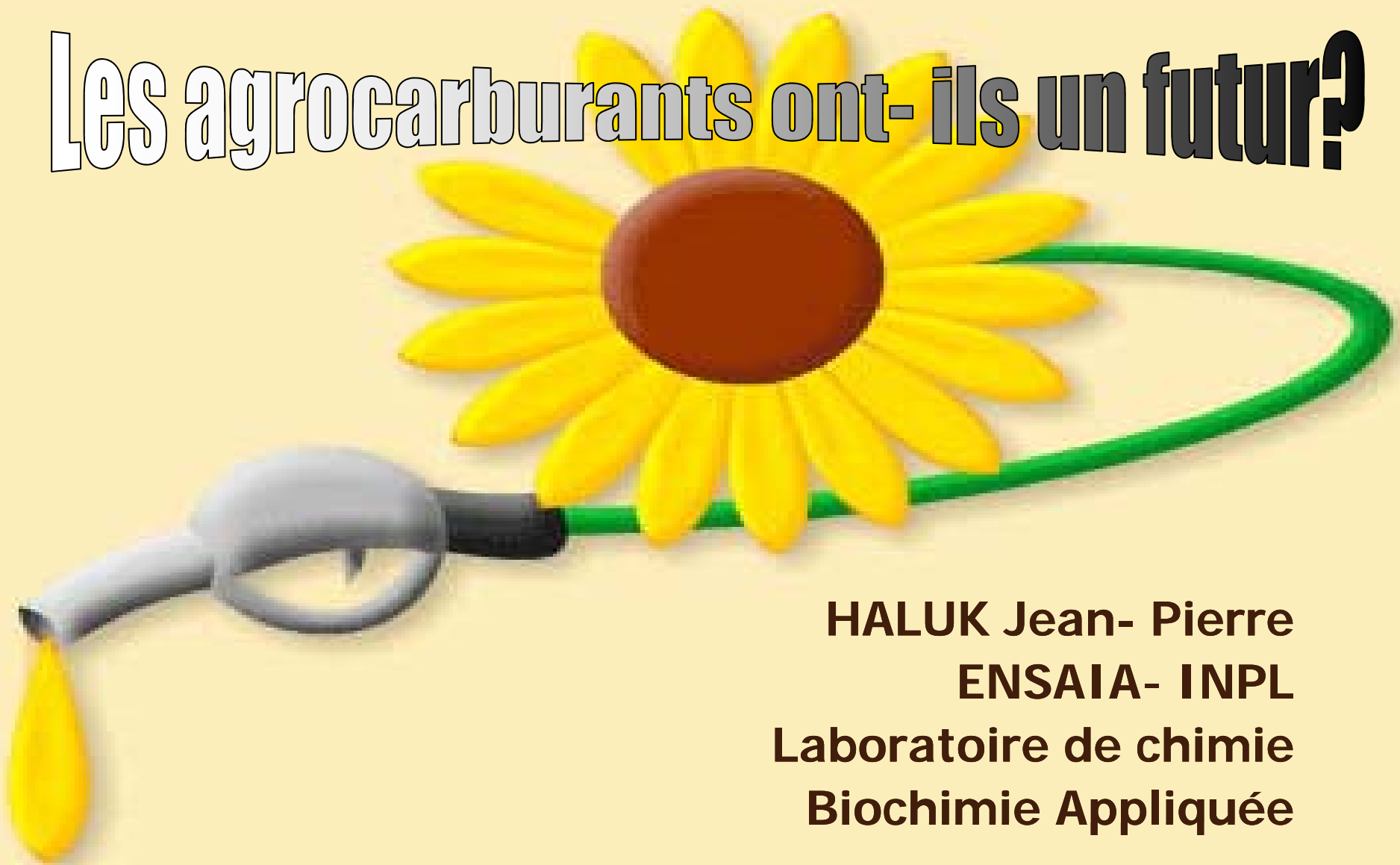


Les agrocarburants ont-ils un futur?



HALUK Jean- Pierre
ENSAIA- INPL
Laboratoire de chimie
Biochimie Appliquée



Plan de la conférence

- **Introduction Générale**

1. Objectif des pays industrialisés de diviser par 4 les GES repris par le Grenelle de l'Environnement (novembre 2009)
2. Appel à projets de l'ADEME
3. Réflexions européennes (Maive Rute, responsable de la direction « Biotechnologies-agroalimentaire »)
4. Impact des énergies renouvelables

- **Agrocarburants de 1^{ère} génération : Pas si verts ...**
(bioéthanol, biodiesel)
- **Agrocarburants de 2^{ème} génération**
(matières premières non alimentaires)
 - Filière bioéthanol
 - Filière Carburant de Synthèse
- **Agrocarburants de 3^{ème} génération**
 - Filière Biodiesel (Jatropha, microalgues)

- **Quelques mots sur le Biogaz méthane**
- **Conclusion**

Introduction générale



- Les **agrocarburants (AC)** font beaucoup parler d'eux.
- L'**UE** en a même fait l'un de ses chevaux de bataille, afin de **réduire les émissions de gaz à effet de serre** (GES) émanant du secteur des **transports** (CO₂, NO_x, O₃, ...).

- Cette solution semble alléchante :
 - Produire du **carburant** au départ de **cultures végétales**, alors que l'on se dirige progressivement vers une **pénurie en énergie fossile**.
 - Qui n 'en a jamais rêvé ?
 - Pourtant, il y a un **revers à la médaille**
 - Un revers bien plus important que les éventuels bénéfices à tirer des AC.

- L'explosion de la demande mondiale en AC, en partie dans l'UE, crée une véritable effervescence dans les pays du Sud, qui rivalisent d'imagination pour installer des plantations de palmiers à l'huile, de soja, de canne à sucre ...
 - Les forêts y sont irrémédiablement détruites, entraînant de véritables drames sociaux et environnementaux (Indonésie, Brésil)

- Les AC sont loin d'être la panacée et tout au plus, ils joueront un rôle mineur dans le développement d'une politique durable en matière de transport
 - Pour Greenpeace, il est essentiel que l'UE, et tous les pays qui projettent d'étendre l'utilisation des AC, s'attellent -enfin- à l'élaboration d'une vraie politique de mobilité durable.



1 - Objectif des pays industrialisés
de diviser par 4
les GES repris par le
Grenelle de l'Environnement

(Novembre 2009)

- Pour y parvenir : **des ruptures technologiques** sont indispensables.
- **ADEME** : chargée de la **gestion d'un fonds démonstrateur de recherche** de **400 millions d'euros sur 4 ans**.
- **Expérimentation en conditions réelles des technologies** qui ont dépassé le stade de la recherche en laboratoire, mais qui n'en sont pas encore à l'étape d'industrialisation.

- 3 domaines retenus : transports, énergie et habitat.
- Série d'appels à projet sur :
 - A : les véhicules décarbonés (sans émission de carbone)
 - B : les AC de 2^{ème} génération + 3^{ème} génération
 - C : le captage et le stockage du CO₂.
- 14 dossiers présentés par les industriels + centres de recherche sélectionnés.
- Investissement de 785 millions d'euros (40% ADEME, 60% partenaires du projet)

A D E M E



12 - Appel à projets de l'ADEME

**Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie**

Projet A : 11 programmes

- Exemple : « *Forewhell* » : voiture avec **moteurs électriques** logés dans les **roues** + châssis constitué d'un assemblage de **batteries au lithium** rechargeables sur le réseau électrique ou échangeables en station-service.
- **Aucun projet lancé sur les voitures à hydrogène** (filiale mieux adaptée aux **applications stationnaires** : stockage électricité pour habitations et bâtiments collectifs)

Projet B : AC de 2^{ème} génération (celui qui nous intéresse)

- Procédés thermochimiques (carburant gazeux ou liquide)
- Procédés enzymatiques
 - AC de 3^{ème} génération
 - ❖ Issus des **microalgues marines**
 - ❖ Ne figurent pas dans le catalogue (nécessité d'études en amont plus poussées selon l'ADEME)

Projet C : captage + stockage de CO₂

- **1 seul projet retenu** :
(nouveau procédé permettant d'extraire le CO₂ des fumées d'une centrale au charbon)
- **Autre en cours de validation** : stockage du CO₂ dans le sous sol du Bassin Parisien.



STATION SERVICE

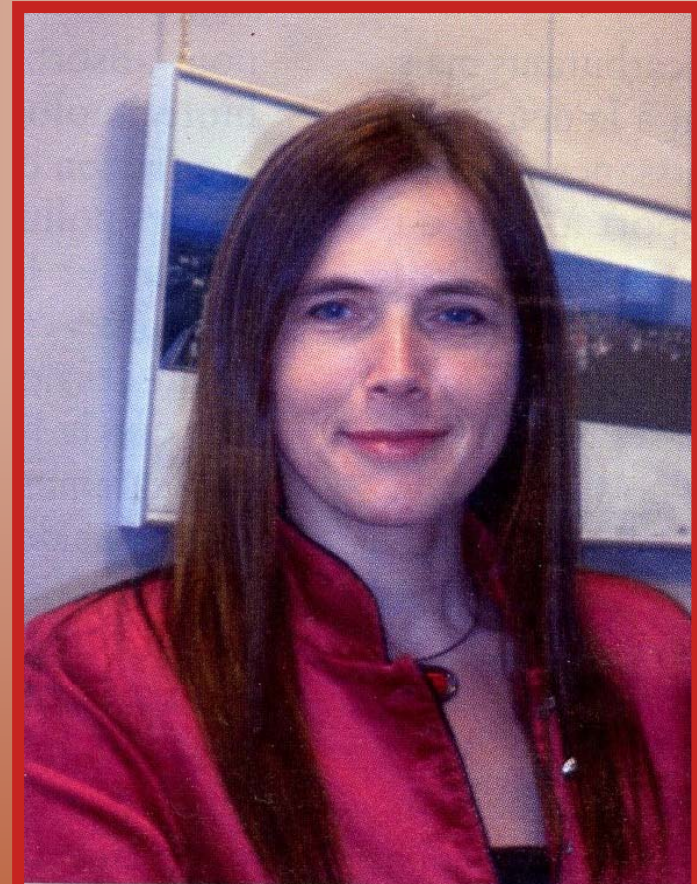
13 - Réflexions européennes

- Le remplacement d'une partie de combustibles fossiles par des agrocarburants (AC) devrait permettre de :
 - Réduire l'empreinte environnementale des transports et des autres activités gourmandes en énergie.

- L'ECIPE (European Center for International Political Economy) **a pourtant émis des réserves :**

« La politique des AC de l'Europe est coûteuse, protectionniste vis-à-vis des agriculteurs européens et contraire aux règles de l'OMC ... »

- Mais Maive RUTE, responsable depuis juillet 2009 de la direction « Biotechnologies agroalimentaire » de la Direction Générale de la Recherche à la Commission Européenne, a apporté quelques arguments favorables aux AC de 2^{ème} génération.



Habituée des défis, Maive Rute aimerait profiter de sa fonction pour contribuer à construire une nouvelle bioéconomie.

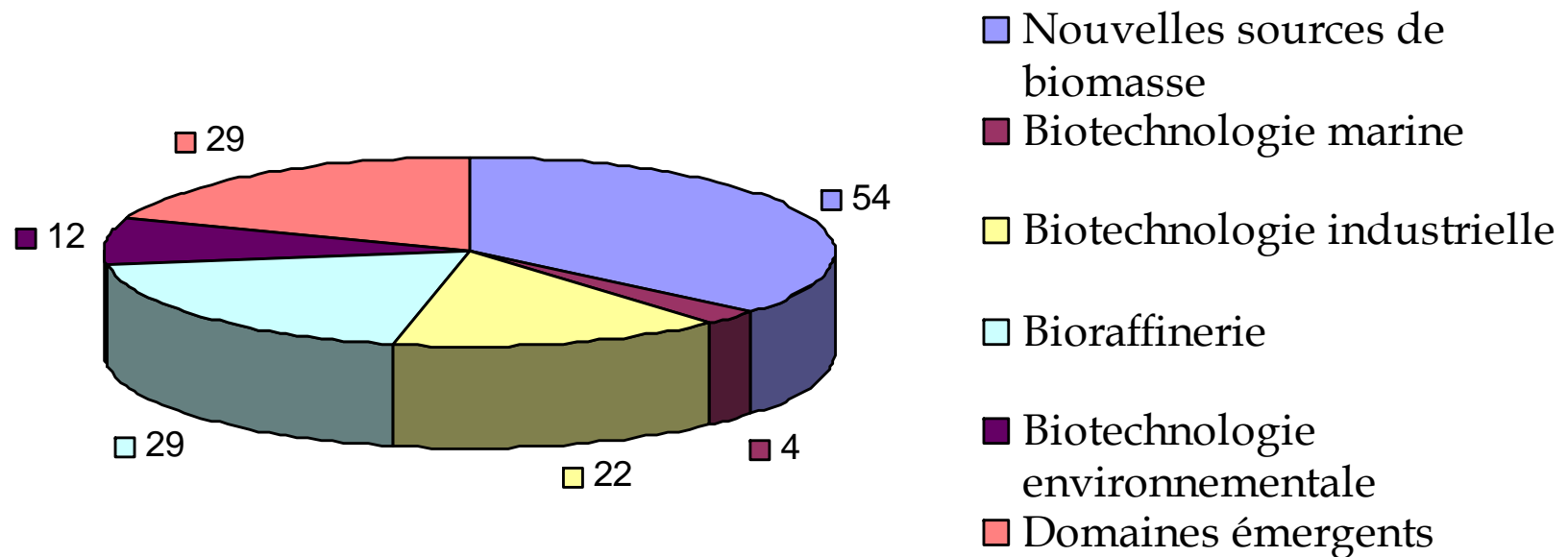
- L'un des problèmes immédiats des AC (non lié aux aspects commerciaux) est la **concurrence entre les AC et les récoltes destinées à l'alimentation.**
- 1^{ère} génération des AC : **principale source des additifs** des AC utilisés aujourd'hui
(**Ethanol** de blé, maïs, betterave,
Ester d'huile de colza ou tournesol).

- 2^{ème} génération : davantage de recherche aujourd'hui :
 - pas les récoltes à visée alimentaire,
 - mais les déchets de ces récoltes comme matières premières,
 - donc la concurrence de ces AC de 2^{ème} génération avec la nourriture est beaucoup plus réduite.
- 3^{ème} génération : recherche sur les microalgues (huiles pour biodiesel)

- Soutien actuel de la recherche sur la production d'AC (uniquement ceux appartenant à la 2^{ème} génération)
 - Cela reflète la reconnaissance de l'importance de la nourriture par rapport à celle du carburant.
 - Il importe au final que tout système agronomique soit équilibré, dans l'intérêt de la Société et surtout qu'il soit durable.

- Il est indispensable de faire de la recherche afin d'établir les bases d'un débat informé et d'éviter une polarisation du débat qui peut se révéler destructrice, comme l'a montré le cas de celui sur les OGM en Europe.

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?



Budget alloué de 2007 à 2009 dans la priorité thématique « Biotechnologie » du 7^{ème} PCRD



14- Impact des énergies renouvelables

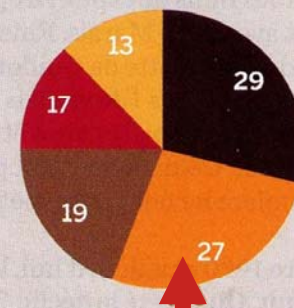
- Les énergies renouvelables

Elles pourraient devenir le troisième secteur industriel au monde d'ici dix ans, « derrière l'automobile et l'électronique », précise le Fonds mondial pour la nature (WWF) dans son rapport « Clean Economy, Living Planet » (« Énergie propre, planète vivante »), publié en décembre. Les ventes de « technologies vertes » – utilisant l'éolien, le solaire ou les biocarburants, ou permettant

d'économiser l'énergie – croissent à un rythme soutenu : jusqu'à 15 % par an pour les énergies renouvelables, 5 % par an pour l'efficacité énergétique. En 2020, elles atteindraient respectivement 1 025 milliards d'euros et 550 milliards d'euros. Paradoxe : la Chine, premier émetteur de gaz à effet de serre, est aussi le pays qui investit le plus dans ce secteur.

Les énergies renouvelables (marché mondial, en %)

■ Éolien ■ Biocarburants
■ Autres ■ Isolation ■ Solaire



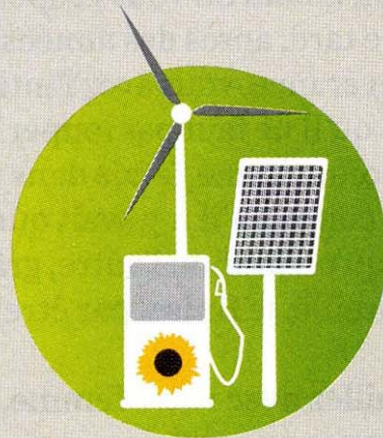
AGROCARBURANTS

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

LE BOOM DES TECHNOLOGIES VERTES

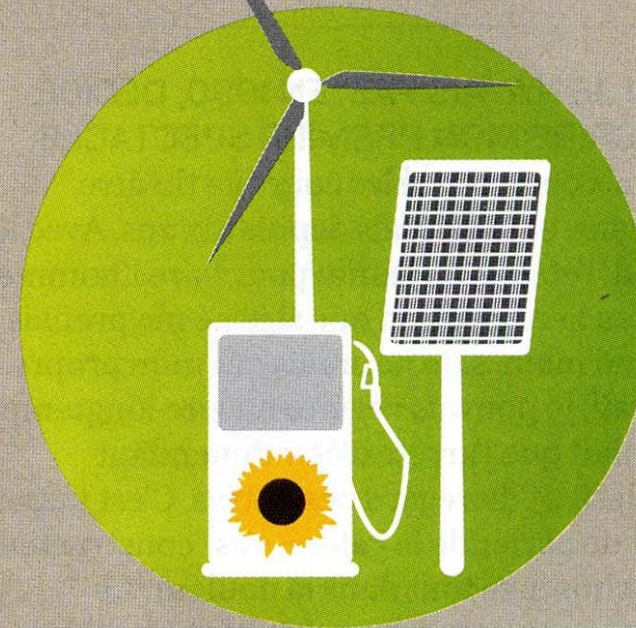
Évolution mondiale des ventes dans le secteur d'ici 10 ans

630 MILLIARDS
D'EUROS PAR AN



AUJOURD'HUI

1 600 MILLIARDS
D'EUROS PAR AN



EN 2020

- Les ventes de « Technologies propres »

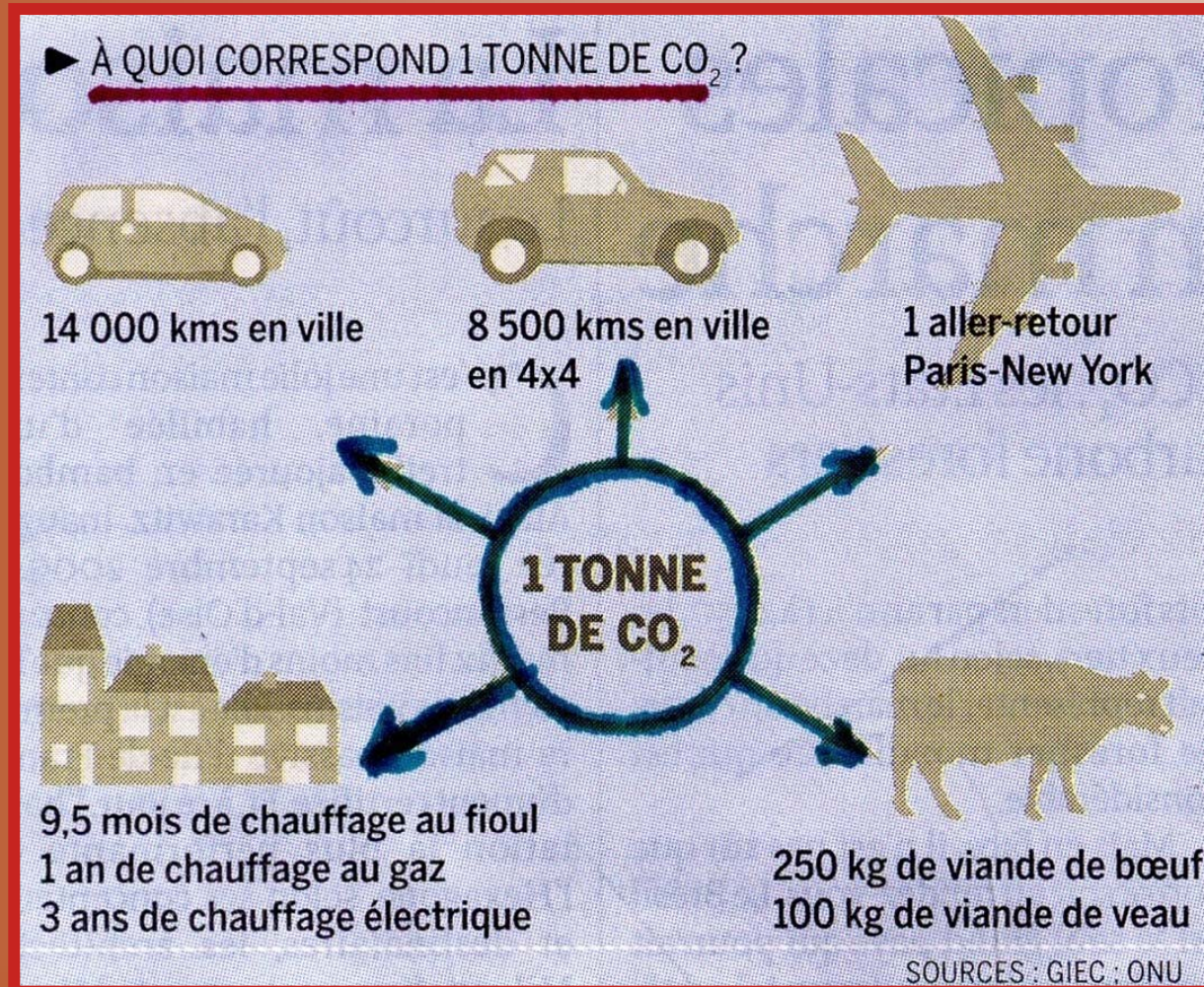


- Séduisant tour de passe-passe des AC :
 - Gestion des excédents de l'agriculture
 - Tout en réduisant à la fois :
 - La facture pétrolière
 - Les gaz à effet de serre (GES)
- Fabriquer un combustible à partir de végétaux dispense en effet de puiser dans les hydrocarbures fossiles du sous sol.
- En plus, au cours de leur croissance, les végétaux absorbent le CO₂ atmosphérique qu'ils stockent.

- Une fois transformés en carburants, ils libèrent ce qu'ils ont auparavant fixé :
 - En théorie, ils ne feraient donc que rendre à l'atmosphère ce qu'ils lui ont emprunté.
 - En pratique, ce schéma idyllique dérape un peu
 - Estimation du « Global Carbon Project » (17 novembre 2009)
 - Près de 10 milliards de T de carbone (GtC) émis
 - Pour l'essentiel : émissions humaines de CO₂ (environ 8,7 GtC)
 - Une baisse de 2,8 % des émissions globales de CO₂ a été enregistrée en 2009 (par rapport à 2008)

- L'agriculture européenne émet trop de CO₂
(ref: Schulzé, Ed et al., 2009, Nat. Geosci. 2, 842-50)
 - Ecart entre les émissions de GES provenant de l'agriculture européenne et ce qu'elle peut absorber par la végétation :
 - Estimé à 34 millions de T
 - Donc contribution de l'agriculture au réchauffement climatique.

- En Europe : coût élevé en matière de GES par l'agriculture intensive lié à :
 - Méthane (élevage bovin)
 - Oxydes d'azote (fertilisation des terres)
- Forêts + prairies de l'UE :
 - Absorption de 125 millions de T de carbone/an (2000 - 2005)
 - Equivalent de 12 – 13 % du milliard de T de CO₂ issu de la combustion des énergies fossiles.



- Création de l'IRENA : Agence Internationale dédiée aux Energies Renouvelables
 - **Traduction** : International Renewable Energy Agency
 - **Lancée** le 26 janvier 2009 à Bonn (Allemagne)
 - **Budget annuel** : 25 millions de dollars
 - **Missions** :

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

- a) Promouvoir et lever les freins au développement de l'ensemble des énergies renouvelables
 - Solaire
 - Eolien
 - Biomasse
 - Agrocarburants
 - Géothermie
- b) Fournir des conseils pratiques
- c) Aider à améliorer le cadre réglementaire
- d) Faciliter l'accès à l'information
- e) Jeter des ponts entre le Nord et le Sud en favorisant l'assistance technique, le montage des financements, aider les PVD à posséder ces techniques de façon autonome.

- 1^{ère} assemblée générale en 2010
- 75 pays signataires déjà partenaires du projet.
 - (*France : OK* ;
 - USA, Japon, Brésil, Chine : Non)

Agrocarburants de 1ère génération :



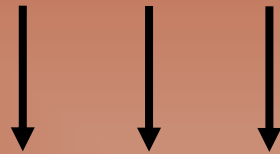
Pas si verts ..

- Début de la vague des AC au Brésil en 1975 après le 1^{er} choc pétrolier de 1973 :
 - Indépendance énergétique du pays.
 - Ambition de devenir la nouvelle Arabie Saoudite de l'or vert.
 - Aujourd'hui : fourniture de près de 50% de la production mondiale d'éthanol (carburant du futur issu des résidus de l'industrie sucrière).

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

- En 2008 : éthanol : plus de 40% du carburant à la pompe (hors diesel) + 80% des achats de voiture.
- Ethanol : énergie propre, renouvelable et déjà en phase industrielle au Brésil (20 millions de véhicules).
- Autres pays sud-américains voulant emboîter le pas au géant brésilien : la Colombie.
(mais nouveaux conflits avec la très rentable coca).

- Mais conséquences de l'expansion de la monoculture de canne à sucre, de soja ou de palmier à huile pour les besoins des industries alimentaires, cosmétiques :



- Violation des droits humains, des pollutions et pertes de biodiversité, des paysans privés de leurs moyens de vivre.
- Mais toujours plus d'étendues de ces cultures
 - pour leur marché intérieur (réduction de la facture pétrolière)
 - pour répondre aux demandes des pays riches qui se ruent sur les AC.

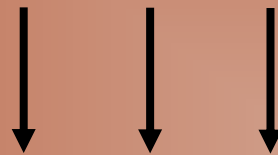
Les Agrocarburants ont-ils un futur ?



Agrocarburants de 1^{ère} génération. Pas si verts ...

- En Europe : essor à partir de 1992, avec l'adoption de la convention climat au sommet de Rio de Janeiro.
- Aujourd'hui en 2010 : après le Brésil et les Etats-Unis, c'est l'Europe qui en produit le plus, même si les AC ne représentent que 2% des carburants utilisés pour le transport.

- Mais la production croît de 15% par an depuis 2005, notamment sous l'impulsion des agriculteurs organisés en puissantes associations :



- En **France** : 2 produits sont aujourd'hui commercialisés :
 - Le **bioéthanol** qui se mélange à l'essence. (E₅, E₁₀ (depuis le 1^{er} avril 2009), E₈₅ en Suède)
 - Le **biodiésel** qui s'immisce au **gazole**.

- Bioéthanol

- Utilise le sucre provenant :

- Des plantes à amidon (blé, maïs, pommes de terre)
 - Des betteraves à sucre et de la canne à sucre (Brésil, Colombie)

- La fermentation du glucose produit un alcool, l'éthanol, qui est directement mélangé à l'essence (jusqu'à 85% dans le carburant E₈₅ actuellement commercialisé surtout en Suède)

- L'utilisation du E₈₅ nécessite une adaptation du véhicule à la technologie **FLEX-FUEL**, qui renchérit son coût.
- Mais pour le consommateur : principal handicap : réseau de distribution réduit
 - Des 500 stations promises pour 2008, seules 190 existent.
 - Voir la carte d'implantation des pompes E₈₅ en France :

www.roulonspropre-roulonsnature.com/implantation/

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

– Schéma récapitulatif de la filière



Productions agricoles renouvelables

Marché des carburants

Hydrocarbures

PLANTES SUCRIERES

- Canne à sucre
- Betterave

→ Saccharose

CEREALES

- Maïs
- Blé

→ Amidon

Segment de l'essence

Ethanol

↓ + isobutylène
ETBE (1)

ESSENCE

← Hydrocarbures

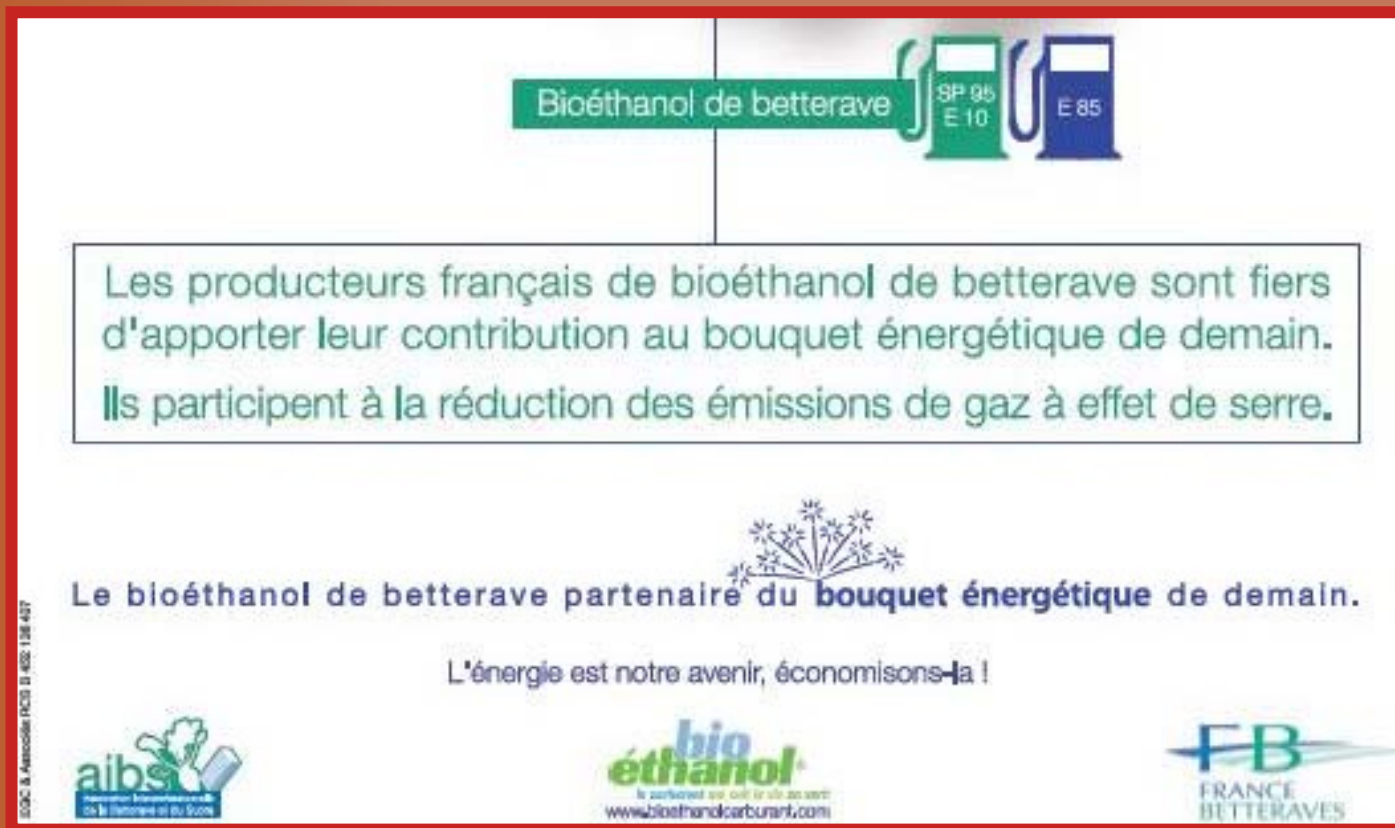
- Pétrole
- Gaz

Charbon

1) ETBE : Ethyl-tertio-butyl-éther : obtenu par réaction entre une molécule d'éthanol et l'isobutylène (47% de bioéthanol et 53% d'isobutylène). L'isobutylène est issu du produit de raffinage du pétrole.

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

- Page de publicité dans le journal « Le Monde » (décembre 2009) sur le bioéthanol de betterave produit par la société France Betteraves.



Bioéthanol de betterave




SP 95
E 10

E 85

Les producteurs français de bioéthanol de betterave sont fiers d'apporter leur contribution au bouquet énergétique de demain.
Ils participent à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Le bioéthanol de betterave partenaire du bouquet énergétique de demain.

L'énergie est notre avenir, économisons-la !

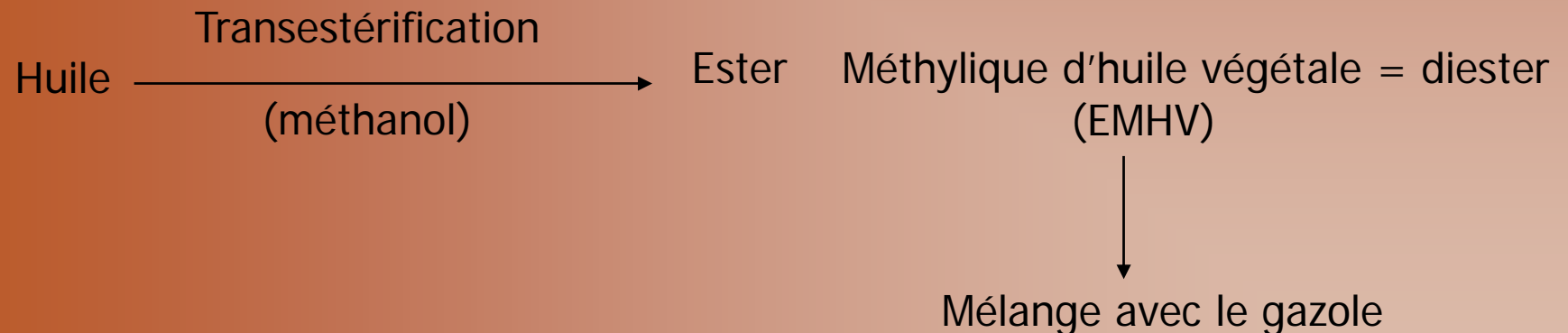
  

Logo de l'Association FACS 01 4522 1104 457

- Biodiesel

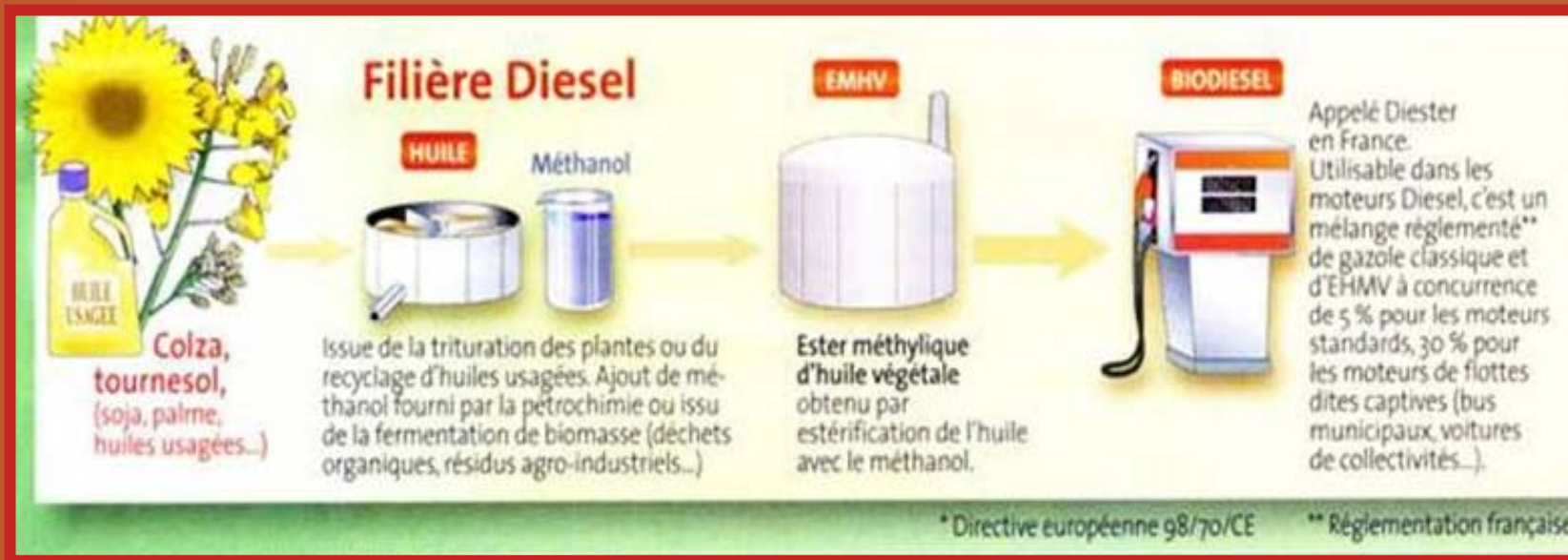
- Procédé de fabrication un peu plus complexe, à base d'Huile extraite, soit des graines de colza, du tournesol ou de soja, soit directement à partir d'huiles usagées (friture).

- Schéma de principe :



- Pas besoin d'adapter le moteur, ni de mettre un réseau de distribution.
- D'ailleurs, le gazole actuel contient souvent du EMHV à hauteur de 3%.
- Mais le maximum que l'on puisse ajouter au carburant fossile gazole : 30% (autobus, ...)

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?



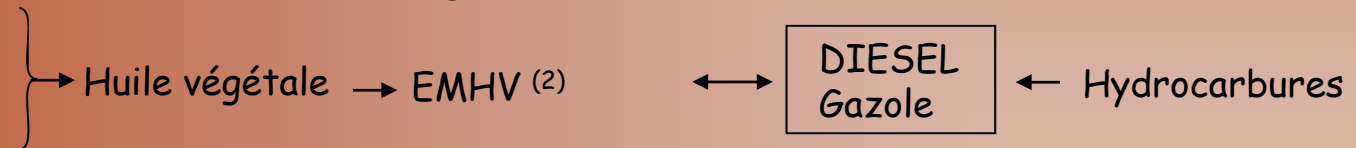
Productions agricoles renouvelables

Marché des carburants

Hydrocarbures

OLEAGINEUX

- Soja
- Colza
- Tournesol



- 2) EMHV : Esters méthyliques d'huile végétale obtenus à partir d'une estérification d'huile végétale (colza ou tournesol par du méthanol. Ils s'incorporent dans le gazole.

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

– Exemple d'application en Lorraine :

- Le groupe mondial de transport **TNT France Express** (spécialisé dans le transport des colis) teste à Maxéville le **B₃₀** (70% de gazole et 30% d'EMHV)
- 2 poids lourds et 8 fourgons roulent ainsi plus « propres »



- Face à ces limites techniques, les enjeux environnementaux sont colossaux :
 - Car les filières des AC (depuis la culture jusqu'à la combustion, en passant par la mise sur le marché) soulève des questions fondamentales.

- 1^{ère} question : détournement des terres arables censées nourrir les populations :
 - Compétition avec les produits alimentaires provoquant la flambée des prix des denrées alimentaires de base (ex : tortillas au Mexique)
 - Gourmandes en eau, les cultures céréalières risquent par ailleurs d'épuiser des réserves déjà comptées pour une partie de la planète.

- Et d'entraîner une **déforestation** au *Brésil* et en *Asie du Sud-Est* (principaux producteurs)



- Quelques 13 millions d'ha de forêts sont abattus dans le monde entier chaque année (d'après l'organisation environnementale WWF)
- 96% de déforestation en Amazonie, en Indonésie et dans le bassin du Congo.
- Ce rythme de destruction des massifs est à l'origine de presque 20% des émissions globales des GES.

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?



Vue aérienne de l'Amazonie brésilienne. Les forêts y sont brûlées pour céder la place au bétail et à l'agriculture. Qu'en sera-t-il avec le boom des agrocarburants ?

Bornéo, la forêt assassinée

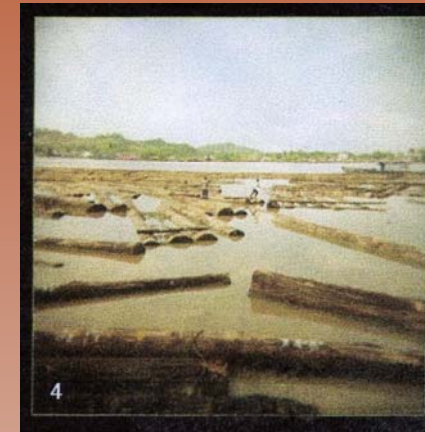
La couverture forestière de l'Indonésie disparaît à toute vitesse pour laisser place à l'exploitation intensive du palmier à huile. La photographe Isabelle Alexandra Ricq a suivi toutes les étapes de ce désastre écologique au Kalimantan, sur l'île de Bornéo.



Les Agrocarburants ont-ils un futur ?



GREENPEACE



La nature est mise en coupe réglée

En quarante ans à peine, près des trois quarts des cent millions d'hectares de la forêt primaire de l'archipel indonésien ①, la plus vaste au monde après l'Amazonie, sont partis en fumée selon un scénario immuable : l'Etat cède des concessions à des forestiers qui prélevent les essences précieuses ②, ③ pour les exporter. Puis les bois plus communs partent à destination de l'industrie papetière ou celle du contreplaqué ④. Lorsque la forêt est jugée trop abîmée, le terrain est cédé à la monoculture industrielle du palmier à huile (*Elaeis guineensis*) dont l'Indonésie est devenue le premier

producteur mondial. Les communautés locales dayaks, qui pratiquent une agriculture de subsistance, sont alors chassées et privées de leurs droits, la forêt est défrichée à coups de pelleteuses ⑤, puis ce qui reste des terres est souvent brûlé en dépit de l'interdiction officielle. Or les sols tourbeux de ces zones forestières ont absorbé depuis des siècles des milliards de tonnes de carbone qui sont rejetées dans l'atmosphère lors de ces incendies. L'Indonésie est ainsi devenue, malgré son faible développement industriel, le troisième pays le plus pollueur au monde en 2007.

FÉVRIER 2009 - SCIENCES ET AVENIR • 75

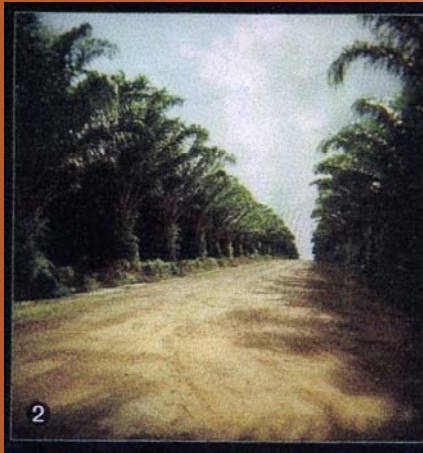
Le palmier à huile ravage l'écosystème

Avec plus de six millions d'hectares plantés et des pépinières à perte de vue ¹, la monoculture du palmier à huile ² est en pleine expansion et on estime à 3,5 millions le nombre de personnes travaillant pour le secteur. La demande mondiale pour l'alimentation, les cosmétiques et les agrocarburants croît de 3 % par an, l'Europe étant le principal importateur. La culture s'étend de manière spectaculaire avec la bénédiction du FMI et de la Banque mondiale. Les oranges-outangs en quête de nourriture sont systématiquement tués lorsqu'ils s'aventurent sur les plantations, leurs petits capturés et revendus au marché noir, à des particuliers ou à des zoos. Les plus chanceux sont

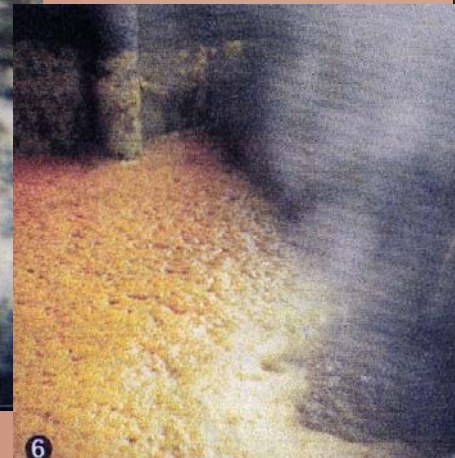
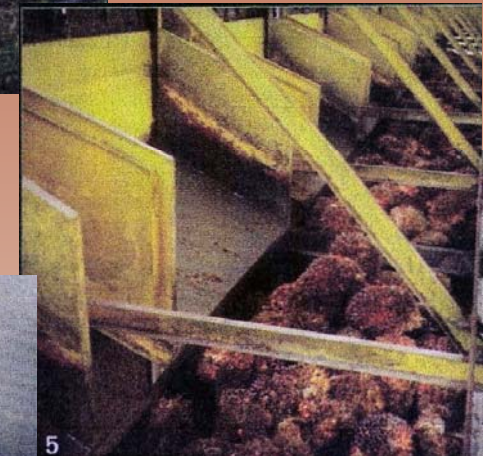
recueillis dans des centres privés surpeuplés comme celui de Nyaru Menteng, sans que l'on sache s'ils pourront un jour être rendus à la liberté ³. C'est la rentabilité exceptionnelle du palmier à huile qui déclenche ces ravages : une fois ses fruits récoltés ⁴, ⁵, il suffit de quelques heures pour en extraire l'huile ⁶. Son faible coût de production en fait le corps gras le moins cher du monde. Le récent engagement de l'Union européenne d'utiliser 10 % d'agrocarburants dans le secteur des transports à l'horizon 2020 risque d'accentuer encore la pression sur les dernières forêts d'Indonésie.

Textes et photos : Isabelle Alexandra Ricq

76 • SCIENCES ET AVENIR - FÉVRIER 2009



Les Agrocarburants ont-ils un futur ?



Agrocarburants de 1^{ère} génération. Pas si verts ...

La palme du désastre



Tronçonneuse.
Le boom de l'huile de palme menace les forêts de Bornéo et de tout le Sud-Est asiatique.

SOS. Feu volontaire dans la forêt de Giam Siak Kecil, Indonésie.

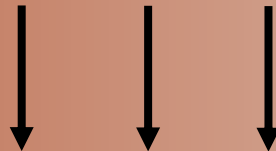
CHAQUE ANNÉE,
DEUX MILLIONS
D'HECTARES
DE FORÊT
SONT COUPÉS
POUR PLANTER
DES PALMIERS
ET ALIMENTER
LES USINES
DE PÂTE À PAPIER

Urgence. Militants défenseurs du climat dans la péninsule de Kamoar, Malaisie.



– 2^{ème} question : le bilan des GES émis par les AC n'est pas si clair.

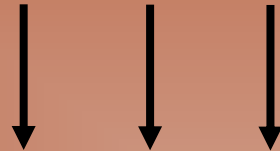
- Bilans CO₂ réalisés par la société Ecobilan pour la DGEMP (Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières) et l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie) en 2002 : revus à la hausse dans le rapport 2008 :



- E. Poitrat (ADEME) : « *Il faut mettre au point une méthode de calcul homogène et fiable* ».

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

- **Alerte d'un groupe d'experts** sur le fait que ce **problème est plus sérieux encore** (Searchinger T. et al., 2009, Science, 326, 527-8 ; Biofutur, décembre 2009).



- **Formules** utilisées depuis le protocole de Kyoto pour l'évaluation de la **réduction des GES** associée à une politique donnée contiennent des **erreurs grossières**.
- **Ignorance des émissions de CO₂** des **véhicules** et des **usines** (quand ceux-ci **brûlent des AC**).
- **Pas de prise en compte des variations d'émissions** associées à la **récolte de biomasse**.

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

- Ex : Déforestation massive d'une région pour planter des champs de biomasse → comptée comme une réduction massive d'émissions, alors qu'elle relâche dans l'atmosphère des quantités considérables de CO₂ et réduit sa capture par les arbres.
- Ironie de la situation : il est très facile de corriger le tir mathématiquement.
- Cependant, l'Europe + Etats-Unis : ont déjà établi en partie leur cadre réglementaire pour contrôler les GES.
- Changer les algorithmes fautifs : entraînerait donc une refonte sérieuse des programmes.
- Et il est loin d'être évident que la volonté politique existe pour pareille correction de cap !

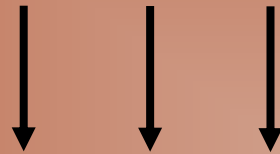
- Face à tant d'objections, l'UE, qui avait fixé un objectif de 10% pour la part des AC dans les transports d'ici à 2020, envisage de revoir à la **baisse** ses ambitions.

- Les faux avantages des AC de 1^{ère} génération
 - Il se confirme que la France s'est engagée trop vite dans les AC de 1^{ère} génération.
 - Aujourd'hui : 49 usines en produisent (29 dans la filière Diester, 20 dans la filière éthanol).
 - Rapport d'expertise remis par un groupe de chercheurs au Ministère de l'Ecologie :
 - Inquiétude de l'impact environnemental de ces produits « verts »
 - Remise en question de leur intérêt en matière de lutte contre le réchauffement climatique.

- Le **Conseil Scientifique du Patrimoine Naturel et de la Biodiversité**
 - avait demandé aussi une étude d'impact en 2006
 - voit donc ses craintes renforcées.
- **Culture des plantes servant à la fabrication des AC** (colza, tournesol, betterave, blé, ...)
 - implique un plus grand usage de **pesticides** et **d'engrais azotés** et **phosphorés** polluant les eaux.

- **AC en contradiction** donc avec les objectifs :
 - **Internationaux** de **stopper la perte de biodiversité** planétaire dès 2010.
 - **Nationaux** de baisser de moitié la consommation de produits phytosanitaires d'ici à 2018.
- **En outre** : l'usage des engrais émet du protoxyde d'azote (N_2O) au **pouvoir de réchauffement 300 fois supérieur au CO_2** , ce qui réduirait à néant les **gains d'émissions de gaz à effet de serre (GES)** escomptés.

- A ces craintes déjà exprimées s'ajoutent désormais des **considérations énergétiques** :



- Le rendement de la photosynthèse étant inférieur à 1%, la biomasse fournit moins de puissance que les panneaux photovoltaïques par exemple.

- Les **AC** n'ont donc pas d'autre justification que de fournir du **carburant** utilisable pour les **transports** en **substitution des carburants d'origine fossile** :
 - Donc **sauver la voiture individuelle** et son moteur à explosion,
 - Alors qu'on devrait favoriser des modes de déplacement alliant **petits véhicules électriques** et **transports en commun**.
 - Pourtant, les **Français ne réussiront pas à diviser par 4 leurs émissions de GES d'ici à 2050**, sans renoncer à la voiture telle qu'elle existe aujourd'hui



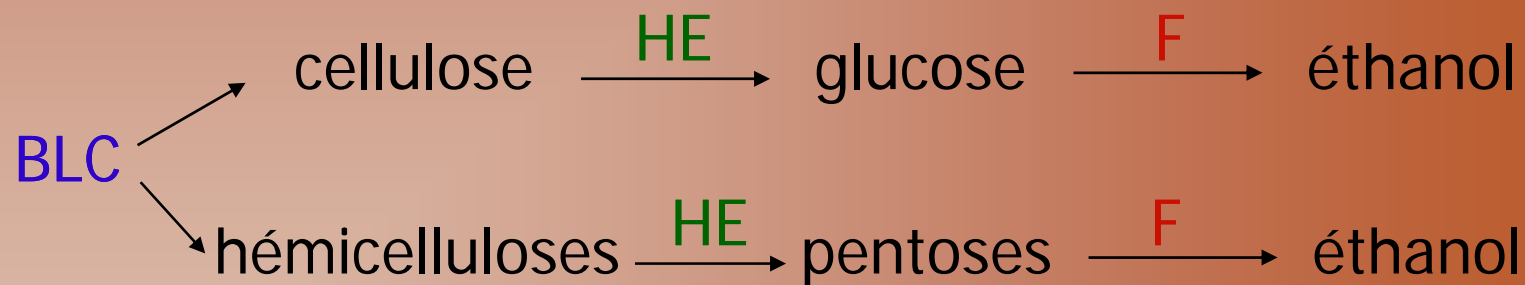
Agrocarburants de 2ème génération

(Matières Premières Non Alimentaires)

Filière Ethanol

Filière Carburant de synthèse

- Les AC de 2^{ème} génération peuvent être obtenus :
 - Par hydrolyse enzymatique (HE) de la biomasse lignocellulosique (BLC) suivie d'une fermentation (F) des sucres simples (glucose, pentoses) en alcool éthylique.



Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

- Par synthèse (voie thermochimique) avec formation de carburant gazeux, puis liquide (hydrocarbures appelés BtL)
- Mais cette filière est encore au berceau
- Malgré la montée des inquiétudes, le gouvernement français qui a donné en 2006 une forte publicité au bioéthanol à partir de produits alimentaires en créant un groupe de travail présidé par Alain Prost (sous Chirac), a réaffirmé sa décision d'incorporer aux carburants traditionnels 7% d'AC à l'horizon 2010 et 10% en 2015.

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

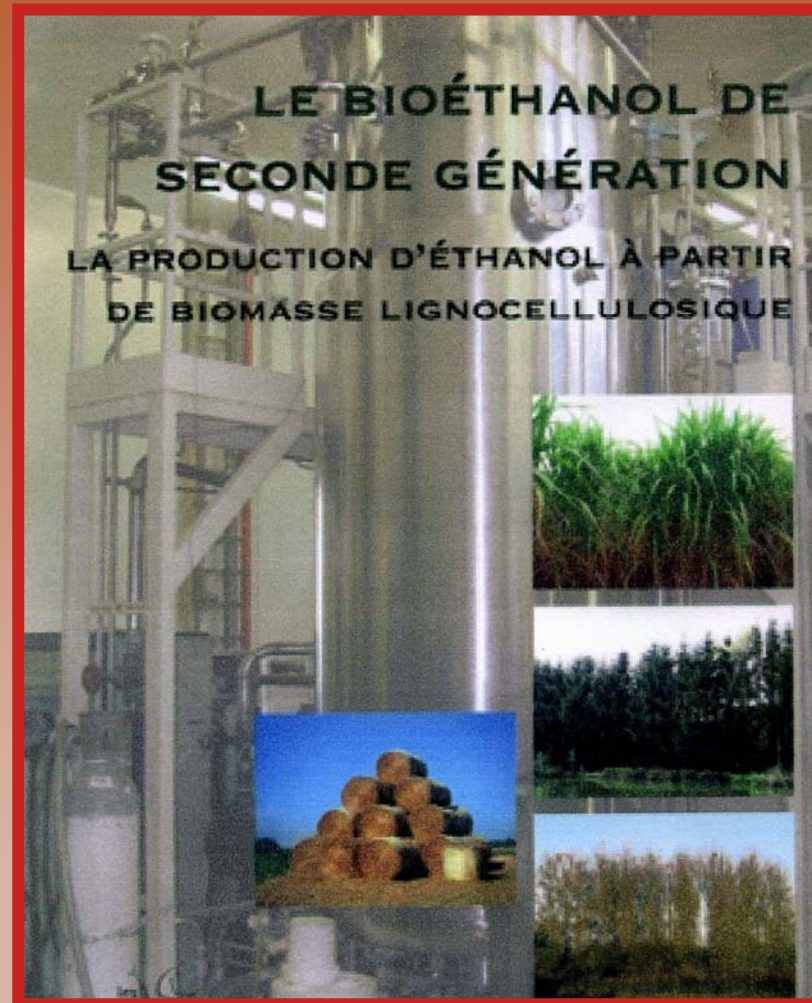
- Le gouvernement français (et l'Europe) parie donc sur les AC de 2^{ème} génération issus de plantes non agricoles, en s'appuyant sur un programme intitulé biotfuel.
- Conclusions du Grenelle de l'Environnement :
 - Estimation de 3 millions de T de bois mobilisables pour les AC en France, sans atteinte à la biodiversité des forêts.
- Selon la directive sur les exigences européennes des énergies renouvelables :
 - Un AC, pour être comptabilisé dans le plan climat, devra permettre une réduction de 35% des GES par rapport à l'énergie fossile qu'il remplace en 2010, et de 50% en 2013 !

- Lancement de BioTFuel dans la contestation (Biofutur, décembre 2009)
 - Feu vert de l'ADEME à ce programme dont l'ambition est de tester la production industrielle d'AC de 2^{ème} génération à partir de coproduits de l'industrie agricole et forestière.

- **Projet d'envergure :**
 - Sofiprotéol (établissement financier de la filière française des huiles et protéines végétales).
 - CEA
 - IFP
 - Total
 - Un partenaire gazéifieur
 - ARD (Agro-industrie Recherches et Développements (Pomacle))
- **Près de 120 M€** investis sur 5 ans dans le projet.

- **2 sites pilotes** mis en place
 - Pomacle-Bazancourt, près de Reims (Marne). Projet Futurol
 - Compiègne (Oise)
- **Si essais concluants** : des unités produisant annuellement 200 à 300 000 l d'AC pourraient voir le jour.
- **Projet contesté par les associations écologistes**
 - Pour **France Nature Environnement** : BioTFuel n'est pas « beautiful »
 - Demande **du gel** de tout développement industriel des AC (1^{ère} ou 2^{ème} génération) tant que leur intérêt environnemental et énergétique n'aura pas été démontré.

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?



Les Agrocarburants ont-ils un futur ?



- Les procédés techniques de la transformation et quelques résultats de rendement en éthanol en Belgique.
 - **Biomasse lignocellulosique** : BLC → éthanol
 - *3 polymères*
 - Cellulose : 35 - 50%
 - Hémicelluloses (pentoses) : 20 - 30%
 - Lignine : 15 - 25%

- *Prétraitements physique, chimique* (élimination de la lignine) pour rendre accessible la cellulose et les hémicelluloses.
- *3 procédés de production*
 - A = fermentation des hexoses
 - B = fermentation successive des hexoses et des pentoses
 - C = fermentation simultanée des hexoses et des pentoses

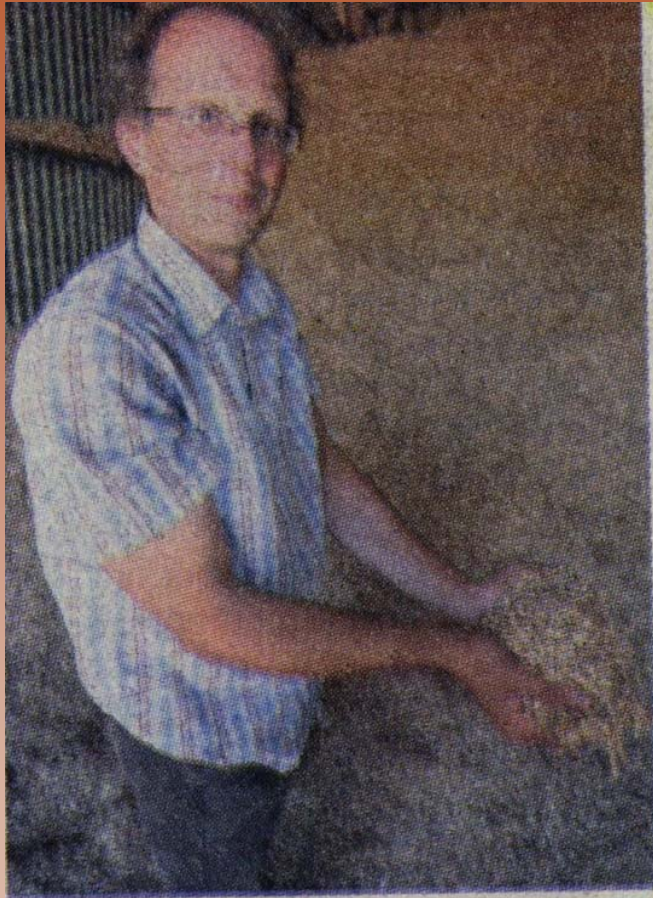
Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

- *Quelques résultats de rendements* (d'après Didderon I., Destain J. et Thonart P., Presses Agronomiques de Gembloux, 2009)
 - **Epicéa** :
 - ❖ 425 – 465 litres d'éthanol/T de matière sèche (MS) (procédé C)
 - **Paille** :
 - ❖ 425 – 470 litres d'éthanol/T de MS (procédé C)
 - **Miscanthus** :
 - ❖ 337 – 367 litres d'éthanol/T de MS (procédé C)
 - ❖ 240 litres d'éthanol/T de MS (procédé A)
 - ❖ 360 litres d'éthanol/T de MS (procédé B)
 - **Peuplier**
 - ❖ 320 litres d'éthanol/T de MS (procédé A)
 - ❖ 420 litres d'éthanol/T de MS (procédé B)
 - **Constat général** : la fermentation des hémicelluloses augmente le rendement en éthanol

Miscanthus, le nouveau géant vert



Les Agrocarburants ont-ils un futur ?



Dans le hangar de l'exploitant, la presque totalité de la production française.



Granulés, copeaux... On peut même fabriquer des pots biodégradables avec le miscanthus.



Emmanuel de Maupeou ne tarit pas d'éloges sur les vertus de cette plante.

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?



Les Agrocarburants ont-ils un futur ?



- *Coût de la production* (d'après Didderon et al., 2009)
 - 2 facteurs les plus coûteux :
 - ❖ Prétraitement (33% du coût total)
 - ❖ Hydrolyse enzymatique (40%)
 - Coût (2006) : 0,26 – 0,34 €/l (un peu élevé, mais moins qu'il y a 5 ans)
 - Diminution des coûts par l'augmentation de la taille des usines + amélioration des procédés mis en œuvre
 - En 2020 , on devrait descendre à 0,15€/l
 - Comparaison avec la betterave sucrière : rendement 3 à 4 fois supérieur

- *Bilan environnemental globalement positif*
 - **Ex** : avec Miscanthus → apport minimal d'intrants (fertilisants + pesticides)
 - Avantage faible en termes d'émission de GES par rapport à la 1^{ère} génération
 - Mais limitation de composés polluants (hydrocarbures aromatiques, hydrocarbures gazeux, ...)

- Autre exemple de travaux de production d'éthanol à partir de déchets végétaux
 - Site : UMR 6098, CNRS Aix Marseille avec grandes sociétés privées (Genencor, Novozymes)
 - Conditions exp. : utilisation d'un champignon Ascomycète *Trichoderma reesei*, qui pourrait être amélioré génétiquement afin d'optimiser le rendement de la biodégradation (incroyable producteur d'enzymes extracellulaires appelées cellulases et hémicellulases)

- Autre exemple de dopage de la fabrication d'enzymes hydrolytiques pour les AC de 2^{ème} génération (réf : Le Crom S. et al., 2009, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 106, 16151-6).

– Une équipe internationale de scientifiques

- L'ENS de Paris
- Le Joint Genome Institute
- Le Pacific Northwest Institute
- Le Pacific Northwest National Laboratory
- L'Université technologique de Vienne
- La société de Biotechnologie danoise Novozymes

a identifié chez le principal **champignon** utilisé dans l'industrie, *Trichoderma reesei*, les **mécanismes génétiques** impliqués dans **l'augmentation** de la production de **cellulases** et **d'hémicellulases**.

- *Si plusieurs modifications* semblent nécessaires pour améliorer la production **d'enzymes**, **l'objectif** est bien de créer, par **mutagénèse**, des souches hautement productives permettant d'améliorer la rentabilité de la filière.

- Alliance franco américaine pour les AC de 2^{ème} génération
 - **Biométhodes** : entreprise leader sur le marché européen de **l'Ingénierie Enzymatique**
 - 16 juillet 2008 : signature d'un partenariat exclusif mondial avec **Virginia Tech Intellectual Properties Inc.** (agence de valorisation de la prestigieuse université américaine Virginia Tech).

- **Biométhodes** installée dans le **Bioparc du Génépole d'Evry** depuis 1997.
 - Connue par ses technologies **d'optimisation des protéines par mutagenèse**.
 - « **Massive Mutagenesis** » : production de variants enzymatiques optimisés.

- **Accord avec Virginia Tech :**
 - Développement d'un **procédé de conversion de biomasse non alimentaire** en **bioéthanol** et en **biohydrogène**
 - Courant 2009 : unité pilote implantée sur le sol américain.
 - Intégration des prétraitements de biomasse + technologies d'optimisation **d'enzymes** pour **l'hydrolyse de la cellulose en sucres fermentescibles**.

- **Réf :**
 - **www.biomethodes.com**
 - **www.vtip.org**

- Exemples de pilote pour fabriquer des AC à partir de bois (et résidus de bois) par la voie enzymatique (réf : Biofutur, mars 2009)
 - **Site** : usine à papier de Saint-Gaudens (Haute-Garonne), appartenant à la compagnie canadienne des ressources forestières Tembec.
 - **Laboratoires concernés** :
 - INSA (Institut National des Sciences Appliquées) de Toulouse
 - Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Biologiques et des Procédés (LISBP) de Toulouse.

– Protocole de fabrication :

- Bois → Pâte à papier → hydrolyse → sucres → fermentation → éthanol
- Recherche actuelle sur la sélection **d'enzymes adaptées** pour transformer la pâte à papier.

– Soutiens :

- ANR (Agence Nationale de la Recherche) dans le cadre de son programme national de recherche sur les [Bioénergies](#).
- ADEME
- Genencor International (N°2 mondial des enzymes installé à Palo Alto, Californie)
- EDF
- Institut du Pin
- Société Maguin Intéris, spécialisée dans l'ingénierie sucrière
- Pôles de compétitivité d'Aquitaine et de Midi-Pyrénées.

- Un AC issu de l'herbe (Bioéthanol)
 - **Site** : pays de Galles
 - **Projet « Grassohol »** : transformation de l'herbe en carburant vert (éthanol) destiné aux véhicules.
 - **Objectif** : fabrication de l'éthanol à partir de **ray-grass** pluriannuel, une plante fourragère, cultivée en association avec du **trèfle blanc**, qui fixe l'azote dans le sol et agit comme un engrais naturel.

- Recherche actuelle des meilleures méthodes d'extraction et de fermentation des sucres, ainsi que des **techniques** permettant d'obtenir des rendements et des taux de production d'éthanol maximale.
- Réf : www.ibwales.com/fr

- Des bactéries destinées à produire des AC à base d'alcools à longue chaîne carbonée.

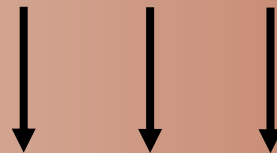
– 1^{er} exemple :

- **Construction génétique de la bactérie** : *Escherichia coli*.
- **Manipulation** réalisée avec succès par les chercheurs américains de l'équipe de James C. Liao, de l'Université de Californie à Los Angeles :
 - Ajout **2 gènes codant une enzyme spécifique**
 - Production de **divers alcools à longue chaîne** (5 à 8 carbones)
 - Avantages = **alcools très concentrés en énergie** et **peu onéreux**
 - ❖ Ex : (S)-3 méthyl-1-pentanol.
 - Autres avantages :
 - ❖ Peu miscibles avec **l'eau**
 - ❖ Donc faciles à séparer de cette dernière
 - ❖ Non corrosifs pour les moteurs
 - ❖ Meilleure compatibilité avec l'essence ou le gasoil pour les moteurs diesel.

- **Freins à lever**
 - Toxicité des composés alcooliques pour les bactéries
- **Donc difficulté peut-être contournée** par la voie génétique, afin de rendre les **bactéries alcool-tolérantes**
- **Réf:** Zhang K. et al. (2008). Proc Natl Acad. Sci. USA, 105, 20653-8.

- 2^{ème} exemple : Cyanobactéries : bactéries photosynthétiques produisant des molécules carbonées à partir de CO₂ et d'énergie lumineuse (Réf : Atsumi S. et al. Nat. Biotech., 27, 1177, 2009).

- Recherche de 3 biologistes de l'Université de Californie
- Introduction de gènes d'abord permettant la synthèse d'isobutanol à partir de CO₂



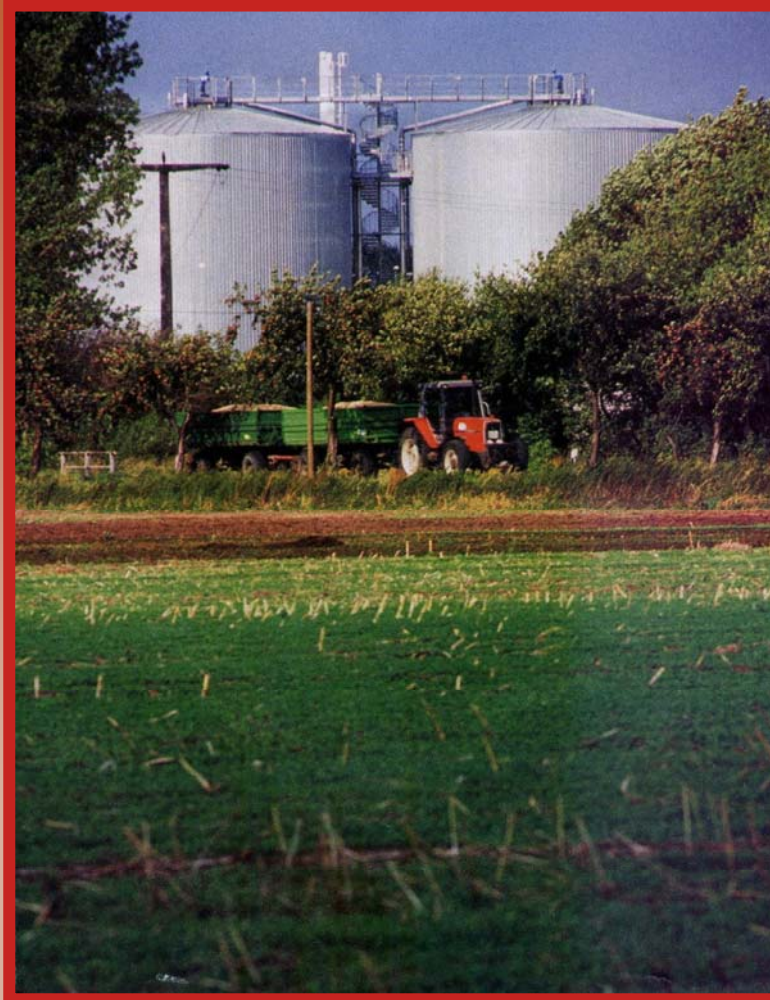
- Puis stimulation d'une enzyme-clé de la photosynthèse

- **Résultat :**
 - Le **taux de production d'isobutanol** dépasse de beaucoup ceux précédemment obtenus avec des cyanobactéries pour d'autres molécules.

- Multinationales et start-up (Innovation de rupture qui manque aux AC)
 - **Production d'octane** liquide à partir de ressources renouvelables d'origine végétale (maïs, blé, canne à sucre)
 - **Intitulé et localisation de la start-up :**
 - Global Bioénergies** installée dans le Génopole d'Evry.
(technologie brevetée)

- **Ethanol** : pas un combustible parfait pour l'automobile
 - Faible densité énergétique
 - Coût
 - Difficultés de stockage
 - Action corrosive sur les moteurs
- Ici, voie métabolique inédite à partir de sucres pour produire de l'octane par des microorganismes (version enzymatique à température ambiante du procédé thermochimique Fischer-Tropsch).
- **Start-up** : Capacité de séquençage, clonage génomique, biologie du métabolisme de l'Institut de génomique du CFA d'Evry.

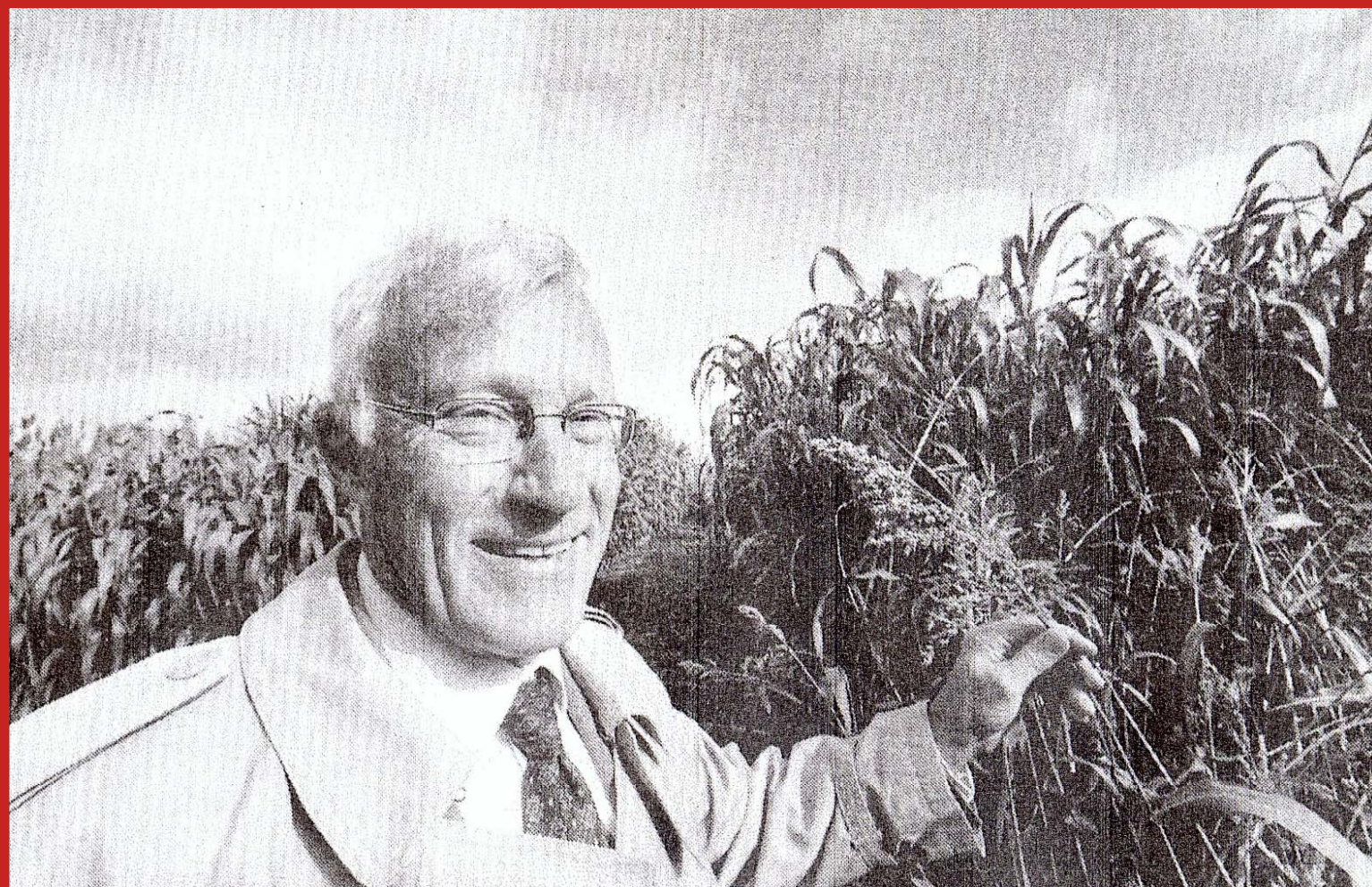
Les Agrocarburants ont-ils un futur ?



Unité fonctionnant à la biomasse à Dresden, en Allemagne

- Possibilité d'utilisation d'une variété de SORGHO acclimaté sous nos latitudes pour la fabrication d'AC (d'après un article de P. Costa dans ER du 14-10-09)
 - Essais en Alsace (Horbourg-Wihr, à l'est de Colmar)
 - Auteur de ses essais : l'agronome Pierre CADET

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?



Le sorgho n'a plus de secret pour Pierre Cadet, ingénieur agronome, qui a sélectionné les 25 variétés qui s'épanouissent en Alsace (Photo ER)

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

- **Société** qui croit dur comme fer aux multiples vertus de la plante miracle : **Energreen Development** (EGD)
- **Sorgho non alimentaire**, mais industriel :
 - 25 variétés, toujours issues de croisements.
 - Ex : **CA 25** destiné à la **papeterie**
 - 80% de cellulose
 - **Rendement** : **3 fois supérieur à celui du bois** (17-18 T de MS/ha/an contre 4 T de MS/ha/an pour un **feuillu**, ramené à la trentaine d'années nécessaire à sa croissance)
 - **Intérêt du géant vert** (hauteur : 2-3m)
 - Papeterie
 - Agrocarburant
 - Rendement abondant, peu gourmand en eau, très peu d'engrais, pas de pesticides.

– EDG = Bioénergie et éco matériaux

- **Directeur : Alfred Sturm** (process de fabrication de la filière papeterie).
- **A ses côtés : Pierre Cadet**, spécialiste de cette longue graminée annuelle depuis 1960.
- **Nombreux hybrides du sorgho** (320) nés dans un centre de recherche proche de Toulouse.
- **Sélection de 25 variétés par Pierre Cadet**
 - **Résistance à la latitude frisquette** de la plaine d'Alsace (pas de problème de climat)

- Plusieurs types de sorgho :
 - Sorgho à balais → biomasse + biogaz
 - Sorgho sucrier → bioéthanol
 - Sorgho pour l'isolation du bâti
 - ❖ Eco matériau
 - ❖ Remplace le chanvre grâce à ses bonnes propriétés thermiques et surtout à son rendement à l'ha 3 fois supérieur.

- Applications très intéressantes :
 - Agrocarburant
 - Méthanisation
 - Matériau écolo
 - Absorption des métaux lourds (phytoremédiation)
 - Capacité d'extraction de grandes quantités d'azote du sol (plaine d'Alsace engloutie depuis des lustres par la maïsiculture intensive)

- Reste à convaincre les collectivités territoriales en quête de nouvelles sources d'énergie + les exploitants agricoles comme producteurs et utilisateurs.
 - **OK en Allemagne et Autriche** (5000 unités de méthanisation)
 - **France** : peu d'installation de Biogaz à partir de déchets verts et organiques.

- Carburants de synthèse obtenus par voie thermochimique (BtL)
 - Fabriquer un carburant à partir de matériaux plus abondants que le pétrole = c'est la possibilité qu'offre la filière des carburants de synthèse.
 - Une vieille histoire : début au cours de la 2^{ème} Guerre Mondiale en Allemagne, où la demande d'énergie était très forte.

- Les ingénieurs allemands ont ressorti la géniale invention de 2 chimistes, Franz Fischer et Hans Tropsch, qui avaient mis au point en 1925 un procédé permettant d'obtenir un hydrocarbure à partir de CO et de H₂, le tout en présence d'un catalyseur (fer ou cobalt)

Charbon → CO + H₂ → CtL (« Coal to Liquid »)

Gaz → CO + H₂ → GtL (« Gaz to Liquid »)

- Méthode utilisée par des pays qui disposaient de ressources en gaz et en charbon (pays isolé politiquement comme l'Afrique du Sud, confronté à un blocus pétrolier à cause de l'Apartheid dans les années 1950)
 - La société **SASOL** (Suid Afrikaanse Steenkool en Olie) pour « charbon et pétrole sud-africains » en afrikaans, produit du brut synthétisé à partir de gaz naturel ou de charbon, très abondant en Afrique australe.
 - Réserves prouvées de charbon au niveau mondial : 850 milliards de T environ (plus que le pétrole).

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

- Brut synthétique = syncrude
- Aujourd'hui : 700 000 barils par jour (BPD) consommés par jour → 160 000 BPD synthétisés à partir de charbon dans les usines de Sasolburg et de Secunda, près de Johannesburg.
- Si baril à 40 dollars = non rentable ; mais à 140 dollars = très rentable.
- Développement de cette filière = très émettrice de CO₂ :
(Sasol = 75 millions de T/an environ, soit 18% des émissions de CO₂ sud-africaines)
- Séquestration envisagée + utilisation de la chaleur produite par les réactions chimiques du procédé Fischer-Tropsch → électricité.

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?



L'usine de Sasolburg, à quelques kilomètres de Johannesburg, produit et raffine du brut de synthèse issu de la liquéfaction du charbon sud-africain. (Patrick DUMAS, Lookatsciences).

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

- Dans le passé = coût non compétitif avec le pétrole + niveau global d'émissions de CO₂ assez défavorable surtout pour le CtL.
- Aujourd'hui, avec l'envolée du prix du pétrole, repositionnement de ces produits sur le marché comme substituts éventuels aux carburants conventionnels.

- BtL = « Biomass to Liquid » : pourrait fournir vers 2020 sur un AC de 2^{ème} génération avec beaucoup d'atouts.
 - **Matières premières** = déchets agricoles, bois, copeaux, ...
 - **Bilan CO₂ global** (depuis l'extraction jusqu'à la combustion) très intéressant dans la lutte contre les GES (gain d'environ 80-90% par rapport aux carburants conventionnels).
 - Pas de concurrence avec les filières alimentaires.

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

- Nécessite peu d'engrais azotés et de carburant (pour les engins agricoles qui labourent et travaillent le terrain).
- Seul HIC : Rendement à améliorer
1 T de MS → 0,2 TEP d'AC
- Nécessité de nouvelles ressources de biomasse (ex : taillis à coupe rapide = saule, miscanthus, panic érigé, ...)

– Exemples d'application :

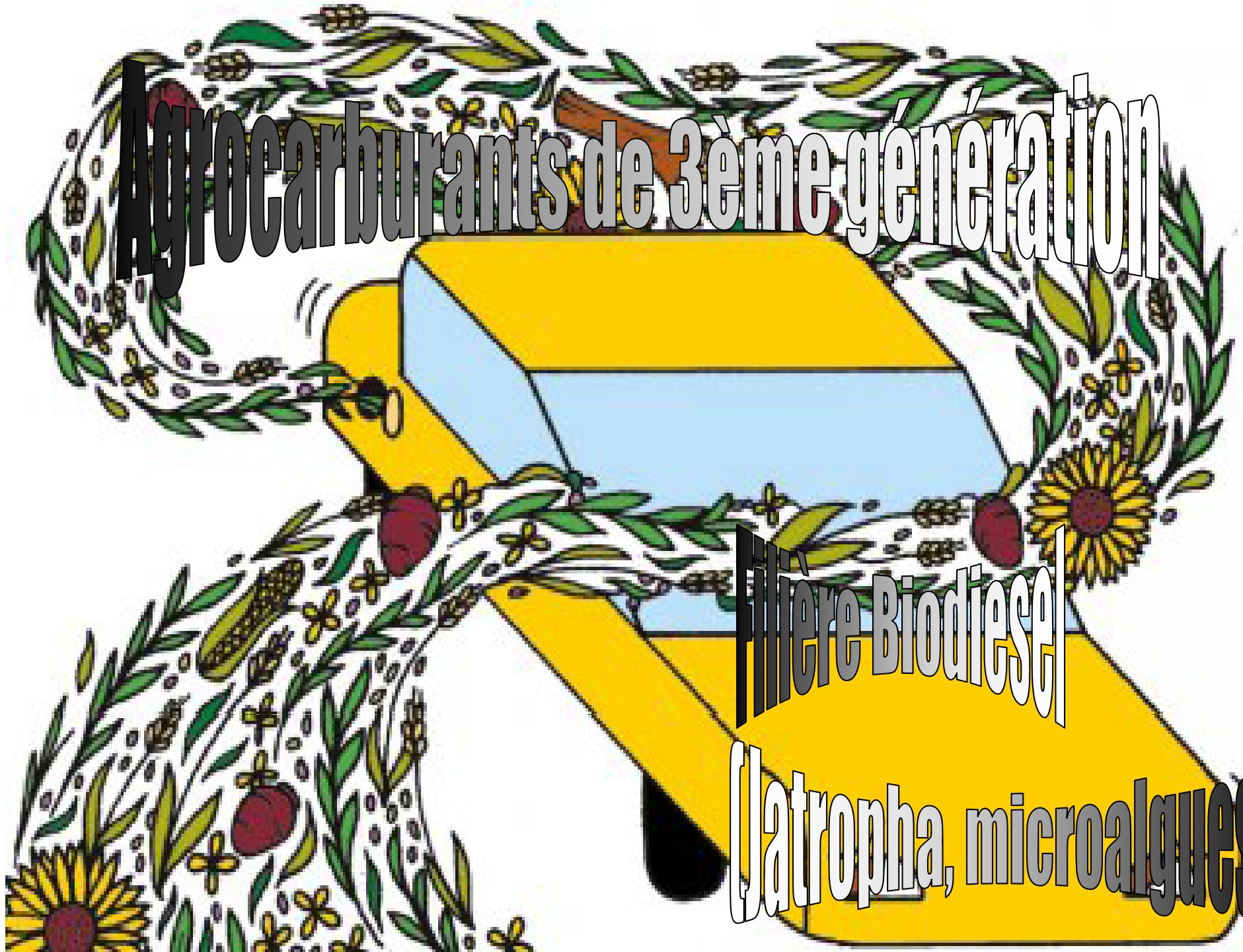
- **Site** = zone interdépartementale de Bure-Sudron (Haute-Marne, Meuse)
 - Réalisation d'une installation soutenue par le CEA et l'IFP (Institut Français du Pétrole), autour du laboratoire souterrain de l'ANDRA.
- **Unité semi-industrielle d'AC de 2^{ème} génération par gazéification** de la BLC.
 - Transformation ultérieure du gaz en hydrocarbures liquides (réaction de Fischer-Tropsch)
BtL = Biogaz to Liquids

- Réactions d'Anne Fabréga, directeur déléguée pour les réactions industrielles du CEA :
 - Investissement estimé à 100 M€
 - Création d'une centaine d'emplois
 - 75 000 T de bois (matière sèche en plaquette) pour produire 10 000 T au moins d'hydrocarbures = **Biodiesel**.
 - Installation opérationnelle en 2011.

Agrocarburants de 3ème génération

Filière Biodiesel

(Jatropha, microalgues)



- Le filon de l'Or vert (Biodiesel) en Asie
Construction à Singapour début mars 2009 de la plus grande unité au monde de Biodiesel
 - Groupe finlandais Neste Oil
 - Capacité de production annuelle = 800 000 T
 - Matières premières :
 - Huile de palme
 - Huile végétale
 - Graisse animale
 - Pour voitures européennes + Amérique du Nord

- **Coût estimé** pour la production de cette unité :
1,2 Md \$ de Singapour (550 M€)
- **Opérationnelle en 2010**
- Une **centaine d'emplois**
- **Production** de Biodiesel NF x BTL breveté par Neste Oil
 - Diesel le plus propre du monde (!)
 - Réduction significative des GES
- **AC le seul entièrement compatible avec les moteurs diesel existants.**

- Fabrication de Biodiesel à partir des graines de *Jatropha curcas*

a) En Inde

- **Buisson des terres semi-arides** qui prospère sur des terrains non cultivables (aussi en Afrique, Asie, Amérique du sud)
- **Huile obtenue à partir des graines** (incorporation au gazoil jusqu'à 20% sans modification du moteur)

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?



Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

- **Rendement** : 3.000 l d'huile/ha (2 fois plus que le colza)
- **En Inde** : 400.000 ha actuels (prévision de 5 millions d'ha)
- **Indice de cétane** excellent (combustion complète, peu d'émissions)
- **Seul souci** : parties végétatives non valorisables

b) En Afrique, (au Mali)

- Projet de recherche lancé en 2007 par l'INRA, le CIRAD et l'entreprise Agrofuel.
- Station expérimentale de Bla, commune principale de Teriya Bugu, petite station de vacances au Mali (400 paysans concernés)
 - Subventionnée jusqu'en 2010 par la fondation Tuck, avec un partenaire malien, l'Association d'entraide pour le développement rural.
 - 50 ha de cultures sur de petites parcelles ou des haies réparties sur leur exploitation.

c) Applications actuelles dans les transports aériens

- Boeing 747 de la compagnie aérienne Air New Zéland
(kérosène aux exigences de l'aviation : bon rendement, point de congélation bas [-47°C], bonne densité énergétique)
- Agence Internationale du Transport Aérien (AITA) :
octobre 2009
Autorisation fin 2010 de l'utilisation d'AC dans l'aviation civile
(réduction de l'empreinte carbone)

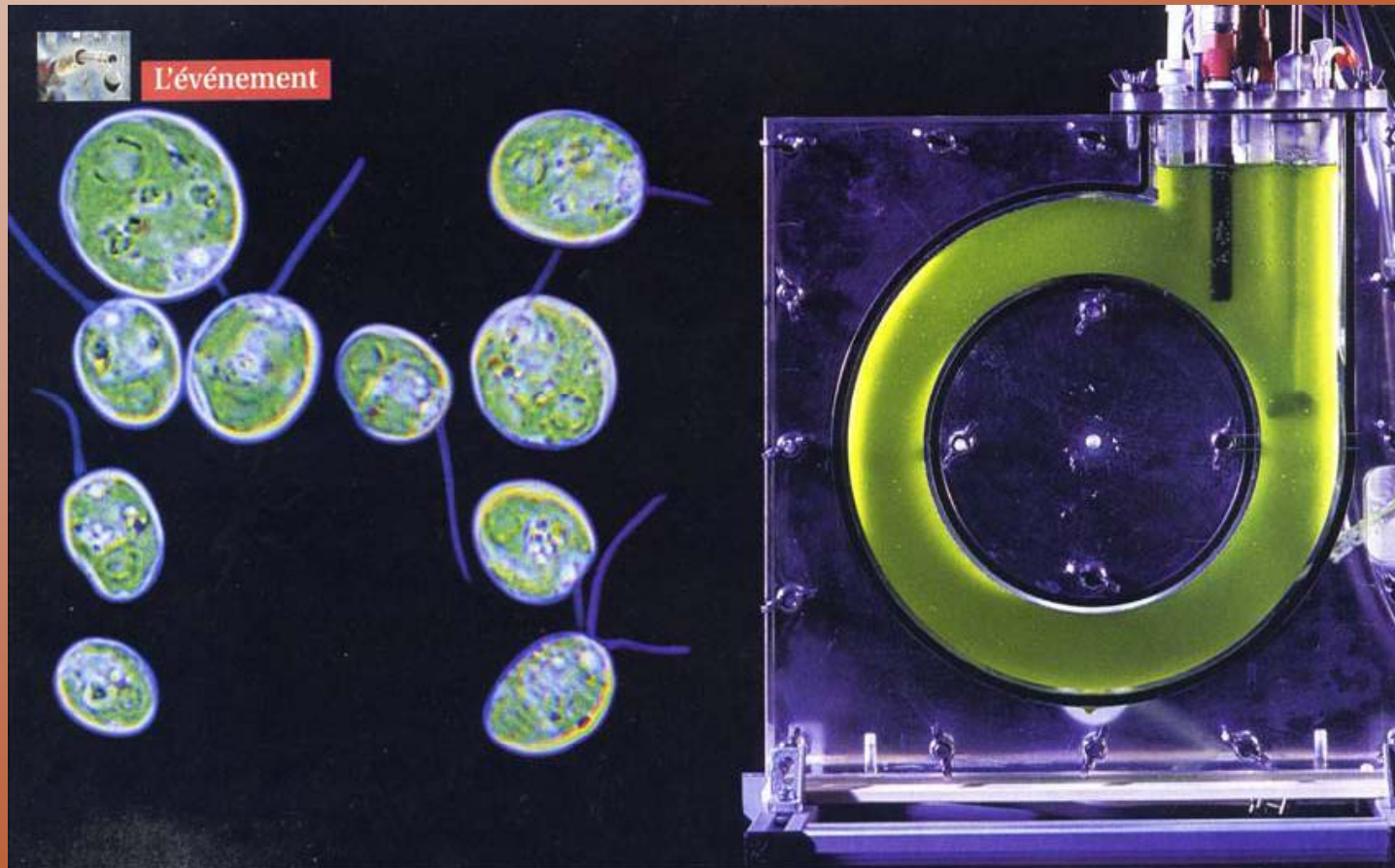
- A partir de microalgues = diatomées riches en acides gras (peut-être aussi certaines algues océaniques)
 - Production future d'algo-carburants
 - Projet de recherche Shamash en France (depuis 2007)

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

- INRIA de Sophia Antipolis
- Agence Nationale de la recherche (ANR)
- Programme national pour la recherche en Biotechnologies (PNRB) : 2,8 millions d'euros
- Pôle de compétitivité Mer (Toulon)
- Cap d'énergies (Cadarache)
- Laboratoire Océanographique de Villefranche sur Mer
- 7 équipes universitaires (INRA, CNRS, CEA, IFREMER, ...)

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

– Université de Nantes :

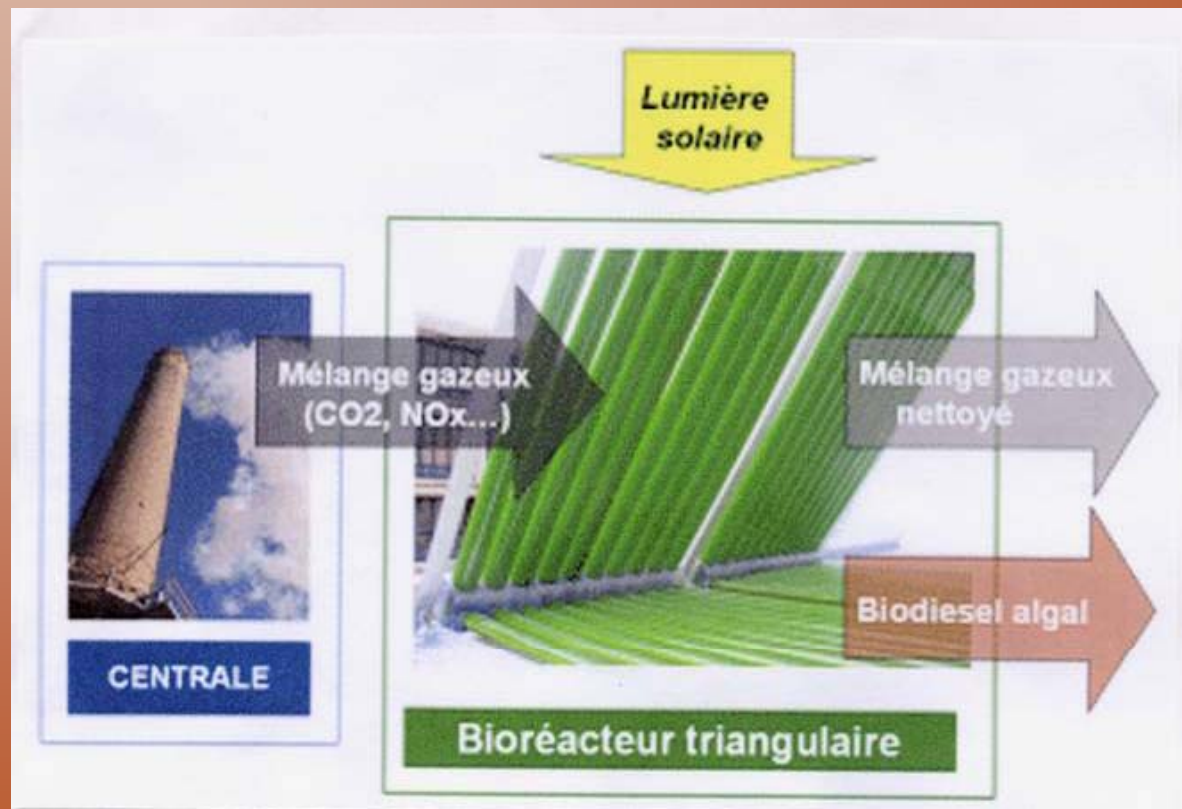


A l'Université de Nantes, on étudie la production de carburant par des micro algues

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

– Stade de développement industriel aux USA

- Entreprise américaine Greenfuel Technology dans le Massachusets



Les Agrocarburants ont-ils un futur ?



Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

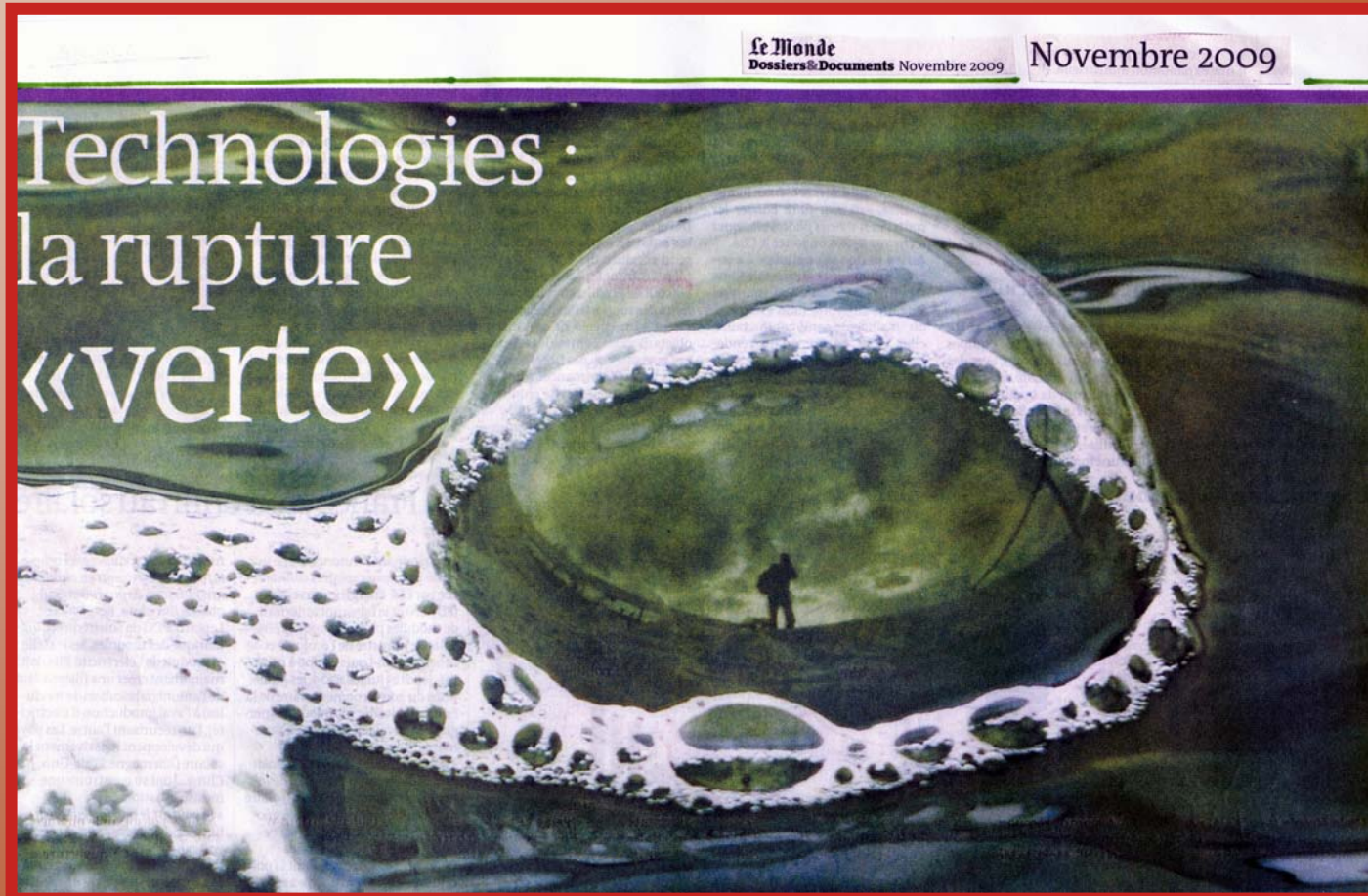


- **Entreprise israélienne** Algatech (désert des Neguev)
- **Procédé** :
 - Microalgues mises à barboter dans des **bioréacteurs** utilisant l'énergie solaire, nourries au CO₂ provenant de centrales thermiques (+ Monoxyde d'azote + phosphates)
 - **Rendement** élevé en triglycérides : 10 fois supérieur à celui des oléagineux.

– Début du stade industriel en France

- **Inauguration le 18 mai 2009** au **Vigeant**, près de Poitiers (86, dans le Vienne) du 1^{er} site expérimental d'agrocarburant de 3^{ème} génération à partir de biogaz (CO₂) par l'entreprise française **SECHE Environnement** (SE)
- **Si, dans un 1^{er} temps**, le site ne devrait produire que 4.500 l, à titre expérimental, l'unité est prévue pour sortir **20.000 l d'éthanol par ha**, soit l'équivalent de 30 T de biomasse sèche à l'ha.
- **La culture des algues sera favorisée par la chaleur et le CO₂ issu de la combustion du biogaz** du centre de valorisation des déchets ménagers de Séché Environnement (SE)

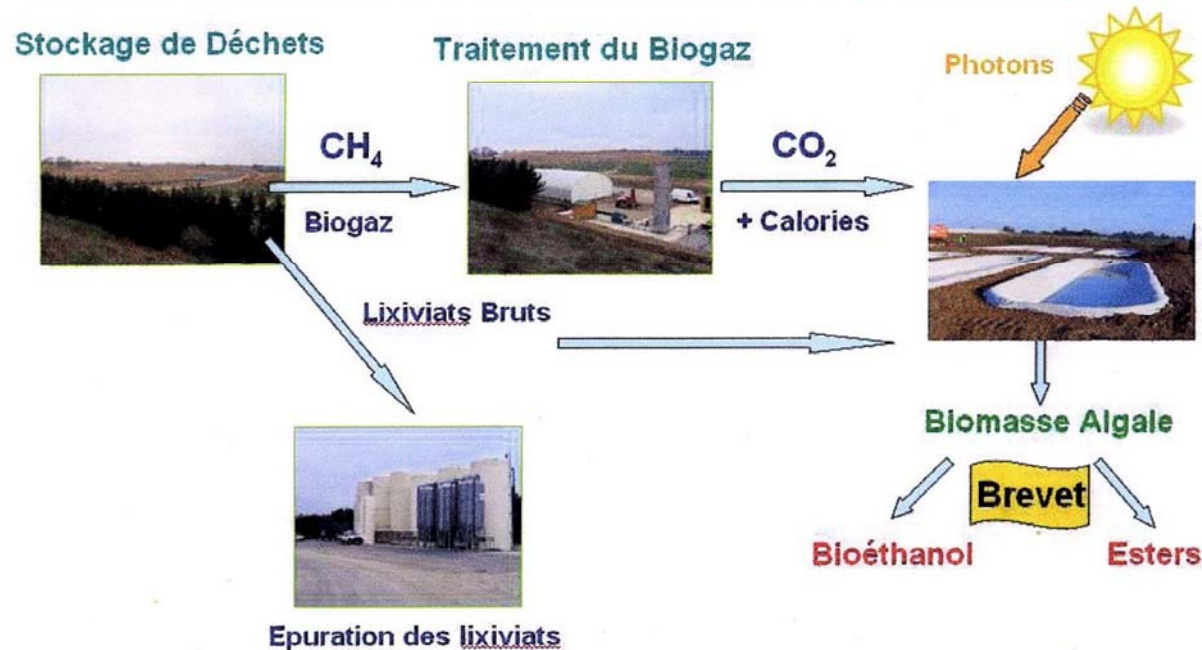
Les Agrocarburants ont-ils un futur ?



Le Vigeant, près de Poitiers, 18 mai 2009. Sur le premier site mondial de production d'écocarburant de 3^{ème} génération à partir de biogaz construit par l'entreprise française Séché Environnement, des microalgues s'alimentent en gaz carbonique dans des bassins, avant d'être transformées en combustible. (Alain Jocard/AFP)

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

✓ Production d'écocarburants à partir de microalgues : Le Vigeant (Séché)



Le site du Vigeant est un site capable de produire un éco-carburant de troisième génération à base d'algues cultivées grâce à la valorisation de déchets ménagers. En effet, cette plateforme produit de l'électricité à partir du biogaz issu de la dégradation naturelle des déchets. Le procédé génère aussi de la chaleur et du dioxyde de carbone. Deux éléments qui, récupérés et injectés dans des bassins préalablementensemencés, aident à cultiver des micro-algues dont la teneur en lipides est importante.

Schéma de principe du procédé de Séché Environnement a Vigeant (Vienne) : dans le cadre du pôle Eco-industries de la région Poitou-Charentes

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

- Partenaire de cette unité, SE valorisait jusqu'à présent les déchets ménagers collectés sur son site pour la production d'électricité et de chaleur.
- A l'avenir, la chaleur produite par le centre servira à chauffer les bassins de culture des algues, et le CO₂ des gaz émis sera utilisé dans l'eau pour favoriser leur développement.

- **Agrocarburant 3^{ème} génération : Microalgues**



- Microalgues et biotechnologies
 - Estimation du nombre d'espèces = de 40.000 à 200.000
 - Contribution pour 50% à l'activité photosynthétique globale
 - Diatomées = place importante dans l'équilibre naturel mondial
 - Responsables de 20% de la fixation carbonée océanique

- **Domaine d'application des microalgues = aquaculture**
 - **Phytoplancton** : étape incontournable de l'élevage de mollusques et de poissons
 - **Conception de photobioréacteurs de culture**
- **2 microalgues** ayant un agrément national pour **l'alimentation humaine** (*Odontella* et *Spirulina*)
- Intérêt pour la cosmétique

- Engouement exceptionnel dans le domaine de l'énergie :
 - 10 à 30 fois plus de biomasse à l'ha qu'une plante terrestre
 - 5 à 10 fois plus d'huile que le meilleur palmier (réf : Cadoret, JP. et al., 2008, J. Soc. Biol., 202, 201-11)
 - La production d'hydrogène et de biogaz par les microalgues est par ailleurs à l'étude dans plusieurs laboratoires hexagonaux.

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

- Perspectives annoncées en Santé (molécules recombinantes)
- Domaine de l'environnement où les algues contribueront prochainement à **dépolluer les rejets urbains et agricoles**
- Place évidemment prometteuse à ces microvégétaux aquatiques (chimie verte, énergie, ...)

- Production de microalgues marines par culture en bassins (d'après Jean Paul Braud, Innovalg, Polder du Dain, 85230 Bouin, Biofutur, juillet-août 2009, n°201)
 - **Innovalg** : créée en 1998 : aboutissement des recherches pionnières entamées en 1976.
 - **Culture en bassins extérieurs** (algues en suspension avec des roues à aubes)

– 2 procédés de production

- Culture en continu

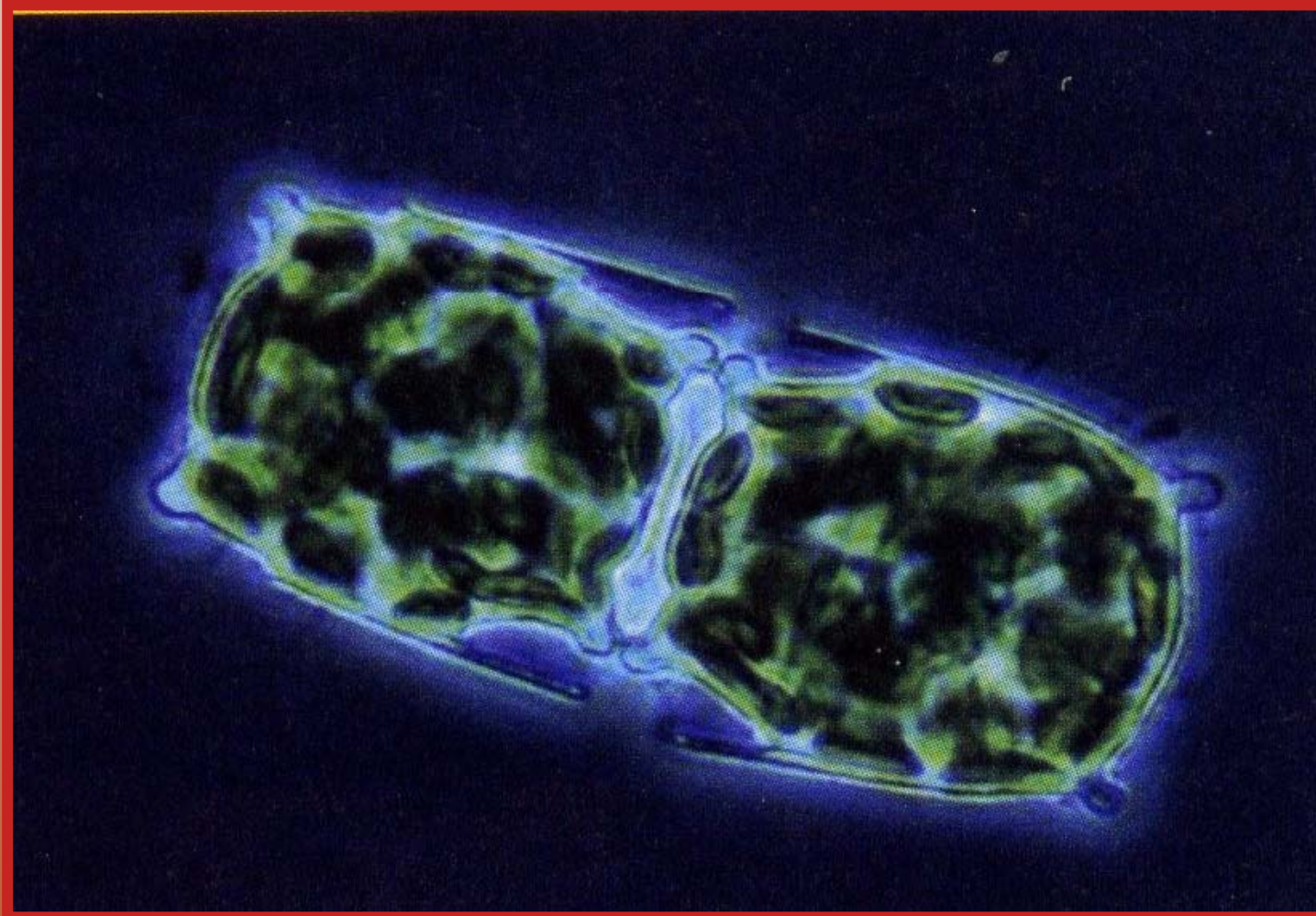
- Bassins inoculés une seule fois en début de cycle annuel de production.
- Récolte de la biomasse produite sur un rythme journalier (microalgues) ou hebdomadaire (macroalgues)

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

- Automatisation des cultures par asservissement des intrants à l'intensité de la photosynthèse des algues.
 - Consommation de carbone : déplacement de l'équilibre carbonique, avec une élévation du pH du milieu de culture.
 - Calibrations expérimentales : définition des débits unitaires des principaux intrants : eau de mer, azote, phosphore et carbone

- Une vingtaine d'espèces différentes commercialement cultivables
 - 3 espèces de macroalgues (*Chondrus crispus*, *Anteromorpha flexuosa*, *Monostroma obscuro*)
 - 2 espèces de microalgues (*Phaeodactylum tricornutum* et *Odontella aurita*)
 - **Débouchés** : secteurs cosmétiques, compléments nutritionnels
 - Le diatomée *Odontella aurita* (22% d'EPA/acides gras totaux) est la seule **microalgue marine** à disposer de **l'habilitation alimentaire** au niveau européen depuis décembre 2002.
 - EPA : acide gras oméga-3
acide eicosapentaénoïque.

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?



Odontella aurita, microalgue utilisée dans le secteur des compléments nutritionnels et en cosmétologie

- Dernière minute = Microalgues : l'ambitieux projet OMEGA de la NASA (réf : Biofutur, février 2010)



- Faire croître des algues pour la production d'AC, tout en traitant les eaux usées et sans émettre de gaz à effet de serre (GES) :

- Objectifs affichés du projet OMEGA piloté par Jonathan Trent (chercheur à l'Ames Research Center de la NASA (agence spéciale américaine)).

- **Projet OMEGA** = *Offshore Membrane Enclosures for Growing Algae*
- **Projet présenté** à *l'International Algae Congress* (1-2 décembre 2009 à Hambourg, en Allemagne)

- Objectif : culture de microalgues marines dans des sacs plastiques semi-perméables remplis d'eaux usées et placés en pleine mer :



- Les microalgues se nourrissent des nutriments contenus dans le sac et nettoient ainsi l'eau.
- Sur le principe de la pression osmotique, l'eau douce traitée peut s'échapper dans l'océan sans que l'eau salée ne rentre dans le sac.

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

- Pendant ce temps = **développement des microalgues**



- Une fois adultes = fabrication **d'agrocarburants**
- NASA intéressé = **un des rendements les plus élevés en AC** (sans entrer en compétition avec des terres destinées à des fins alimentaires).
- Procédé = **pas d'utilisation d'énergie extérieure** (seulement = éléments naturels = **eau, soleil et CO₂**)

Les Agrocarburants ont-ils un futur ?

- Chaîne de fabrication pensée jusqu'au bout (au niveau du recyclage)
 - Sacs = recyclage en paillis pour l'agriculture
 - Résidus d'algues
 - Utilisés comme engrais ou aliments pour animaux
- Reste à savoir quelle superficie en mer serait concernée par ce procédé ?
 - Aussi = est-ce que le plastique semipermeable parviendra à résister aux températures froides et aux tempêtes ?
- Prévision prochaine d'une installation d'un site pilote à Tampa (Floride)
 - Y voir plus clair sur l'intérêt de cette innovation



Quelques mots sur le Méthane

- Le gaz de ville = le rendez-vous manqué
 - Lorsqu'on évoque le gaz en matière de carburant, on pense GPL (= Gaz de Pétrole Liquéfié)

Un mélange de butane et de propane dont l'intérêt est de réduire les émissions de polluants mais dont le bilan CO₂ est aussi médiocre que celui de l'essence

- Mais le gaz du futur sera peut-être celui de notre gazinière de cuisine ...
- C'est la filière proposée par GDF depuis 10 ans, qui a du mal à s'imposer (peut-être que les constructeurs français n'ont pas développé les moteurs adéquats).

- Le **méthane** (CH_4), qui circule dans le réseau urbain de distribution de **gaz**, provient certes du sous-sol et puise dans les **réserves d'énergie fossile de la planète**.



- Mais c'est **l'hydrocarbure qui émet le moins de CO_2** (avec un **gain de 25% des émissions** par rapport à l'essence ordinaire) et quasiment **pas de polluants secondaires**.

- Pour devenir carburant, le gaz naturel de ville doit être compressé à 250 bars. (G.N.V.)



- 2 solutions :
 - Soit s'équiper d'un compresseur à domicile
 - Soit faire le plein à une station

- 1^{ère} solution : le plein chez soi : pas donné à tous
 - Disposer d'une maison individuelle (raisons de sécurité)
 - Disposer de temps = le compresseur doit fonctionner toute la nuit
 - Autre contrainte : les véhicules roulant au GNV emportent à bord des bouteilles qui occupent le coffre à bagages.
(modèles récents de Fiat, Volvo, Opel : gaz sous le plancher).

- 2^{ème} solution : station labellisée GNV : s'armer de patience
 - Une trentaine en France
 - 800 en Allemagne
 - 700 en Italie
 - Total et Carrefour : engagés à implanter au moins 300 stations d'ici 2010.

Alain Marcheoine : (surtout pour transports publics, Collecte des ordures)

- Méthane : aussi gaz de putréfaction de nos ordures ménagères et de toute matière organique, en l'absence de O₂



- Déjections animales
- Boue de stations d'épuration
- Épluchures
-

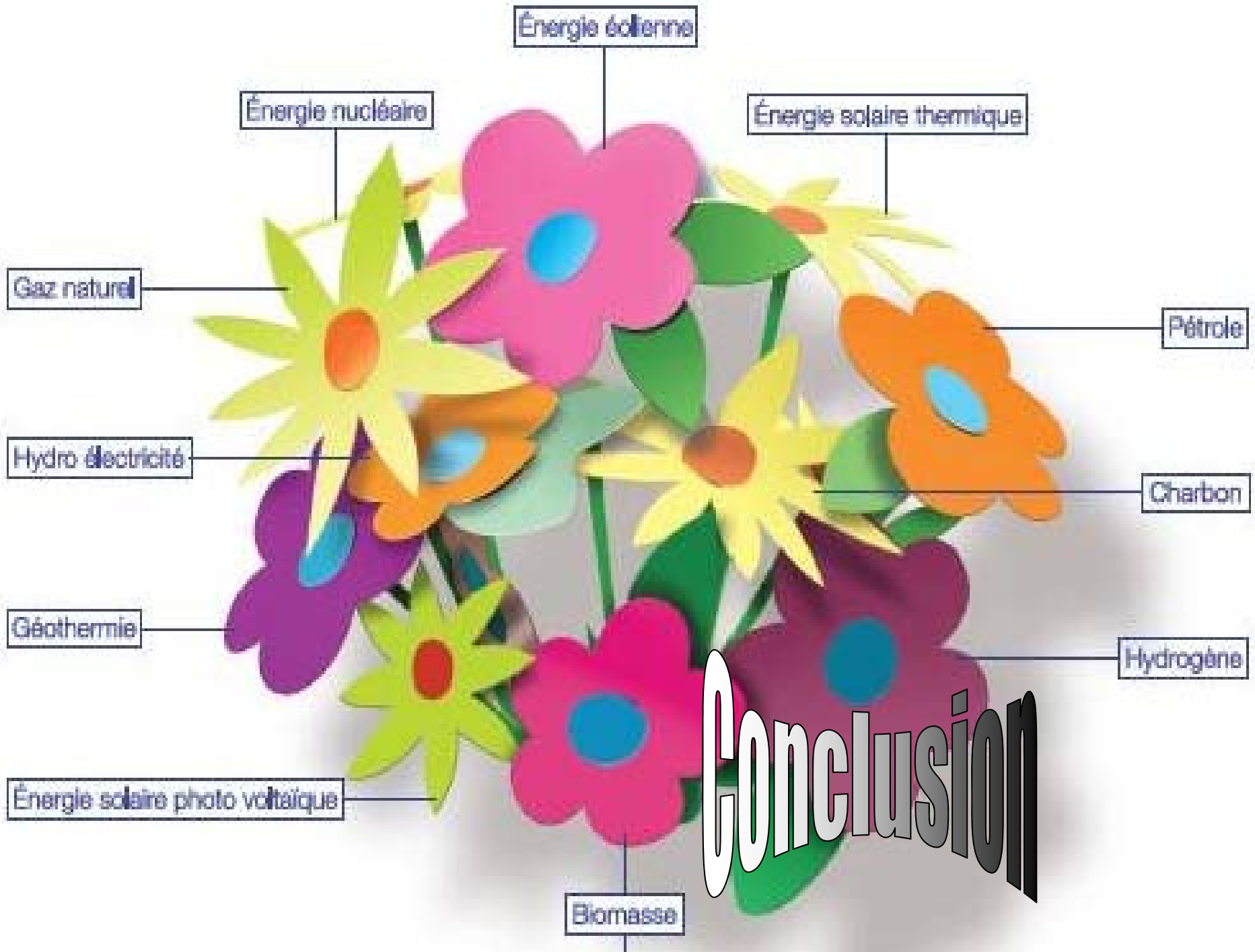
1/4 de nos déchets pourrait donc devenir de **l'or vert**.

- L'équation aurait donc sa solution toute trouvée : la valorisation anaérobie des déchets organiques
 - Filière **biogaz**
- Ça permet de gagner sur les 2 tableaux :
 - Préservation des ressources en **hydrocarbures**
 - Baisse des émissions de CO₂ (25%)
- Testée au sein de **l'usine-pilote de Sequedin**, près de Lille, dans le cadre du projet européen **Biogasmax** qui a été inauguré fin **2007** et qui concerne **5 villes** européennes.

- A terme, 108.600 tonnes de biodéchets devraient être transformés en 34.000 tonnes de compost et 4 millions de m³ de biogaz carburant.



Equivalent de 4 millions de litres de gazole (soit consommation annuelle de 100 autobus)



Conclusion

- Le bioéthanol de 2^{ème} génération jouera-t-il demain un rôle significatif dans l'approvisionnement de nos véhicules ?
- Les cultures de type taillis courte rotation (Miscanthus, saule, panic érigé) ne risquent-elles pas de se pratiquer au détriment d'usages plus traditionnels du sol ?
- Donc question de la compétition entre les affectations du sol est très délicate (Thonart, Gembloux, 2009).

- Lorsqu'à partir des années 70, l'Europe a commencé à mettre des terres en jachère à cause des surplus agricoles, **personne** n'a trouvé à y redire.
- Aujourd'hui : on pousse des cris d'alarme **au nom de la défense des pays du Sud affamés.**

- Le véritable défi est celui-ci : 2 missions à la fois pour le monde agricole :

1- alimentaire

- 1^{ère} tâche de l'agriculture : **nourrir les gens**

2- énergétique

- Dès que l'objectif alimentaire est atteint, il faut exploiter le sol pour accumuler des **matières premières** destinées à **l'énergie** et aux **matériaux**.

- Mais, il faut en appeler à une certaine prudence (Thonart, Gembloux 2009)
 - Ne pas se lancer trop vite dans de grandes unités de production de bioéthanol de 2^{ème} génération.
 - Car les procédés ne sont pas encore complètement au point et peuvent encore évoluer.
 - On a 40 ans de recul dans la fermentation de la betterave à sucre ou de la céréale.

- Mais beaucoup moins dans la paille, les taillis à courte rotation (Miscanthus, saule) ou les déchets de bois issus des scieries !
- Ces filières ont probablement un certain avenir en Europe, mais peut-être au sein d'un tissu de petites unités diversifiées et spécialisées.

– Pourquoi ?

- La **disponibilité des matières premières** n'est **pas encore** clairement quantifiée.
- Il faudra compter sur une **certaine révolution** des **mentalités**
 - La majorité du monde **agricole** n'est pas prête, à l'heure actuelle, à se lancer dans les cultures de type Miscanthus ...

- Dans les années à venir, on sera peut-être étonné de découvrir le potentiel autrement plus important du méthane produit par la cellulose.
 - **Centre d'Enfouissement Technique** : CET
 - Énorme réacteur assurant directement la **fermentation** de la cellulose en méthane sous l'action de **microorganismes**.
 - Et **sans l'ajout d'enzymes** ! Quelle économie ! (véritable « verrou » technologique)
- Sans négliger, la toute nouvelle filière microalgues génératrices de triglycérides (biodiesel)