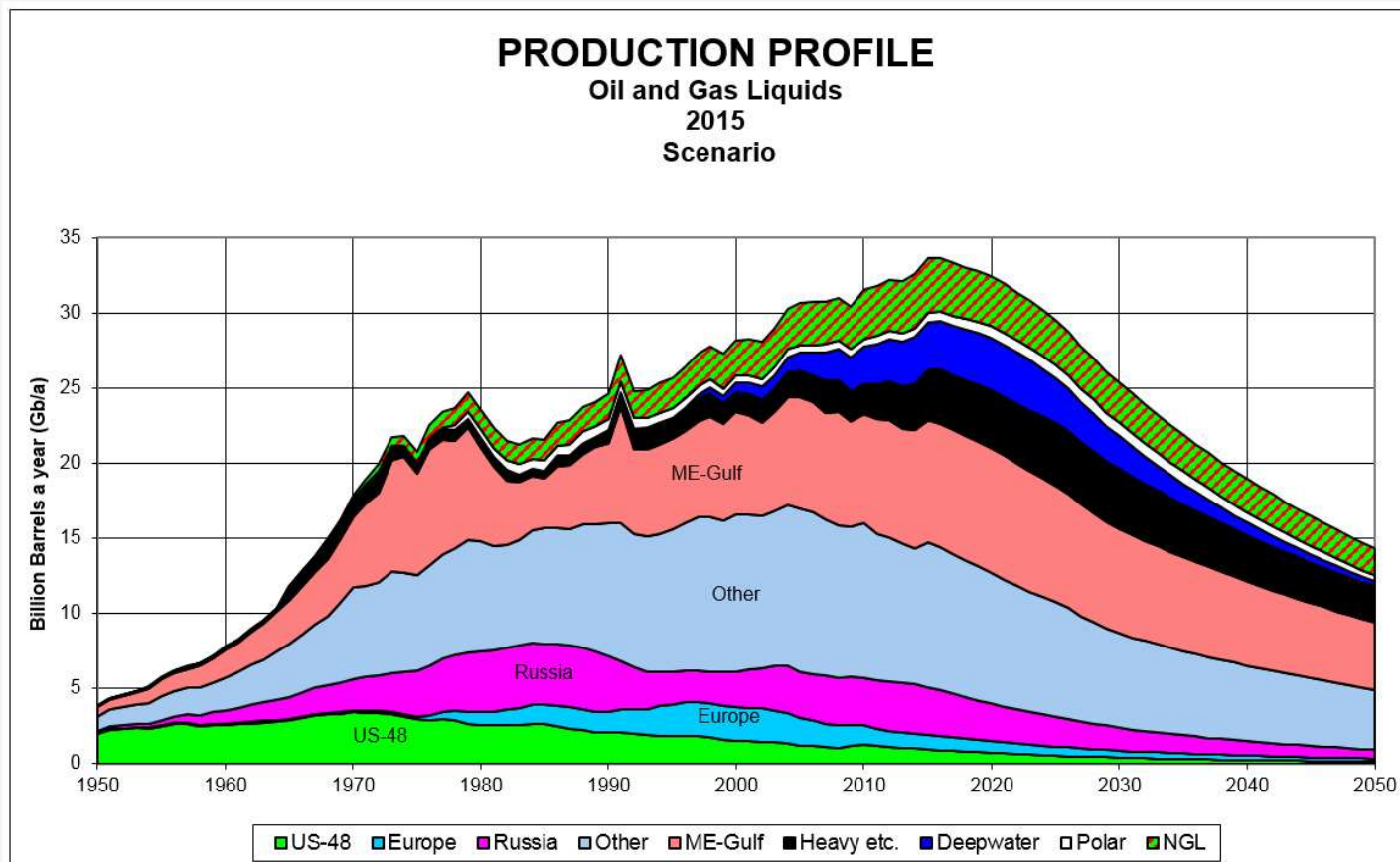
- Flexibilité, fiabilité, performance
- Impacts environnementaux

## Répartition des consommations



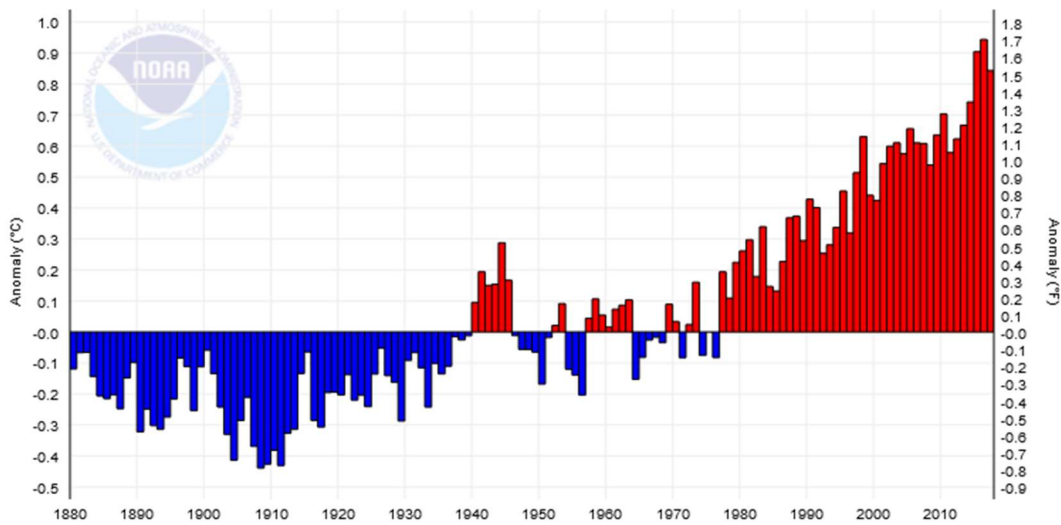
Source: ADEME

# IMPACT: LE « PEAK OIL »



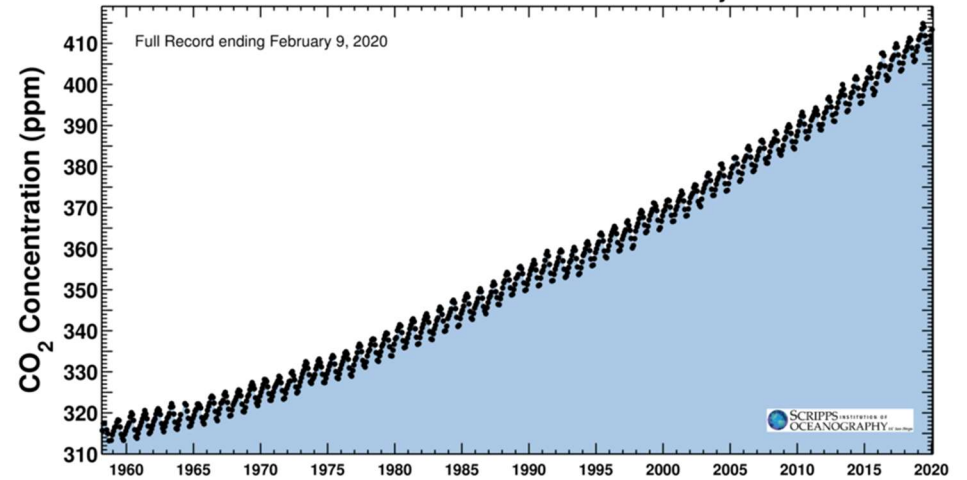
# IMPACT: CONTRIBUTION AU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Global Land and Ocean Temperature Anomalies, January-December



February 08, 2020

Carbon dioxide concentration at Mauna Loa Observatory

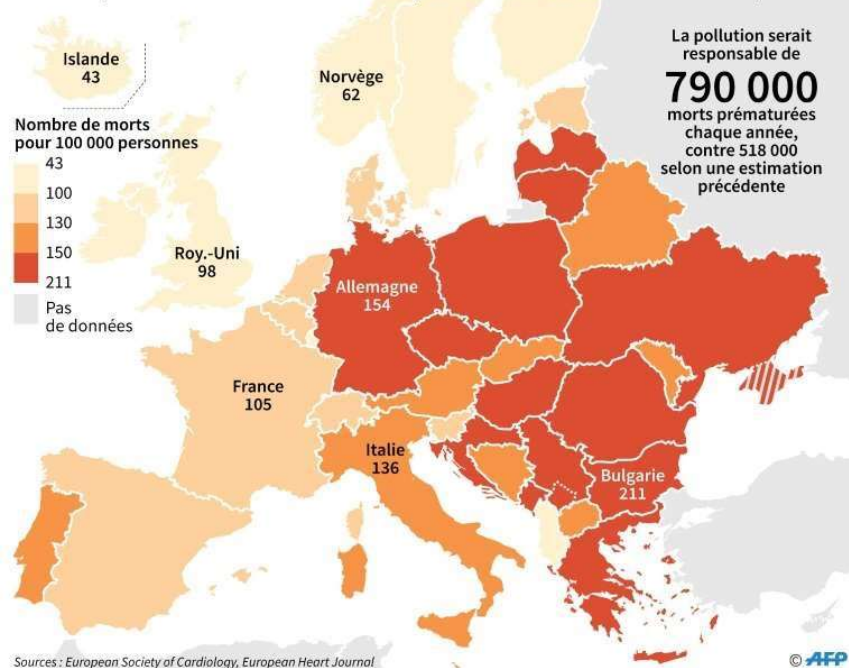


Keeling curve

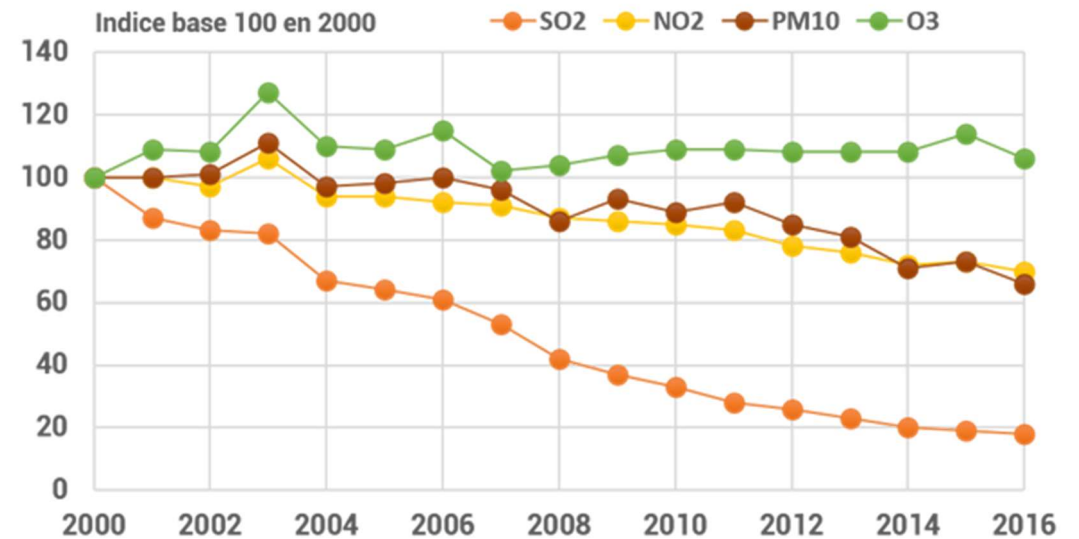


# IMPACT: CONTRIBUTION À LA POLLUTION

## Morts prématurées liées à la pollution de l'air en Europe



## Évolution des concentrations de différents polluants en France métropolitaine



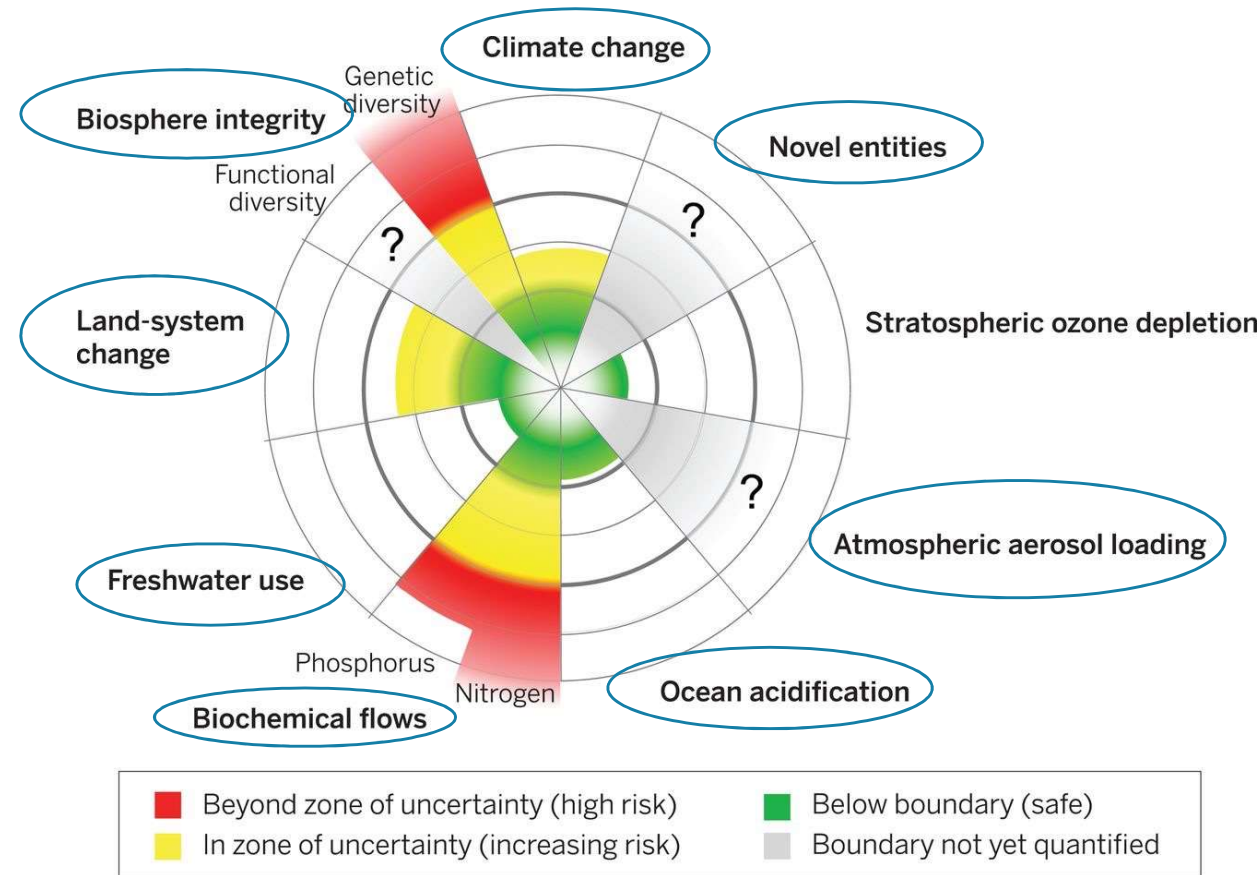
Source : Ministère de la Transition Écologique, juillet 2017

European Heart Journal, Volume 40, Issue 20, 21 May 2019,  
Pages 1590–1596,

<https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz135>

# LES 9 LIMITES PLANÉTAIRES

- Etablies en 2009, révisées en 2015
- 4 limites déjà dépassée
- Les biocarburants ont un impact sur 8 d'entre elles !!!



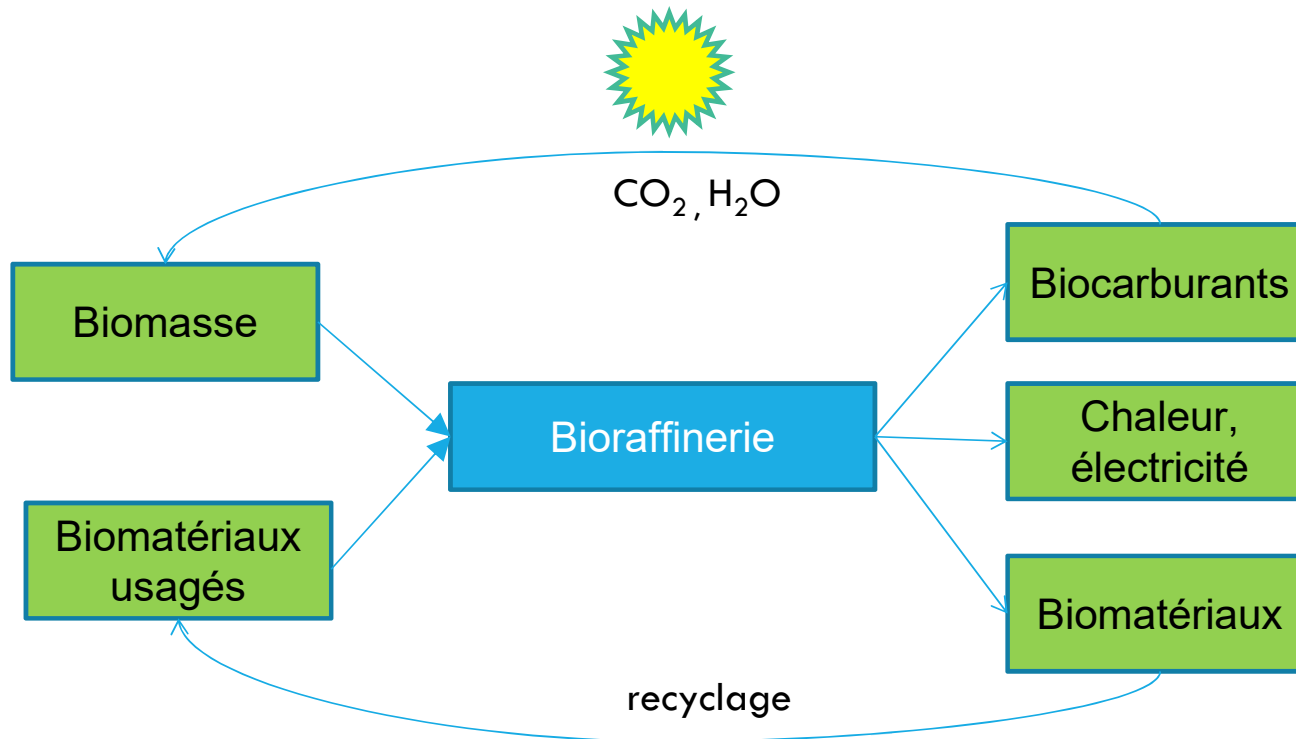
# QUIZZ!

**En quoi les biocarburants seraient-ils une alternative à ces problèmes ?**

**Parce que les biocarburants ...**

- A. sont faits à partir de cultures bio (sans pesticides)**
- B. émettent moins de CO<sub>2</sub> que les carburants fossiles**
- C. émettent moins de polluants que les carburants fossiles**
- D. font moins de réchauffement climatique que les carburants fossiles**

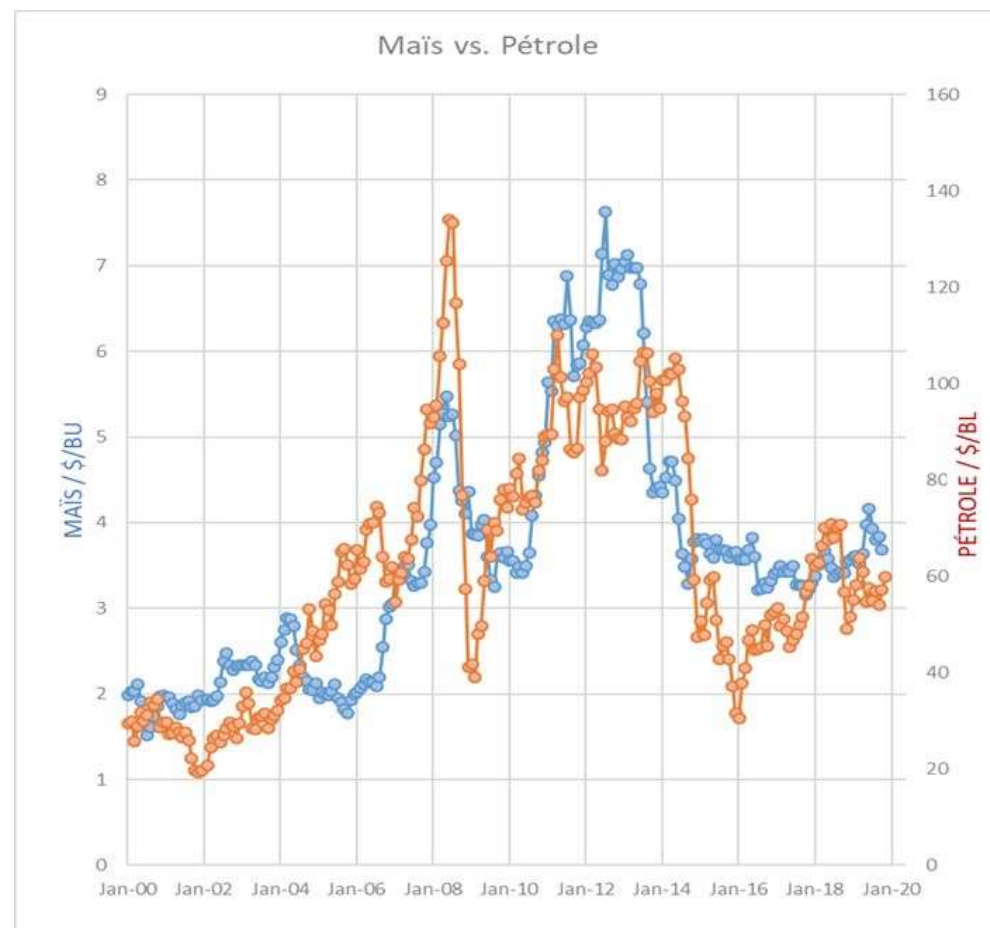
# LE CYCLE IDÉAL DE LA MATIÈRE BIOSOURCÉE



La **biomasse** apparaît comme une forme de **stockage de l'énergie** solaire et/ou de production de matière (amidon, de cellulose, de protéines, de lipides...) **renouvelable** « rapidement » et environnementalement **neutre**

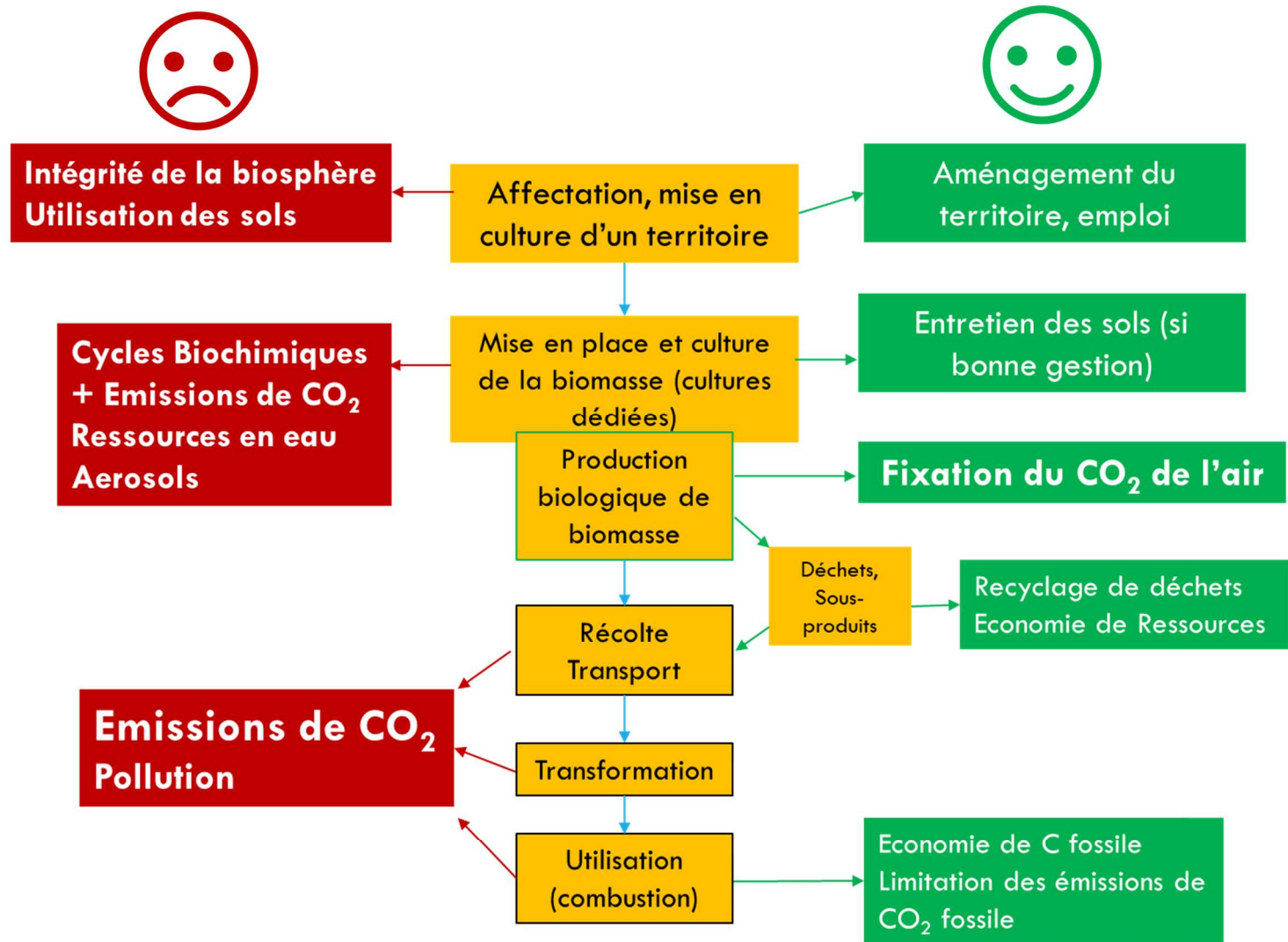
# À QUELLES CONDITIONS LA BIOMASSE EST-ELLE RENOUEVELABLE ET DURABLE ?

- Non dégradation du milieu
- Durée de cycle acceptable
  - Fermenteur: quelques heures
  - Algues: semaines... mois
  - Cultures dédiées (blé, maïs, colza...) : annuel
  - Bois: 30-200 ans...
- Perturbation des équilibres d'usage
  - Concurrence avec l'alimentaire
  - Bois énergie vs. papeterie,
  - ...
- Bilans (énergétique, CO<sub>2</sub>, ...) acceptables
  - Complexes à établir (Analyse de Cycle de Vie – ACV)
  - Variables (ex. changement d'affectation des sols, ...)



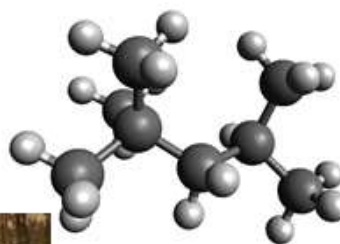


IMPACTS DES  
BIOCARBURANTS



Adapté de l'ADEME

# BIOCARBURANTS: COMMENT ?



# BREF HISTORIQUE

- **Filière essence: l'éthanol**
  - 1900: utilisation d'alcool de betteraves pour valoriser les excédents agricoles, mais ... problème de coût.
  - 1920 - 1950 : utilisation significative de l'éthanol : gasohol, Super Triazur
  - ... puis oublié jusqu'à dans les années 1990-2000
- **Filière gazole : huiles végétales**
  - 1912 : Rudolf Diesel / Huile d'arachide
  - 1920 : utilisation d'huile de palme en Afrique
  - 1945 : 1ère expérience de méthanolyse

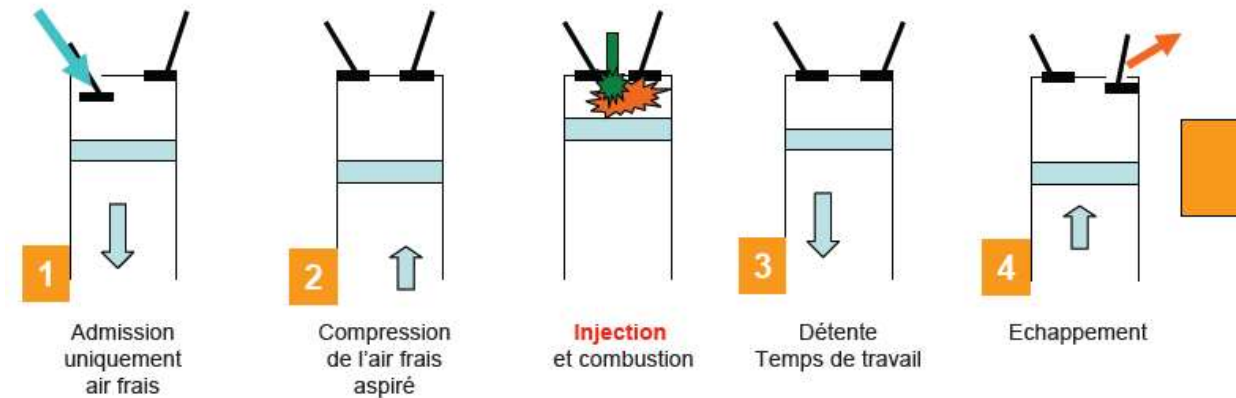
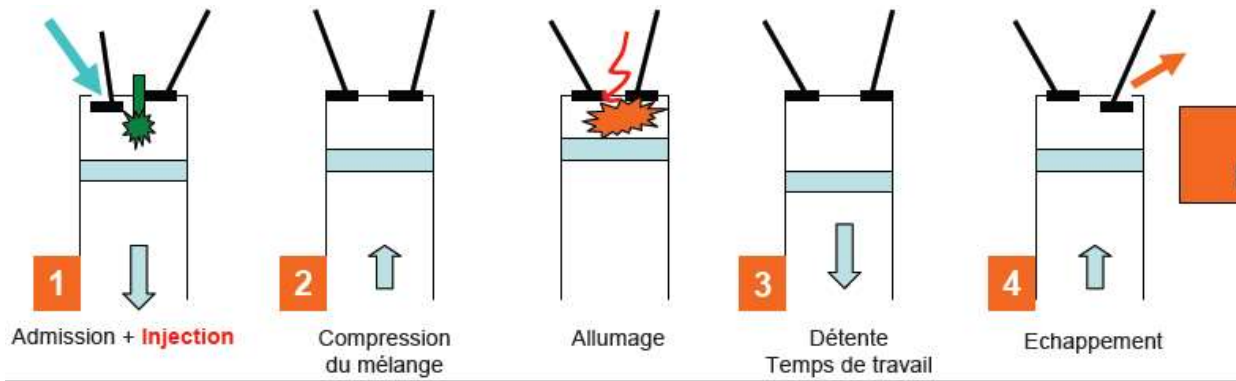


Voiture Bardon, 5CV (1899-1903)  
Fonctionnement à l'alcool pur

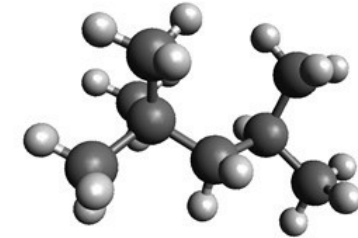


Rudolf Diesel

# MOTEUR ESSENCE VS DIESEL



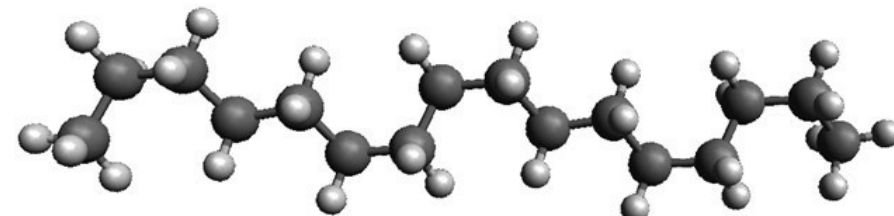
**Indice d'octane:** résistance à l'auto-allumage



Iso-octane ( $C_8$ ):  
indice 100

**Indice de cétane:** capacité à s'auto-allumer !

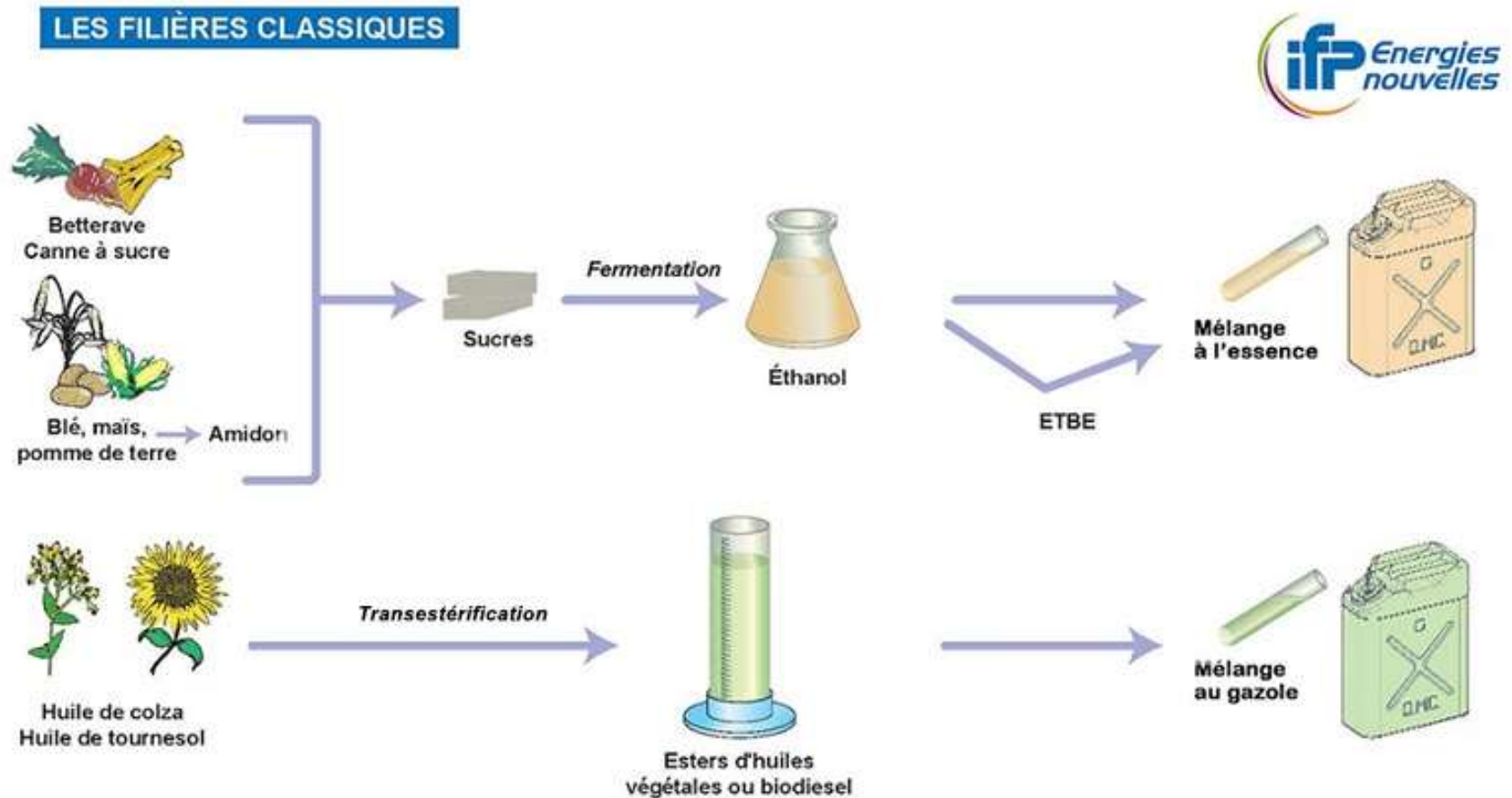
Cétane ( $C_{16}$ ):  
indice 100





# BIOCARBURANTS DE 1<sup>ÈRE</sup> GÉNÉRATION: SCHÉMA DE PRINCIPE

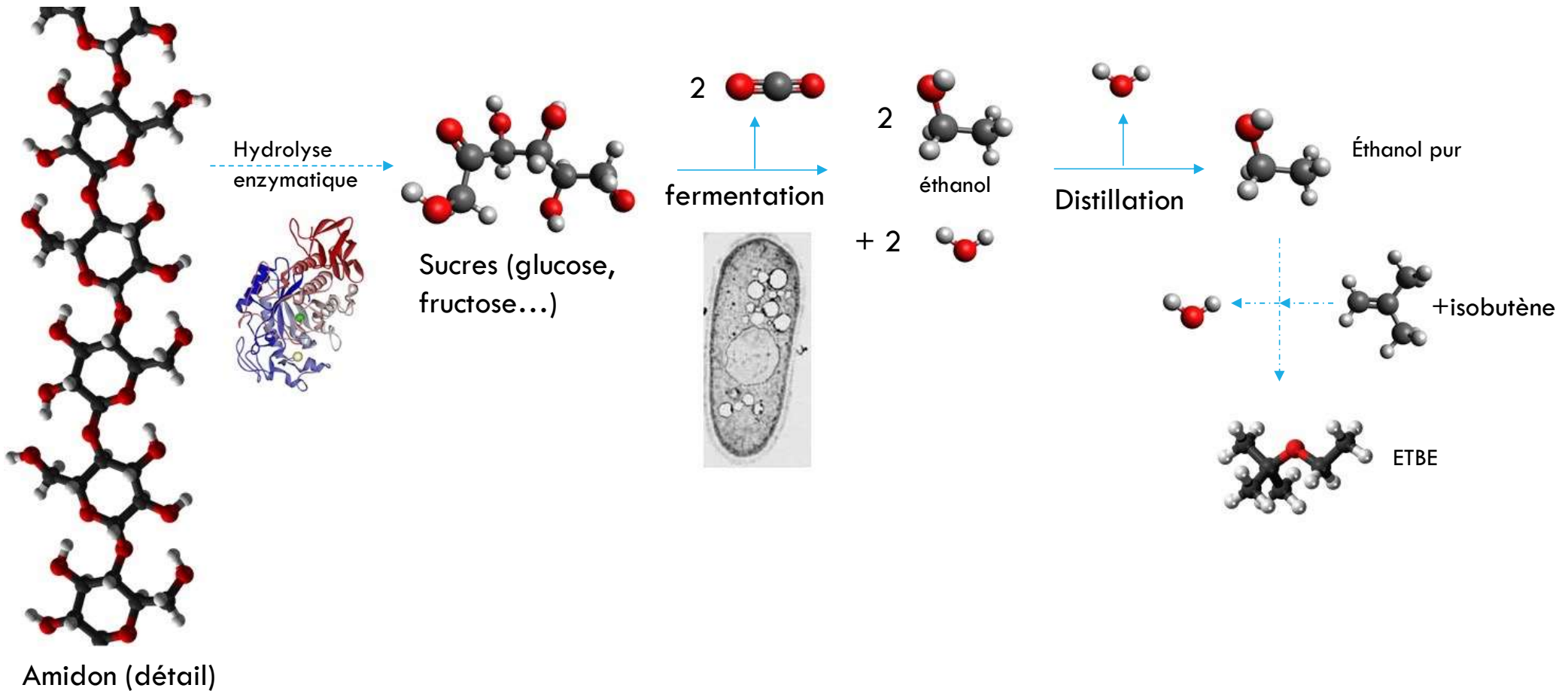
## LES FILIÈRES CLASSIQUES





# FILIÈRE ÉTHANOL: LA CHIMIE SIMPLIFIÉE

1/N



# QUIZZ!

**Pour utiliser un biocarburant tel que le bio-éthanol avec une voiture « essence », il faut :**

- A. modifier des réglages et c'est tout**
- B. ben ça dépend**
- C. changer de moteur**
- D. ne rien changer du tout**

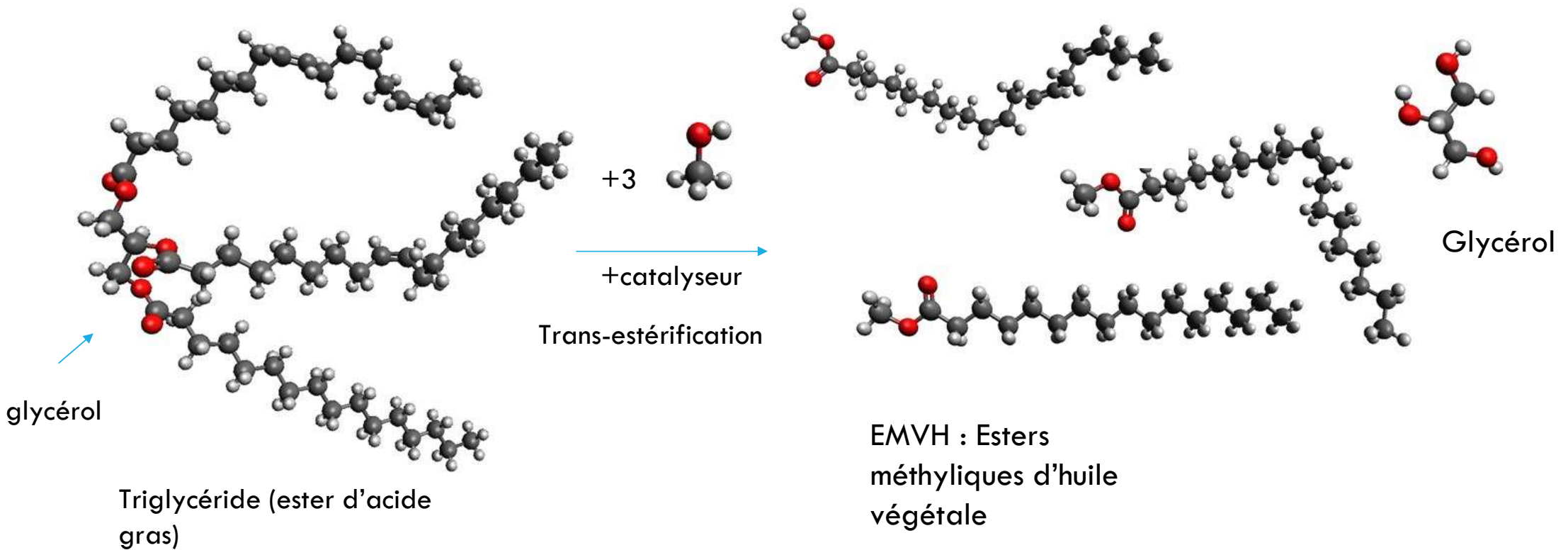
# PERFORMANCE DE L'ÉTHANOL VS ESSENCE

- Indice d'octane élevé (> 100 !)
- Diminution de certaines émissions de HC imbrulés, CO
- Meilleur remplissage de la chambre de combustion (cooling effect)
  
- densité énergétique plus faible: 1,5 litres de bioéthanol = 1 litre d'essence
- Augmentation des émissions d'aldéhydes et NOx
- Absorption dans les caoutchouc: gonflements, fuites...
- A faible concentration (E5): augmente la vaporisation de l'essence et demixtion eau/éthanol essence
- A forte concentration( E85):
  - problème de démarrage à froid ( $T_{eb} = 75^{\circ}\text{C}$ )
- **oxydation (acide acétique) => corrosion**

La corrosion reste le facteur limitant le plus important pour le développement de l'éthanol (approvisionnement, stockage)



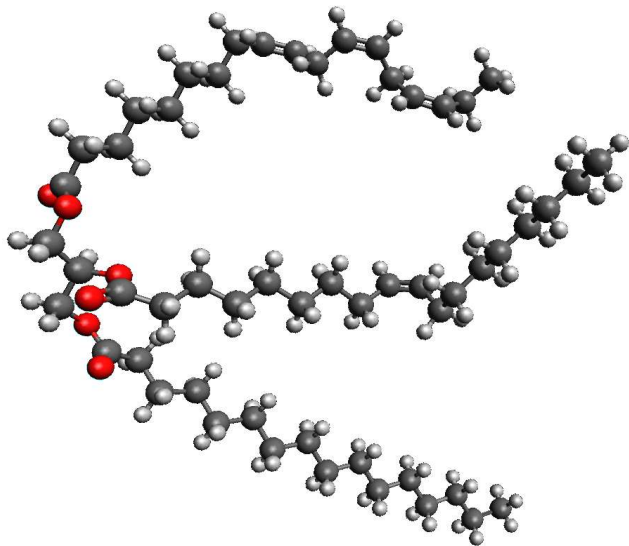
# FILIÈRE HUILE VÉGÉTALE: LA CHIMIE SIMPLIFIÉE



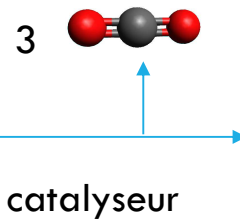
# DE NOUVELLES VENUES: LES HUILES VÉGÉTALES HYDROTRAITÉES (HVO)



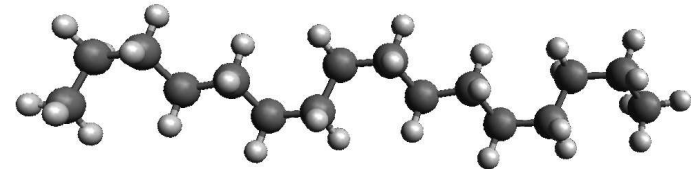
Hydrotraitement  
Hydroisomérisation



+ H<sub>2</sub>



3



Identique au cétane



# LES HUILES VÉGÉTALES PEUVENT-ELLES ÊTRE DIRECTEMENT UTILISÉES COMME CARBURANT ?

Viscosité importante: nécessite adaptation  
Vaporisation difficile et faible indice de cétane:  
augmentation des émissions

Ex: Huile de colza, moteur diesel moderne:

CO **+100%**

HC **+300%**

NOx: - 25%

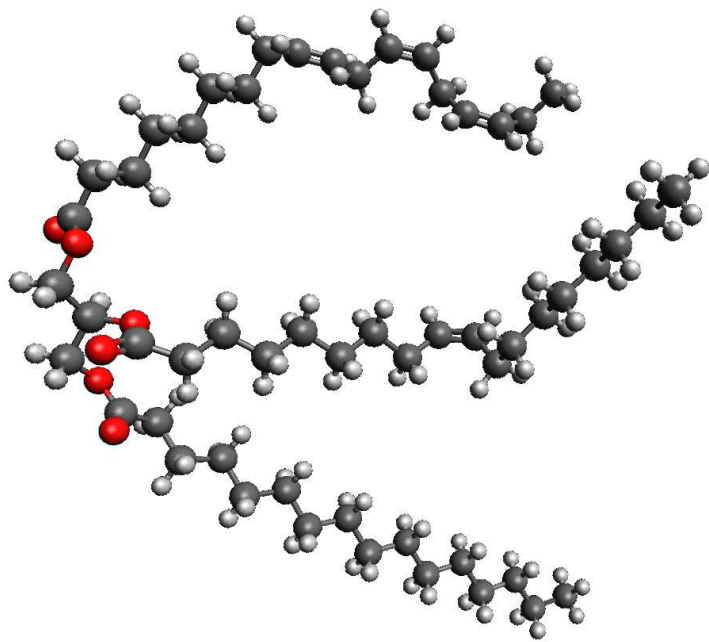
Particules: **+90-140%**

Aldéhydes, cétones: **+30-+330%**

+ dépôts moteur, usure accélérée,...

« Les huiles végétales constituent certes une alternative, mais présentent des risques liés à leurs caractéristiques que les constructeurs ne sont prêts à assumer »

D. Ballerini, 2008

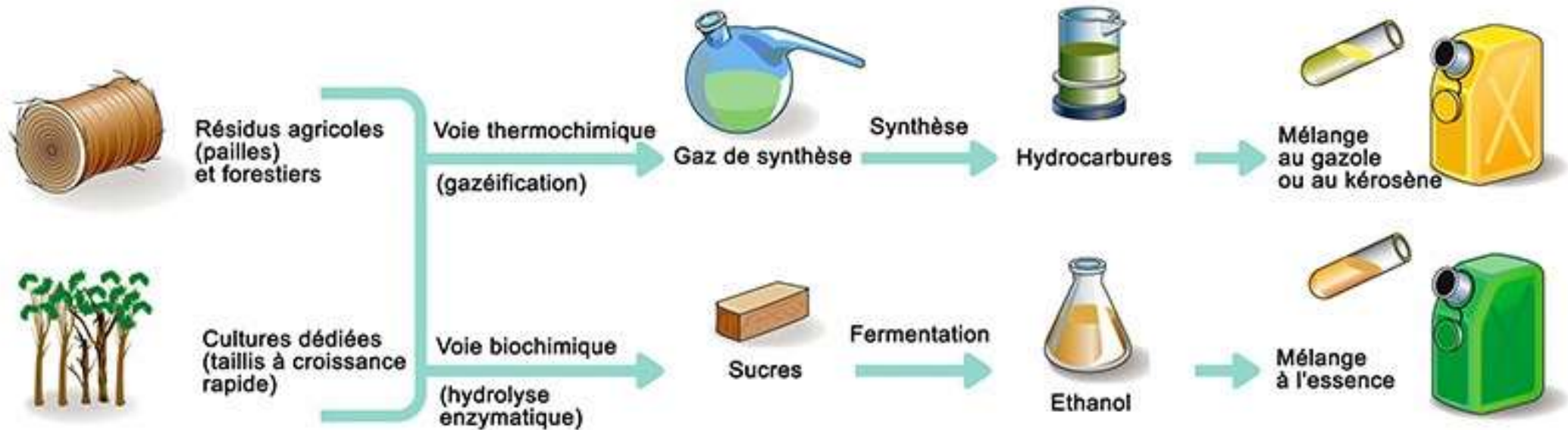


Triglycéride (ester d'acide gras)



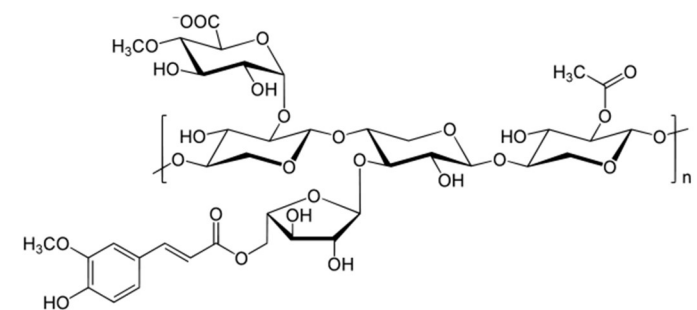
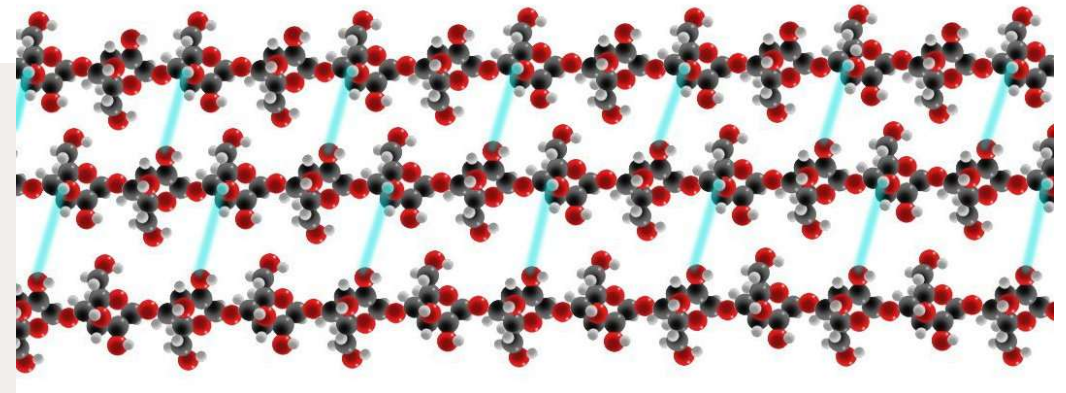
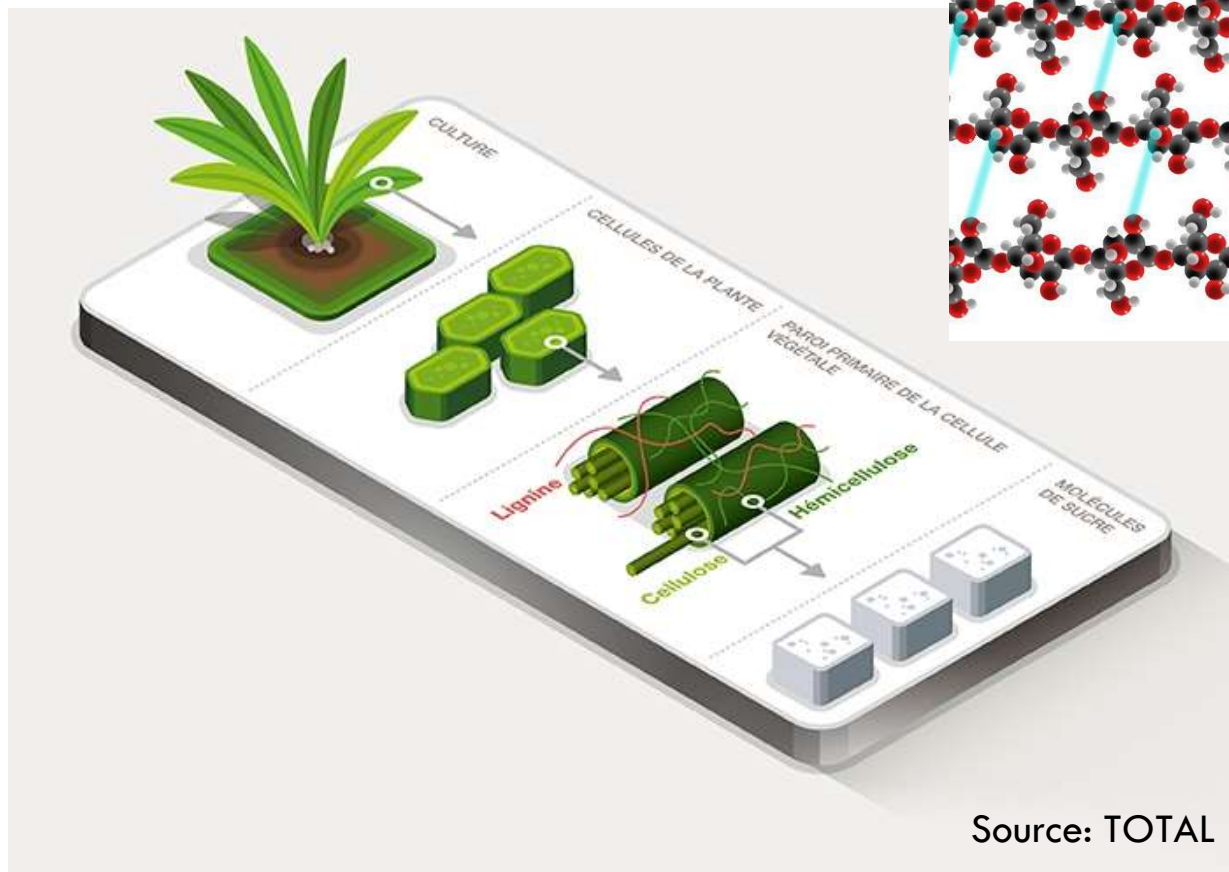
# BIO-CARBURANTS DE 2<sup>ÈME</sup> GÉNÉRATION: LIGNOCELLULOSE

LES FILIÈRES DU FUTUR



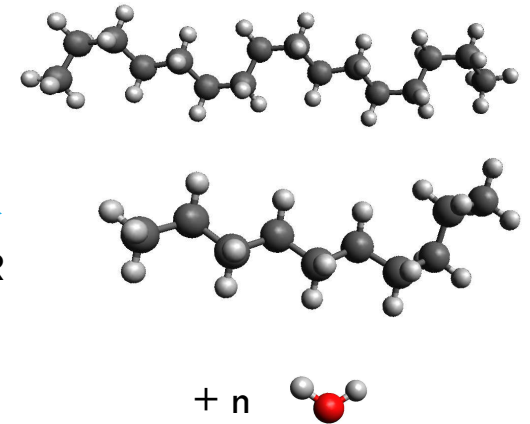
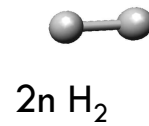
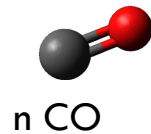
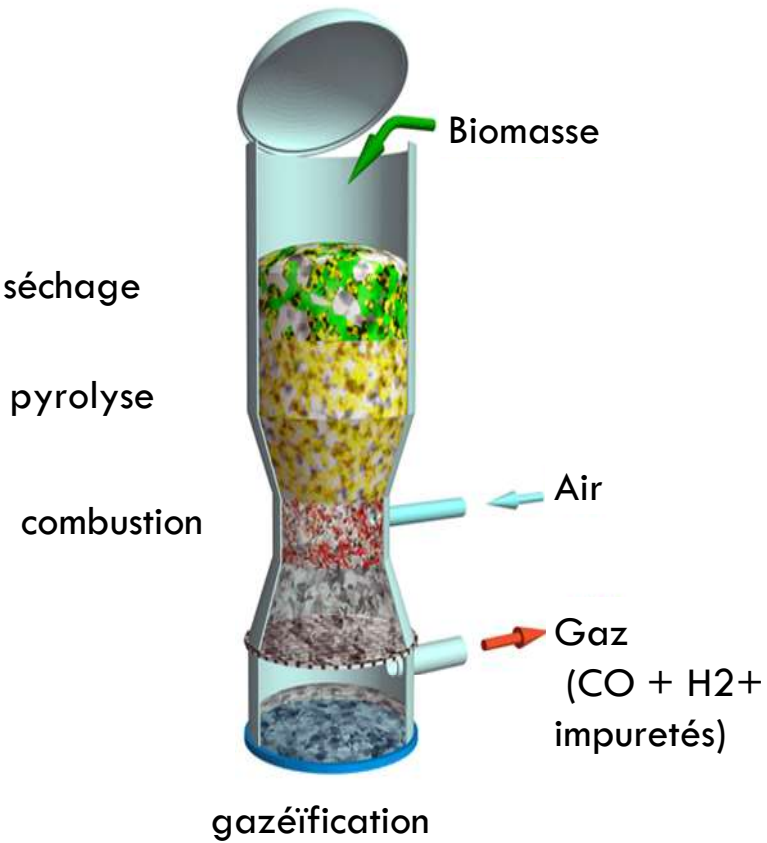
# LIGNOCELLULOSE

70% de la biomasse végétale

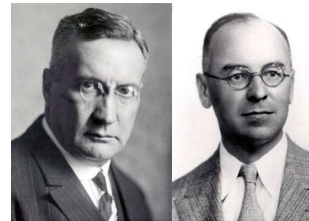


Source: TOTAL

# VOIE THERMOCHIMIQUE: GASÉIFICATION PUIS SYNTHÈSE FISCHER TROPSCH



Synthèse Fisher-Tropsch (1923)

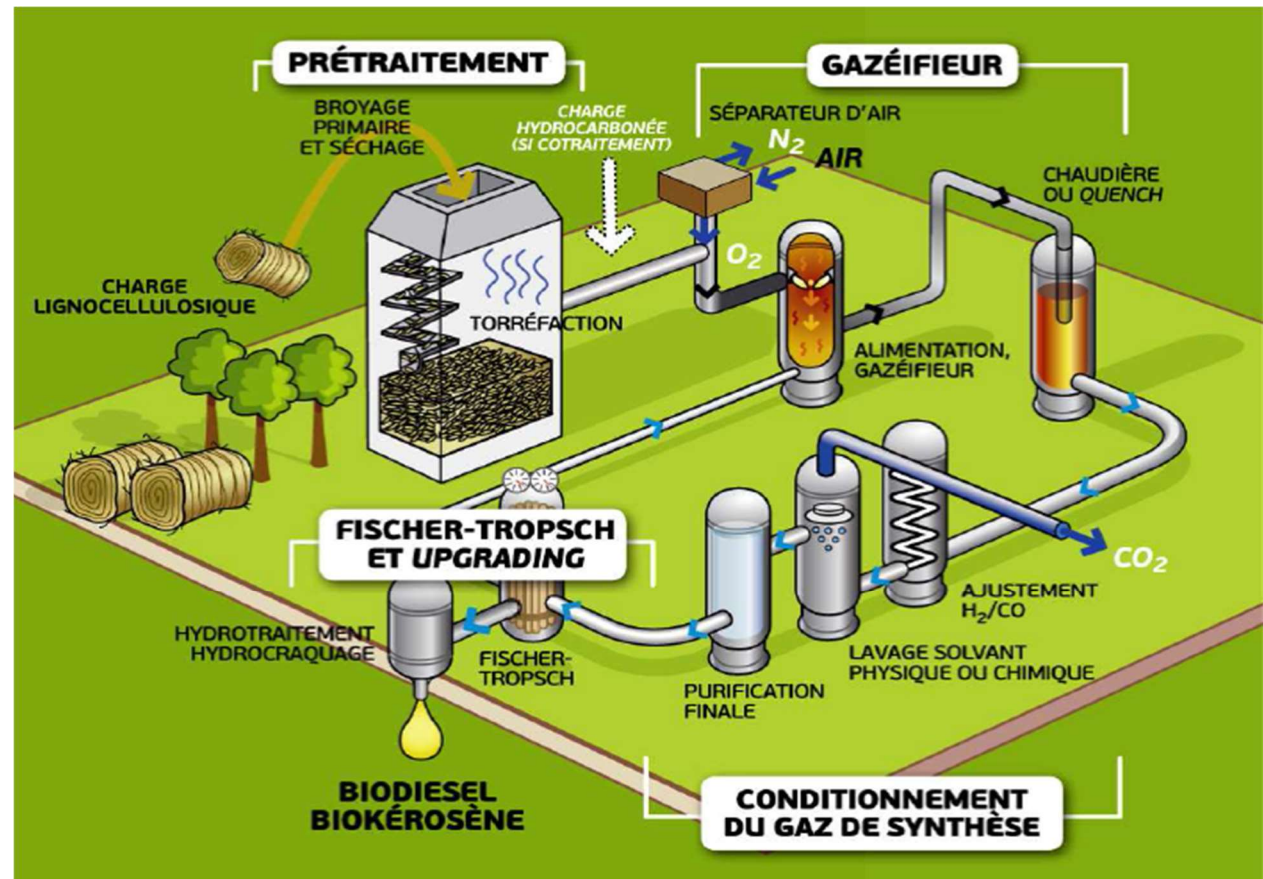




## BioTfuel Project, FR

~ 12 MW<sub>t</sub>/ FT products Fuel mix of fossil and renewable

Including torrefied biomass



**Partenaires :** Axens, le CEA, IFP Energies nouvelles, Sofiprotéol, ThyssenKrupp Uhde, Total.

**Budget :** 112,7 millions d'euros dont 33,2 millions de financement public.

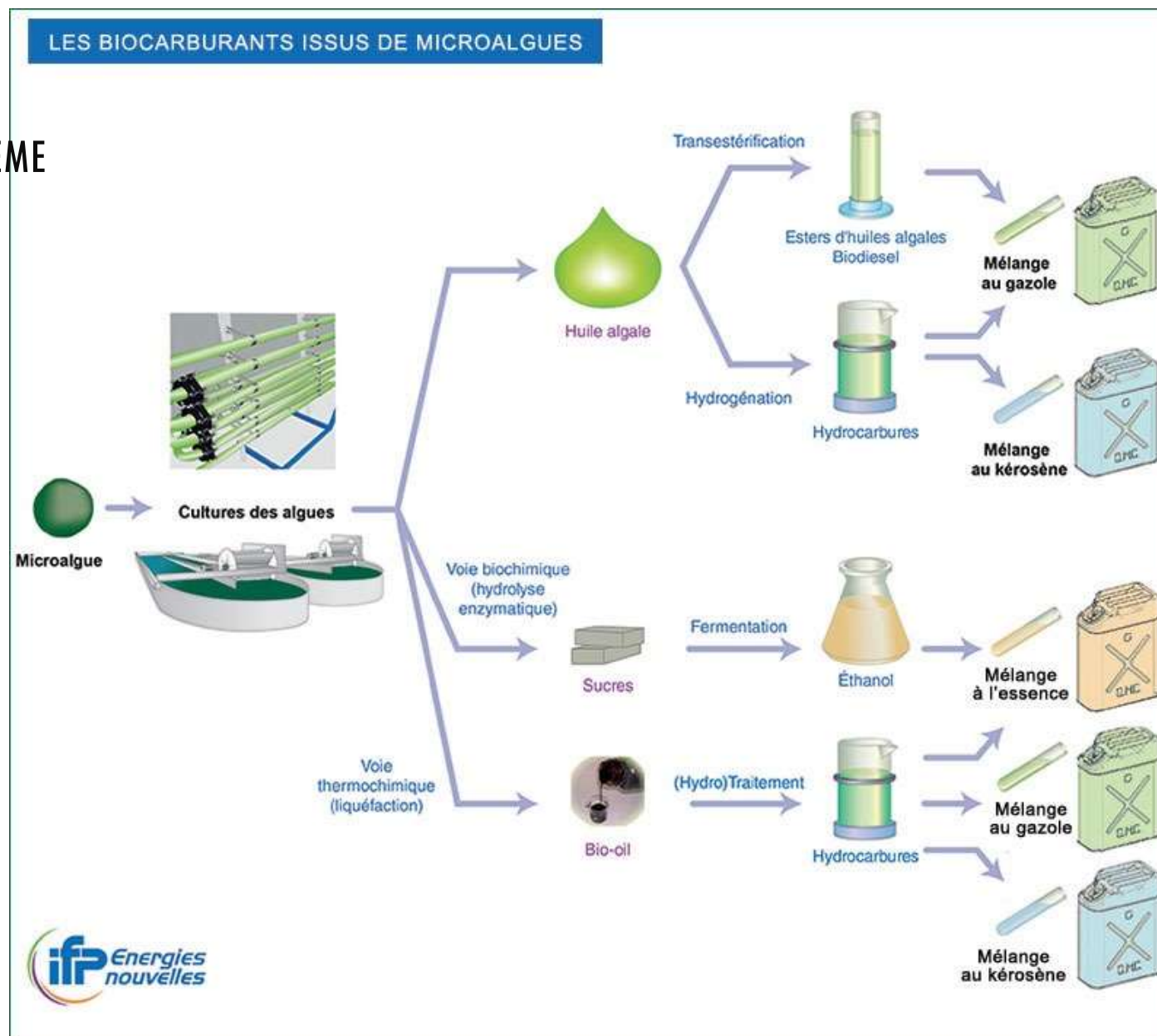
**Date de commercialisation de la chaîne de procédés :** à l'horizon 2020.

**Localisation du pilote de prétraitement de la biomasse :** site de Sofiprotéol à Venette.

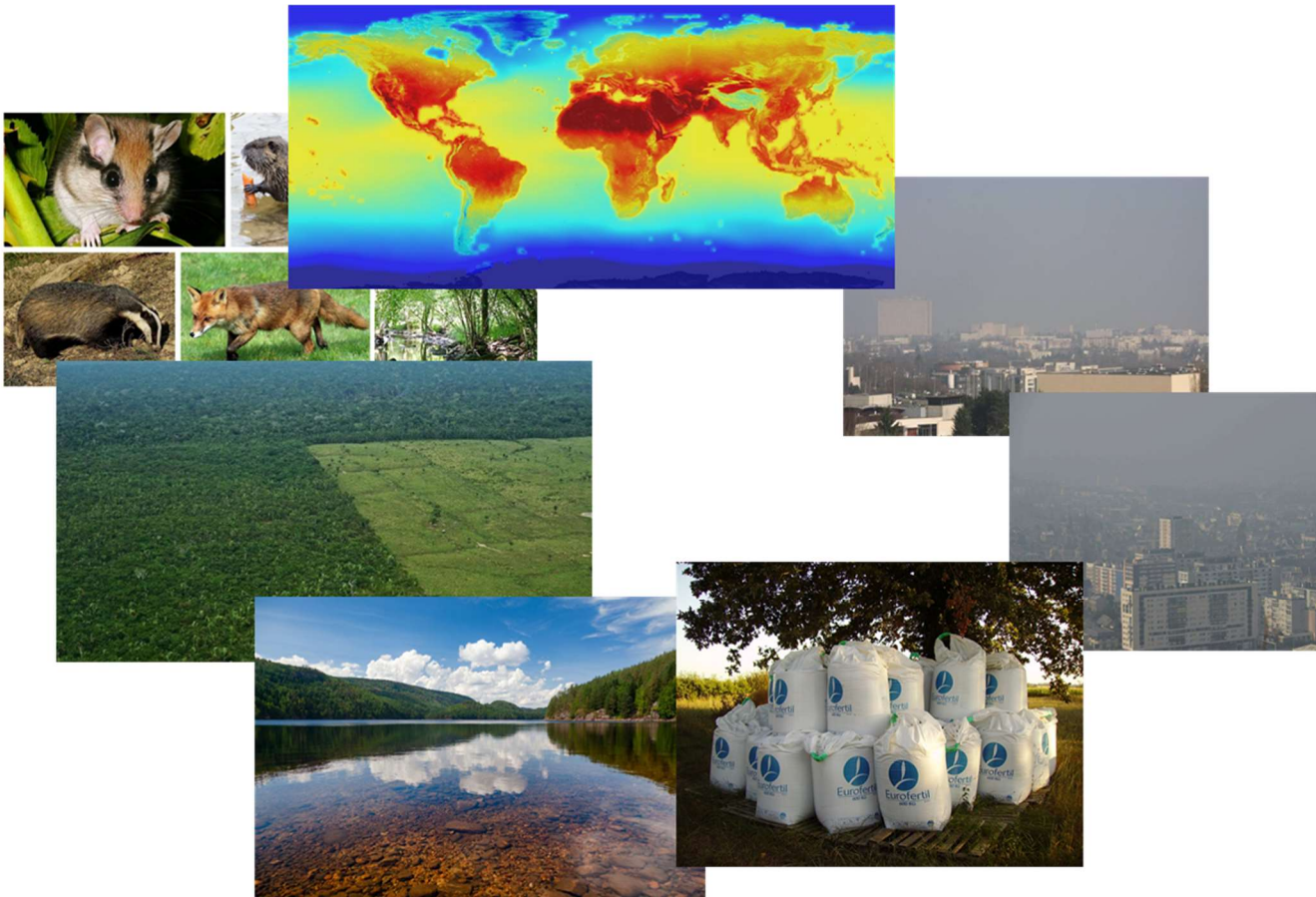
**Localisation du pilote de gazéification, purification et synthèse :** site de Total à Dunkerque.



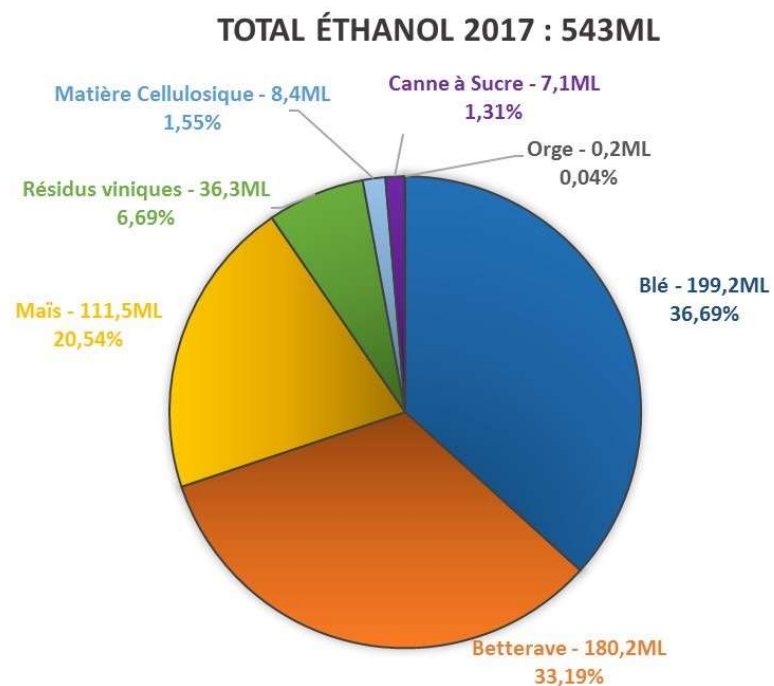
# BIO-CARBURANTS DE 3<sup>ÈME</sup> GÉNÉRATION:



# BIO-CARBURANTS : QUELS IMPACTS ?

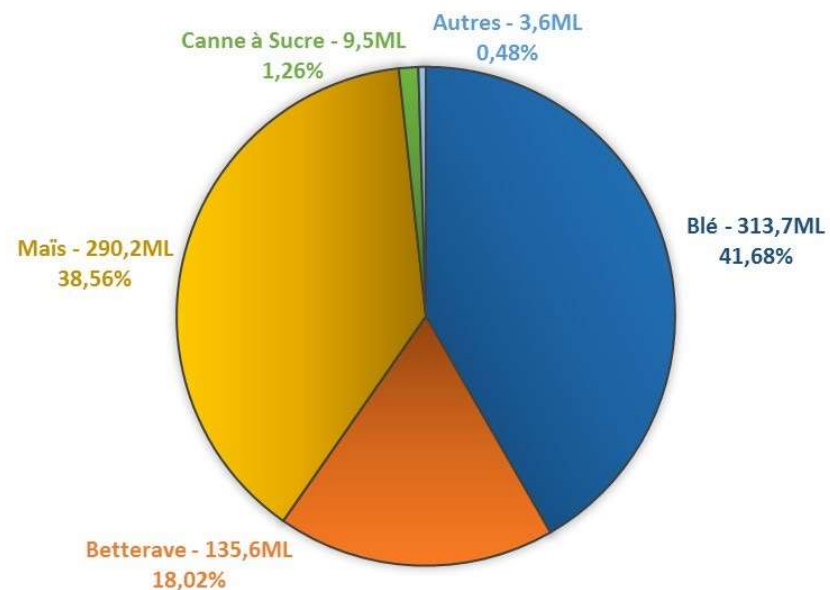


# OÙ EN EST-ON ?



Issu à 92% de plantes cultivées en France ;  
6,7% d'Europe, 1,3% Brésil

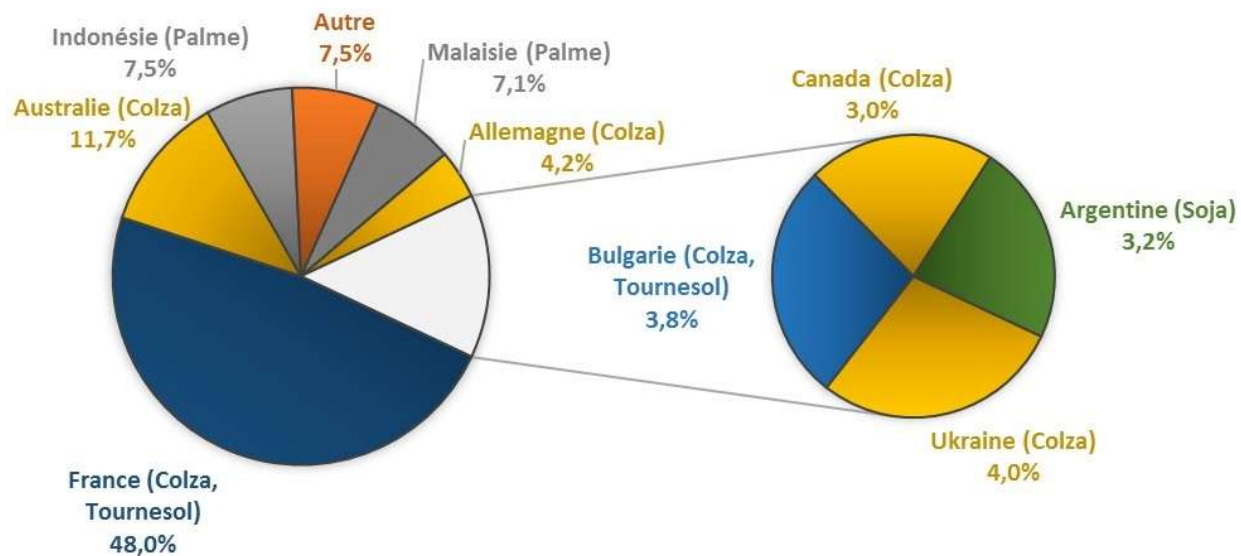
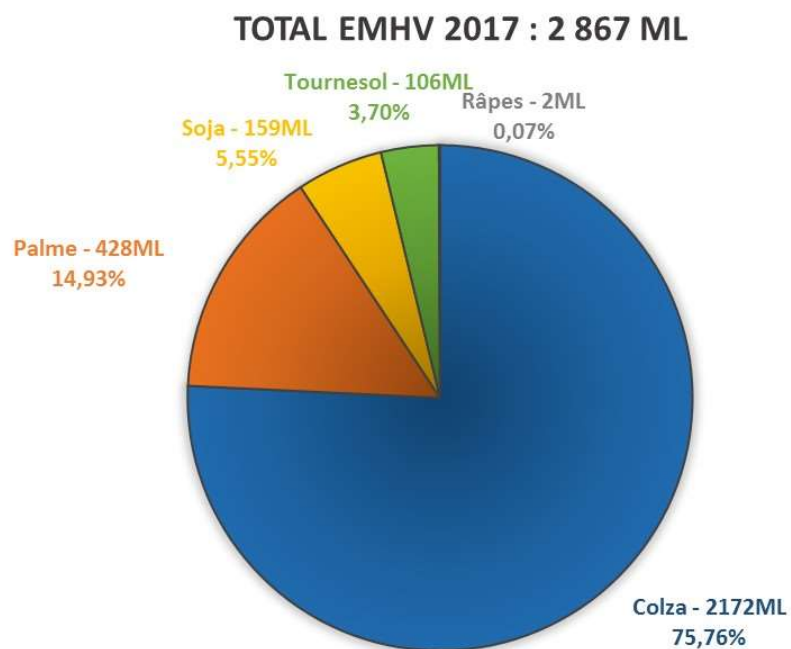
**TOTAL ETBE 2017 : 753ML (DONT 354 RENOUEVELABLE)**



Issu à 50% de plantes cultivées en France ; 48,7%  
d'Europe, 1,05% Brésil

<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/biocarburants>

# OÙ EN EST-ON ?



Issu à 48% de plantes cultivées en France

+ 11% d'HVO, ex-huile de palme

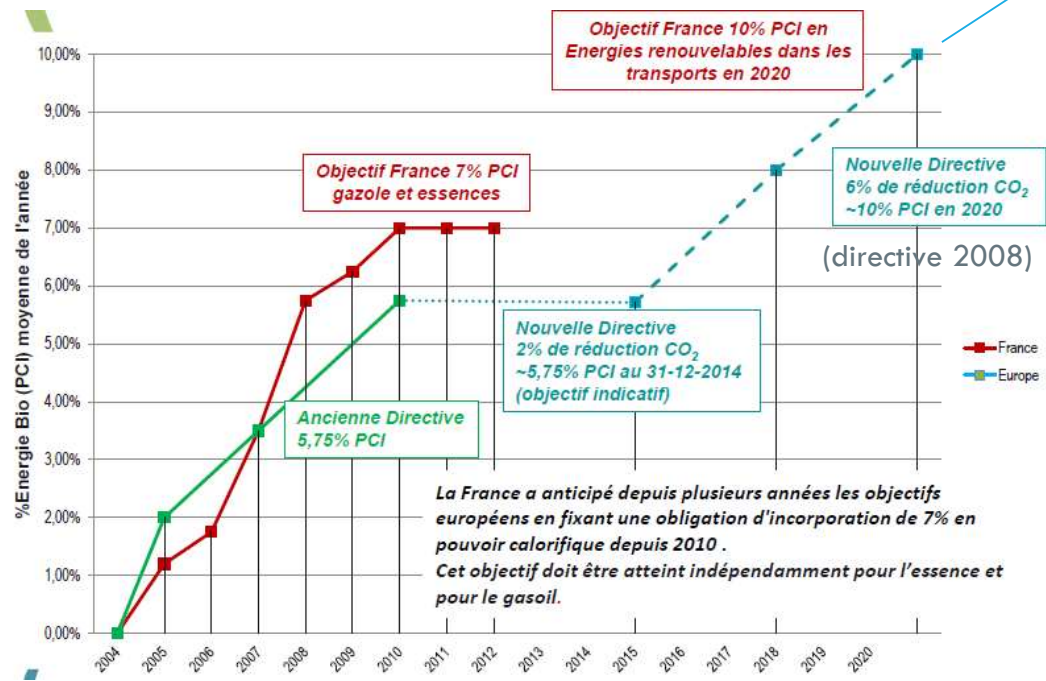
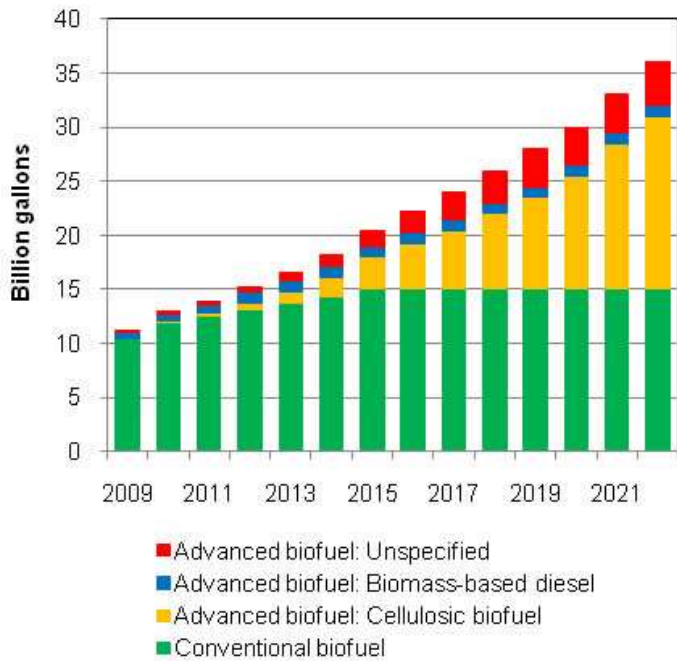
<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/biocarburants>



# OÙ VA-T-ON ?

## Directive européenne RED II

- 14% de biocarburants dont < 7% de biocarburants 1G
- + Critères de durabilité





# QUIZZ!

**Est-il possible de produire suffisamment de biocarburant en France pour substituer 100% des carburants fossiles en 2050 ?**

- A. oui, assez facilement**
- B. oui, si le nombre d'agriculteurs augmente**
- C. oui, si l'industrie pétrolière et automobile s'adapte**
- D. non, il n'y a pas assez de terres**

# UN CALCUL « À LA LOUCHE »

1 ha betterave = 7 m<sup>3</sup> L d'éthanol/an

1,5 m<sup>3</sup> d'éthanol = 1 m<sup>3</sup> d'essence

50 millions de m<sup>3</sup> de carburants par an

$$= 50\,000\,000 \times 1,5 / 7 = 10 \text{ Mha}$$

Surface agricole utilisée de la France:

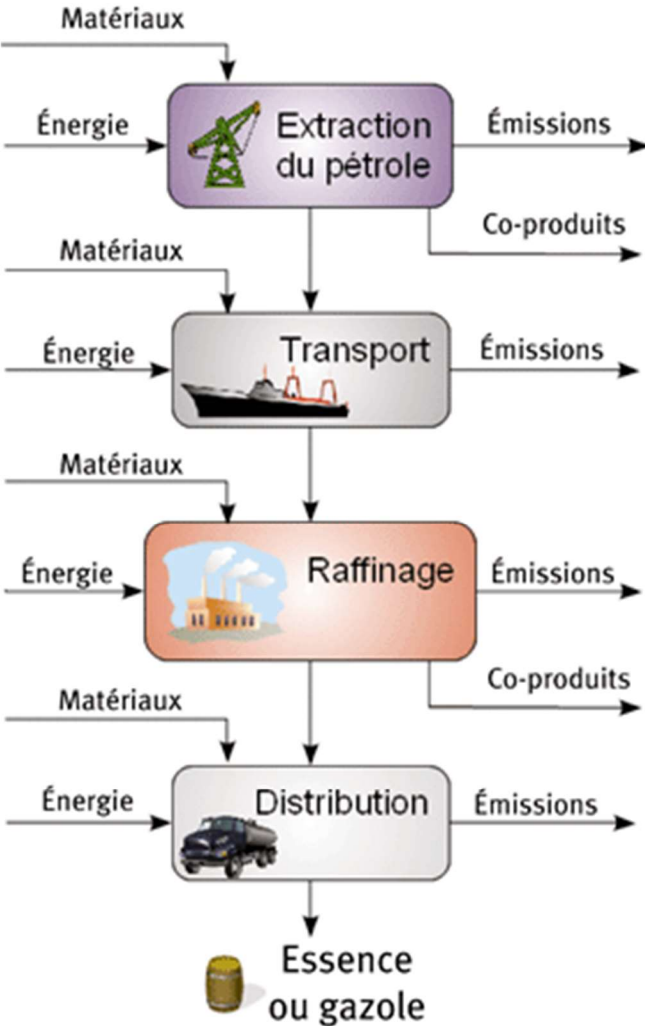
- 18,4 Mha de terres arables (9,4 céréales, 6 prairies temporaires, 2,3 oléagineux, ...)
- 1 Mha vignes et vergers,
- 7,7 Mha prairies

=> Manger ou conduire ?

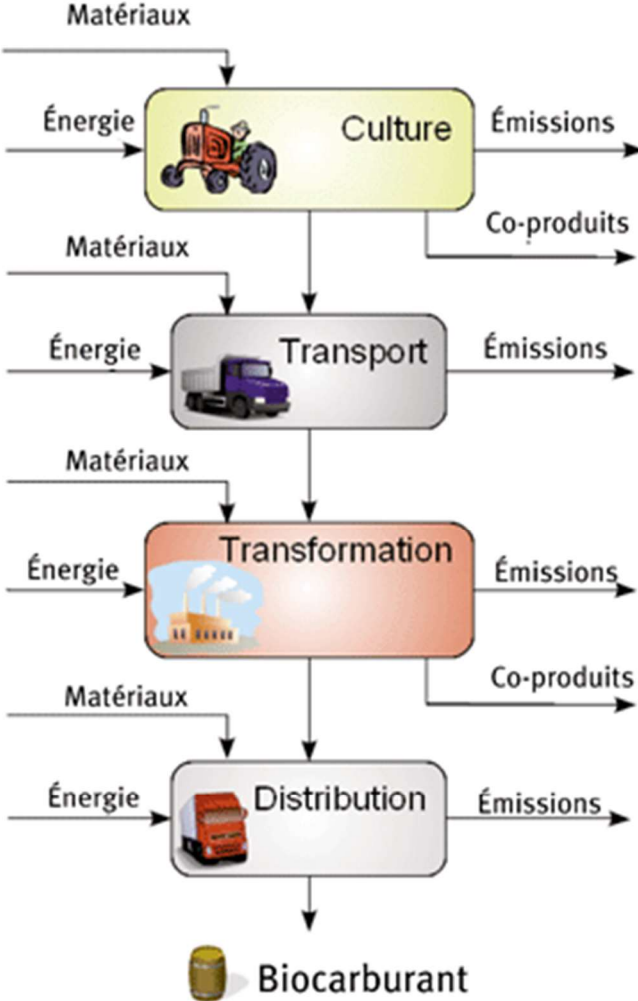


# COMPARAISON DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

## CYCLE DES CARBURANTS FOSSILES



## CYCLE DE VIE DES BIOCARBURANTS



# ÉTUDE ADEME 2010

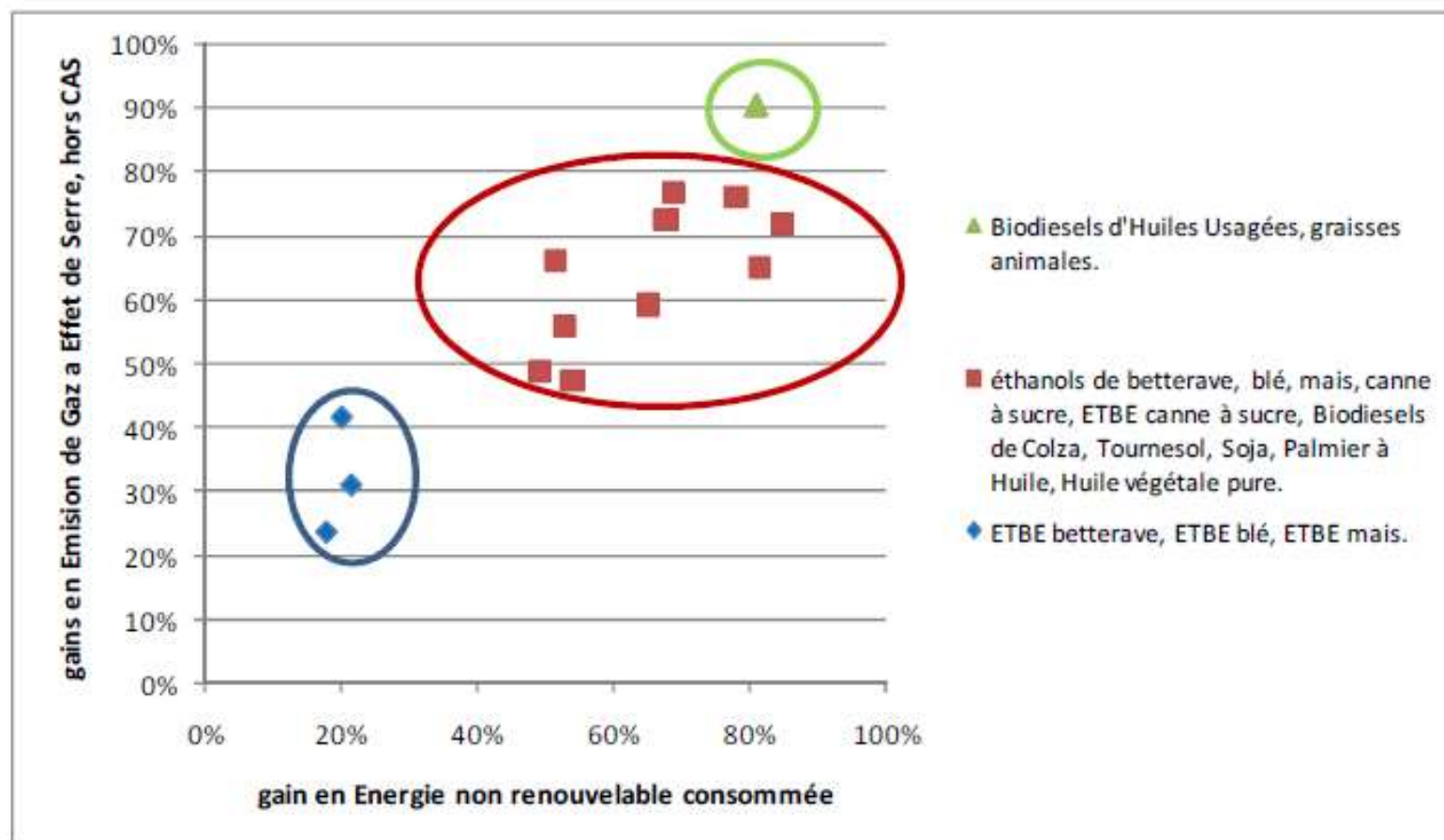
## Filières étudiées:

- bioéthanol : betterave, maïs, blé et canne à sucre
  - incorporation directe ou sous forme d'ETBE.
- Essence, deux spécifications : EURO4 et EURO5.

## Impacts

- Consommation d'énergie non renouvelable
- Emission de gaz à effet de serre (GES)
- Potentiel de toxicité humaine
- Potentiel d'oxydation photochimique (précurseurs d'ozone)
- Potentiel d'eutrophisation

# BILAN SYNTHÉTIQUE



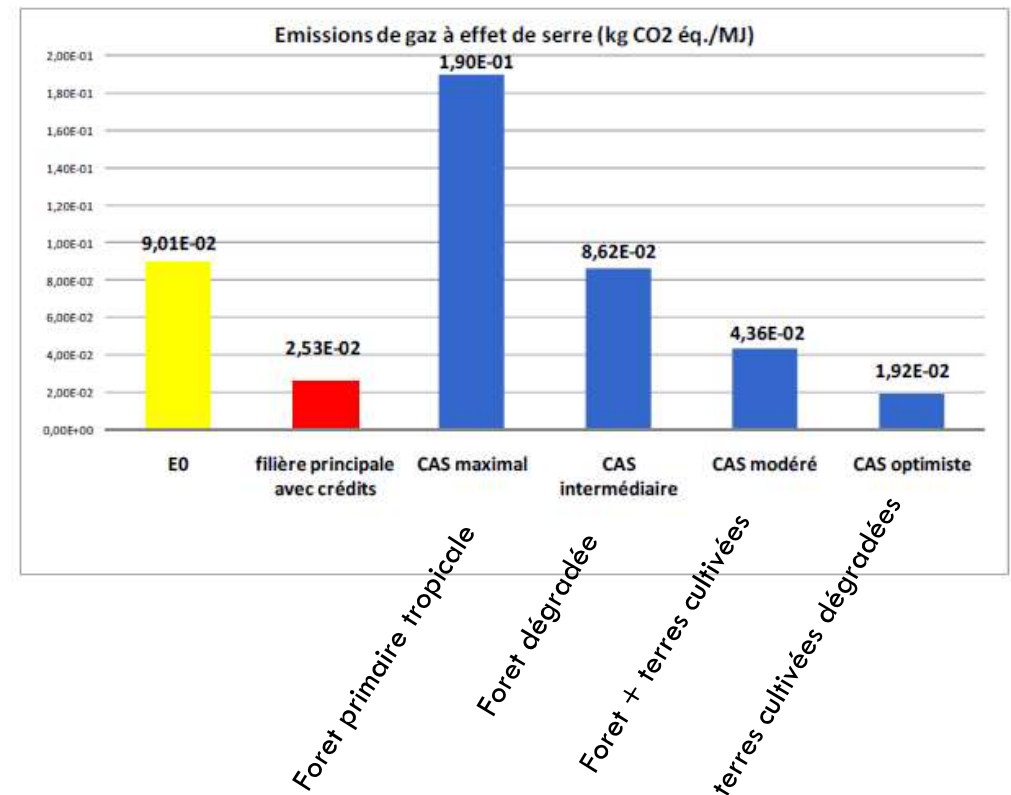


# CHANGEMENT D'AFFECTATION DES SOLS (CAS)

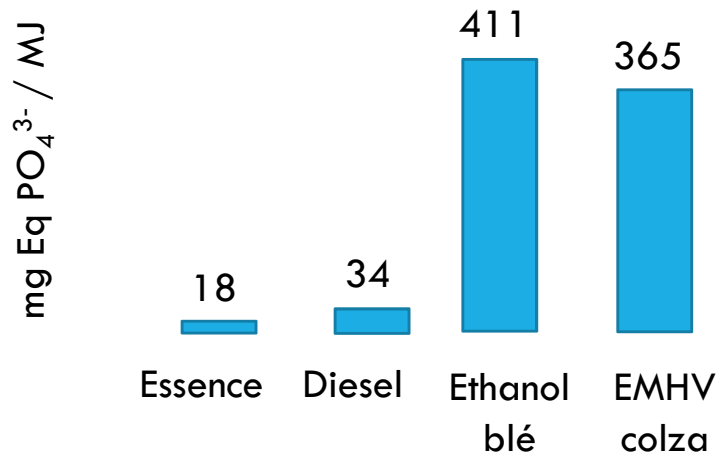
**Direct:** conversion d'une surface pour la production de bio-carburants

ex: Forêt → Canne à sucre

**Indirect:** nouvelles cultures pour maintien d'un même niveau de consommation alimentaire



# ÉMISSIONS D'AZOTE ET DE PHOSPHORE (EUTROPHISATION)



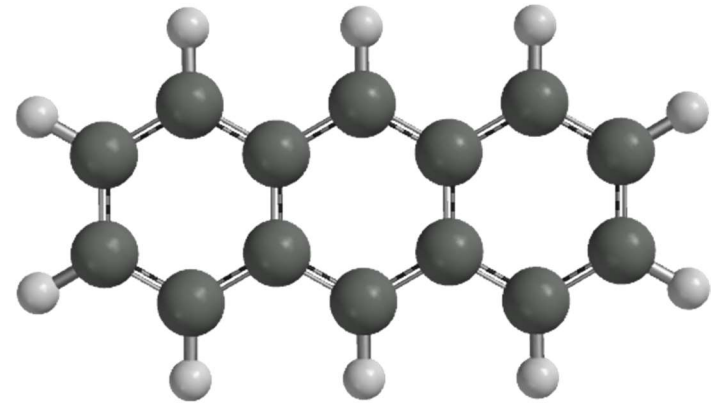
Gatteville-Phare, Manche, 2019

# TOXICITÉ HUMAINE

Contribution prépondérante des HAP ou particules lors de l'utilisation qui masquent les écarts (facteur de caractérisation élevé)

**Biocarburants** pénalisés par les produits phytosanitaires (phase agricole, 50-60% des niveaux d'émission)

Niveaux comparables entre carburant fossile et écarts faibles probablement pas significatifs...



HAP: Hydrocarbures polycycliques aromatiques

# CONCLUSION & PERSPECTIVES: BILAN MITIGÉ

**Les biocarburants permettent de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> mais:**

**Ils ne peuvent se substituer totalement aux carburants**

- rareté énergétique → rareté alimentaire,
- ressources limitées
- Déplacement des impacts

**D'autres voies doivent être explorées**

- Biomasse lignocellulosique, algues, ...
- Motorisation hybride / électrique, ....
- Réduction des déplacements motorisés ?...





# QUIZZ!

**Serais-tu prêt.e à modifier tes habitudes de transport pour limiter ton impact sur la planète ?**

- A. oui, je pourrais faire un effort mais pas trop gros**
- B. non, je n'ai pas les moyens mais c'est une bonne idée**
- C. non, ce n'est pas mon problème**
- D. m'en fiche, je me déplace déjà à vélo et en voiture électriques !**





JE 13 FÉV. 20

# Transition énergétique et biocarburants

DU CHAMP À LA ROUE : OÙ TROUVERONS-NOUS  
L'ÉNERGIE DE NOUS DÉPLACER DEMAIN ?

PUBLICS SCOLAIRES • ENTRÉE GRATUITE • INSCRIPTION OBLIGATOIRE

[LEDOME.INFO](http://LEDOME.INFO)

LE  
**DŌME**



credits: CH\_123 (Pisabay)





JE 9 AVRIL 20

# Dans l'assiette du futur

FACE AU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE ET À LA SURPOPULATION :  
QUELLES SOLUTIONS ET INITIATIVES POUR L'ALIMENTATION DE DEMAIN ?

PUBLICS SCOLAIRES • ENTRÉE GRATUITE • INSCRIPTION OBLIGATOIRE

LEDOME.INFO

LE  
**DŌME**



Crédit: Conger Design (Pixabay)