



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

Le plan national de recherche sur les bioénergies

Daniel Clément
ADEME, Directeur de la Recherche

Rappel des déterminants de la politique énergétique française



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

⇒ Energie

- Sécurité d'approvisionnement
- Indépendance énergétique
- Réduction de la facture énergétique

❖ Environnement:

- Pollution de l'air
- Gestion des déchets
- Effet de serre (réduction par 4 des émissions de CO₂ en 2050)

❖ Directives européennes

- Electricité renouvelable (21 % en 2010)
- **Directive Biocarburants (5,75 % en 2010)**
- Ouverture des marchés

❖ Compétitivité économique et emploi, attractivité territoriale

❖ Un concept intégrateur : Le développement durable

Définition des biocarburants

(Directive 2003/30/CE du 8 mai 2003)



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

- **Définition des biocarburants:** carburants liquides ou gazeux obtenus avec les matières organiques végétales et/ou animales (biomasse)
- **Biomasse:** fraction biodégradable des produits, déchets et résidus de l'agriculture, de la sylviculture, de leurs industries connexes et des déchets industriels et municipaux
- Les 10 biocarburants cités par la CE:
bioéthanol, biométhanol,
bio-ETBE, bio-MTBE , biodiméthyléther (bio-DME),
biodiesel (esters d'HV), huiles végétales pures,
biocarburants synthétiques,
biogaz, biohydrogène.

Classification des biocarburants

Position de la filière lignocellulosique

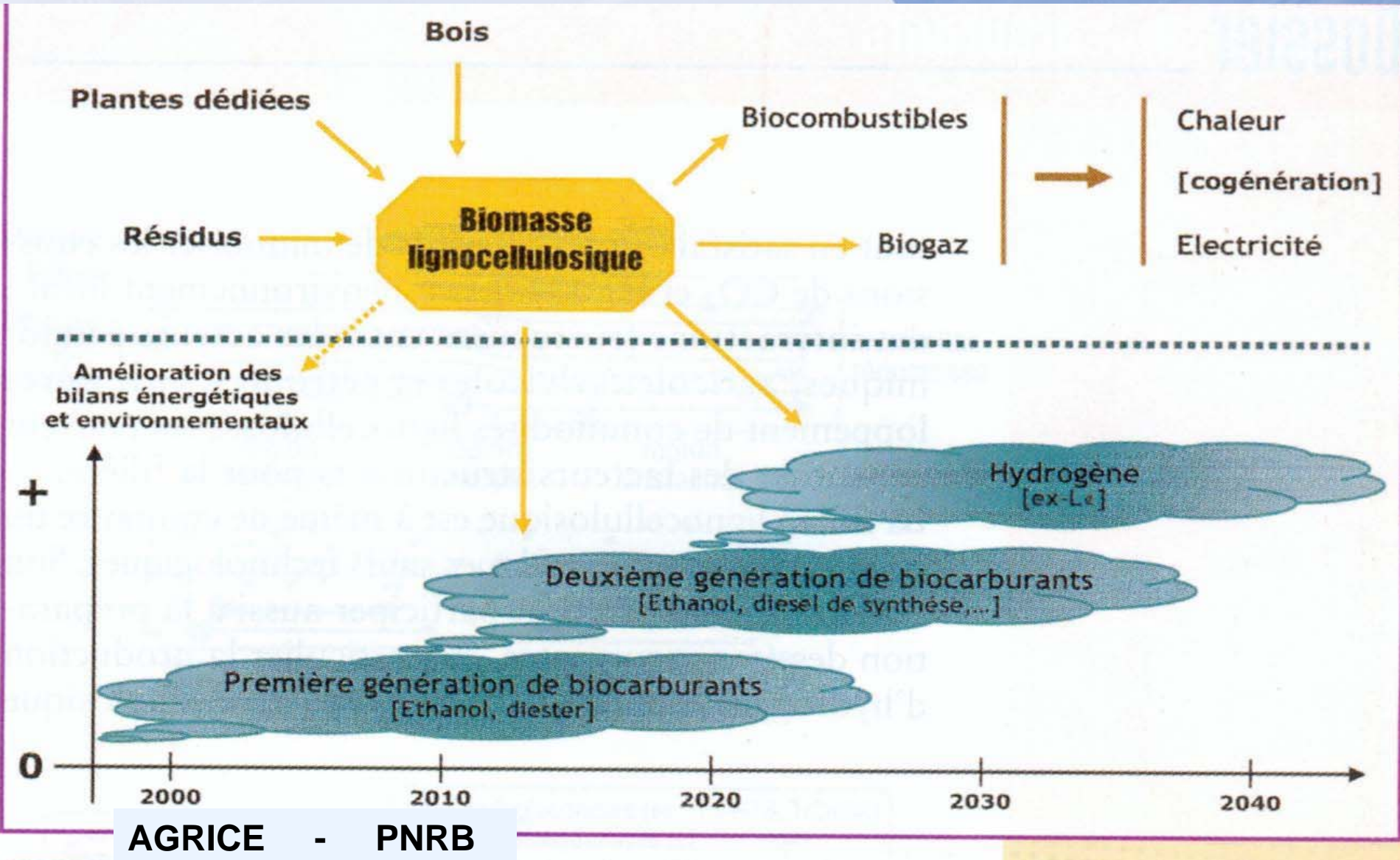
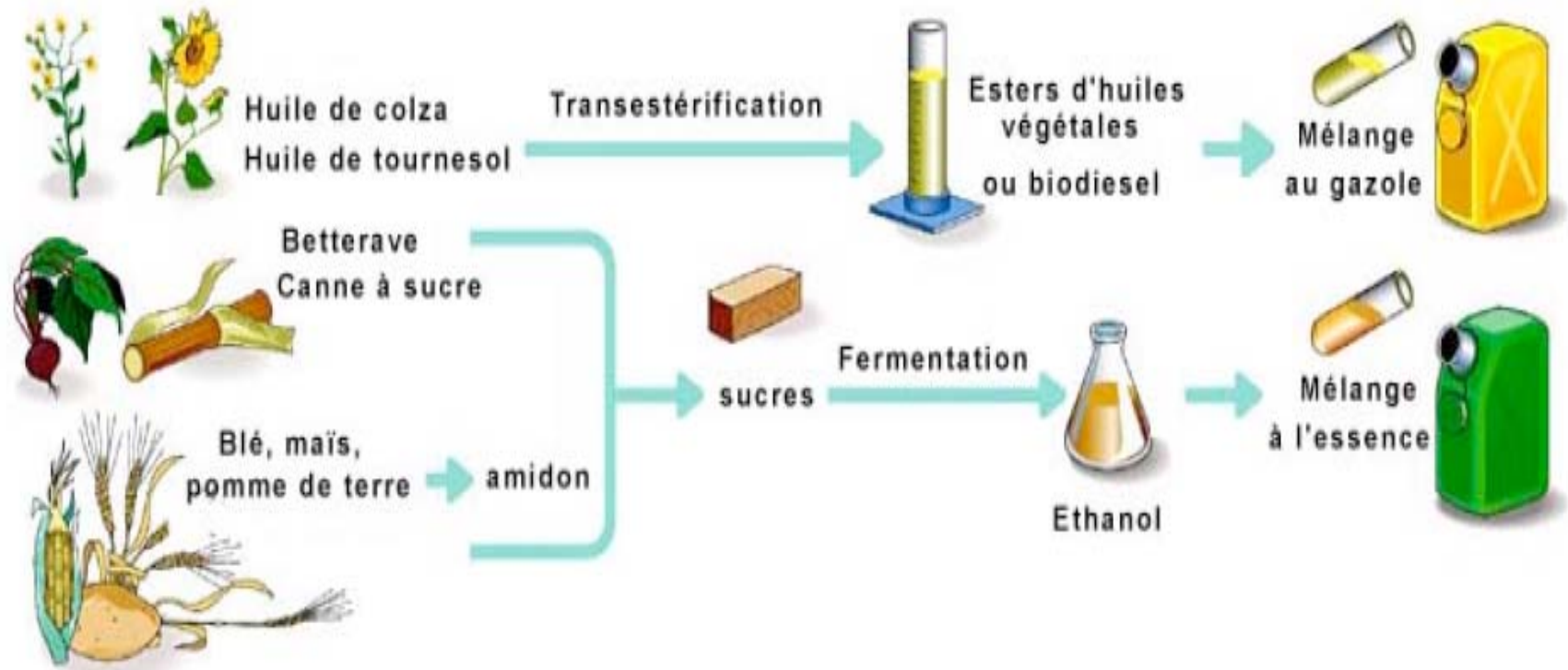


Figure La filière lignocellulosique : vision prospective

Exemples de carburants de première génération

Figure 1 : Les deux filières majeures actuelles des biocarburants



Source : Institut Français du Pétrole

Biocarburants de 1ère génération



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

Biocarburants (nom courant)	Nom spécifique	Matières premières utilisées	Procédés
Biodiesel	Esters méthyliques Esters éthyliques	Colza, tournesol, Déchets (huiles, graisses)	Pressage, extraction, semi-raf., transestérification
HVP	Huiles végétales	Idem	Pressage, extraction, semi-raf.,
Bioéthanol	Bioéthanol	Betteraves, Grains (blé)	Fermentation Hydrolyse, fermentation
Bio ETBE	ETBE	Bioéthanol	Synthèse chimique
Biogaz	Biométhane	Biomasse humide	Fermentation anaérobie

- Production de biocarburants et surfaces agricoles, avec les technologies actuelles :

	2005	2008	2010	2015
% substitution carburants	0,96%	5,75%	7%	10%
Production biocarburants	0,4 Mtep	2,63 Mtep (acquis)	3,6 Mtep	5,1 Mtep
Surface agricole* (terres arables : 18,35 Mha)	0,3 Mha	1,76 Mha	2,45 Mha**	3,5 Mha

***Forêt : 16,8 Mha**

SAU : 27,8 Mha

****Dont \approx 2 Mha en oléagineux**



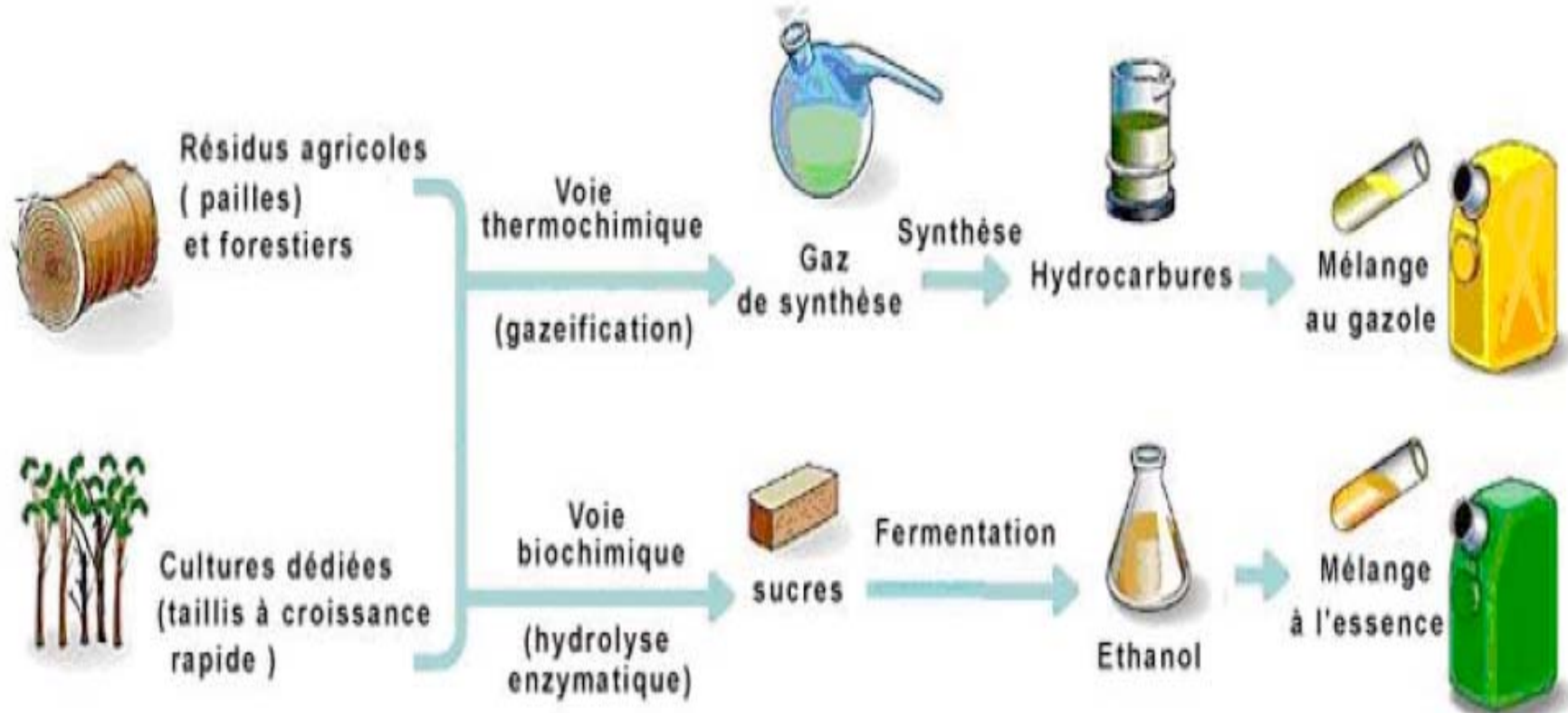
BIODIESEL EMHV (Procédé AXENS ESTERFIP_H)



Unité industrielle de Sète (160 000 T/an)


Exemples de carburants de deuxième génération

Figure 2 : Les filières majeures des biocarburants de l'avenir



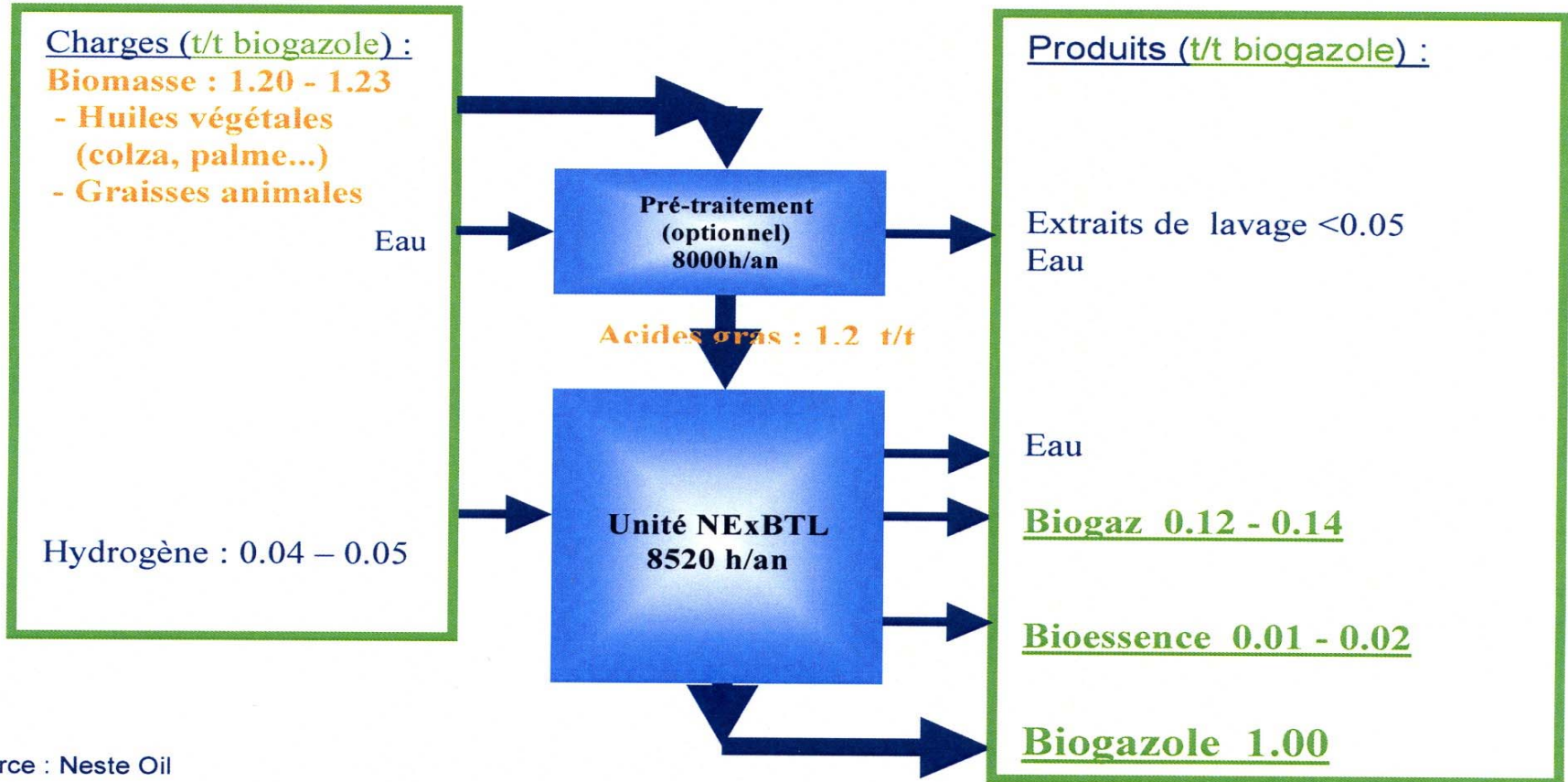
Source : Institut Français du Pétrole

Biocarburants de 2ème génération

Biocarburants (nom courant)	Nom spécifique	Matières premières utilisées	 Procédés
Biodiesel	NExBTL	Huiles végétales et animales	<small>Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie</small> Hydrogénation
Biocarburants synthétiques	BTL, biogazole (ou bioessence) de synthèse, biométhanol, etc...	Lignocellulose	Gazéification et Synthèse Fisher- Tropsch
Bioéthanol	Bioéthanol lignocellulosique	Lignocellulose	Hydrolyses (enzymatiques) Fermentation
Biogaz	Gaz naturel synthétique	Lignocellulose	Gazéification et synthèse
Biohydrogène	Biohydrogène	Lignocellulose Bioéthanol (Biométhanol)	Gazéification et synthèse Voies biologiques

Le procédé Neste Oil /TOTAL: Hydrogénation des huiles végétales

Schéma et bilan matière du procédé NExBTL :

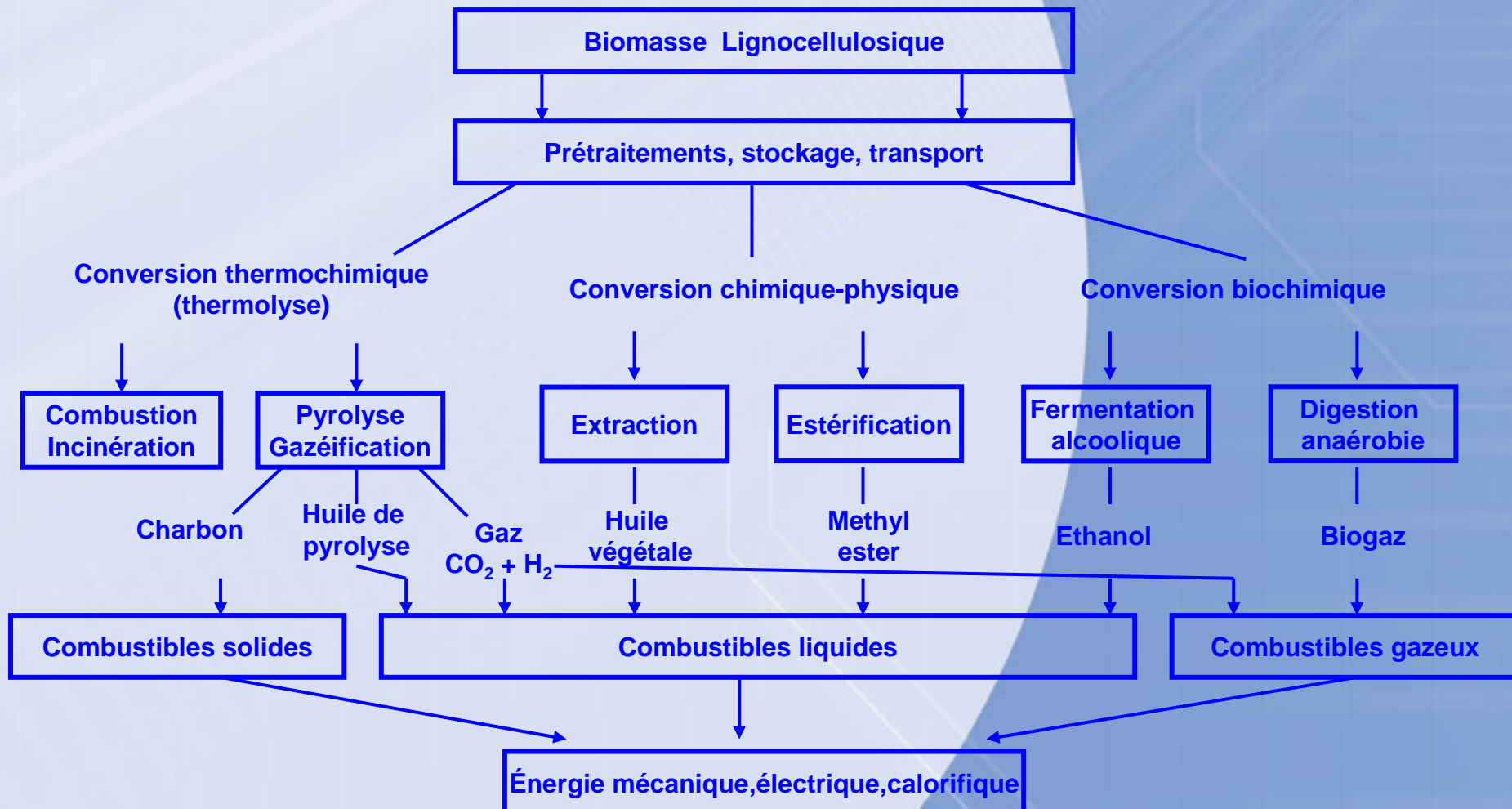


Source : Neste Oil

La conversion de la Biomasse lignocellulosique



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie



BTL (Biomass to Liquid) et Synthèse Fisher-Tropsch

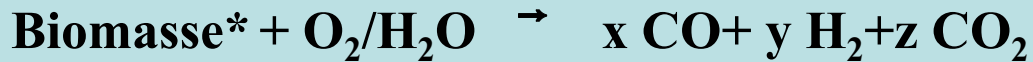


Gaz naturel
Charbon
Biomasse*

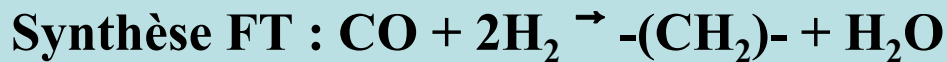
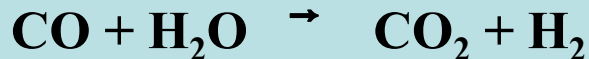
→ **Pyrolyse-gazéif. >**
Gaz de synthèse
(CO + H₂)

→ **Synthèse FT: cires**

→ **Isomérisation:**
Carburants
synthétiques



Réaction de gaz à l'eau (Water gas shift):



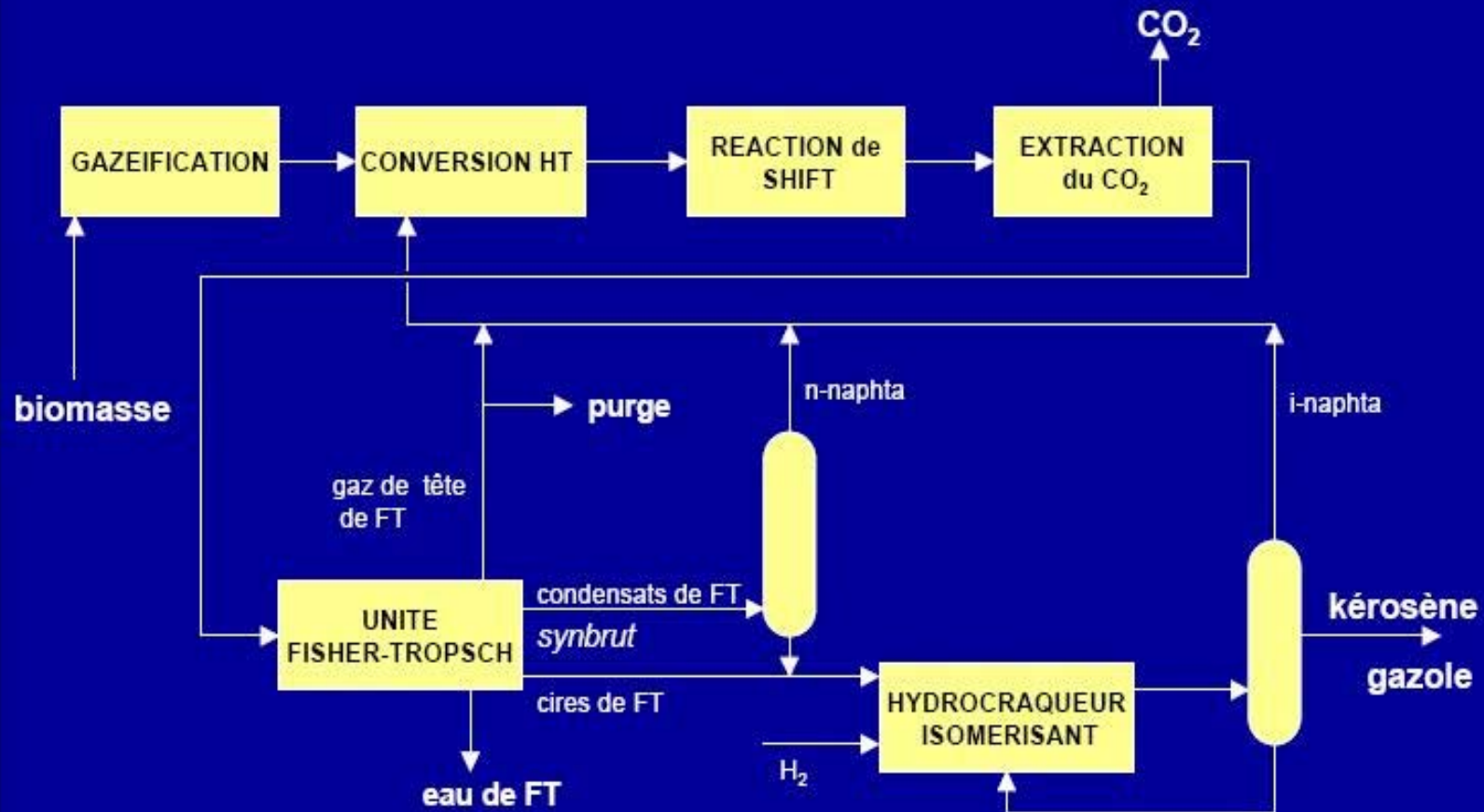
Pour obtenir du gazole: rapport H₂/CO ≈ 2

* biomasse: C₆H₉O₄

Synthèse FISCHER-TROPSCH



ENI – IFP Pilot Plant (150 kg/h) in Sanazzaro ENI refinery



Verrous pour un développement industriel

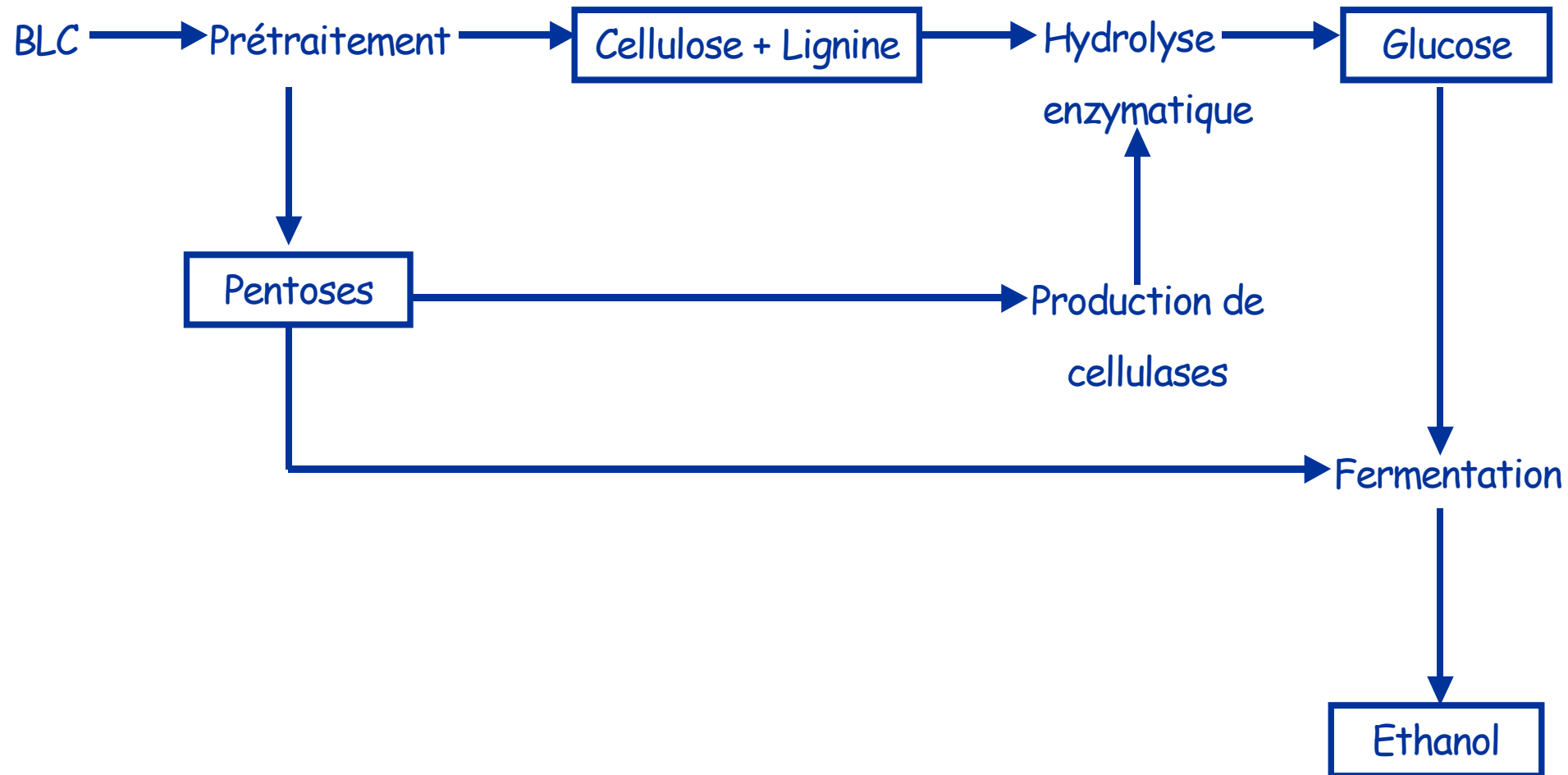


Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

- **BTL par Pyrolyse-gazéification:**
 - **Technologie:**
 - **Procédés multiples avec de nombreux paramètres,**
 - **épuration des gaz (goudrons < 0.1 mg /Nm³),**
 - **Rapport molaire H₂/CO < 2**
 - **faible rendement (12 à 15 % en masse en autotherme), soit avec 12 t de matière sèche/ha, 1,45 à 1,8 t (ou tep) de carburant/ha**
 - **Surcoûts des investissements**
 - **Coût élevé des biocarburants produits (>0,7 €/l)**
 - **Non maturité pour un développement industriel (stade de pilotes d'essais en Allemagne utilisant 75 000 t de bois/an)**



Production d'éthanol à partir de Biomasse Lignocellulosique (BLC)



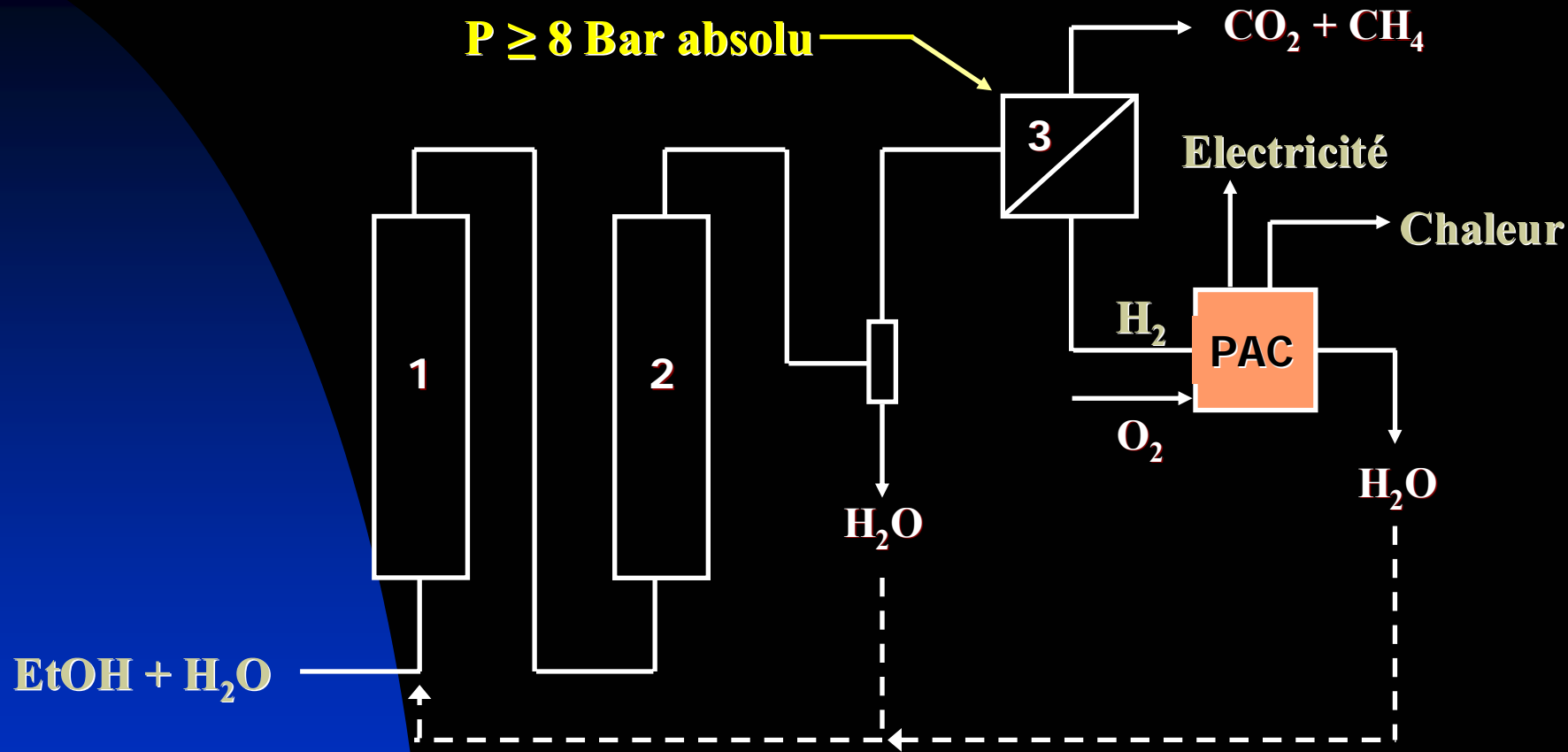
Verrous pour un développement industriel



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

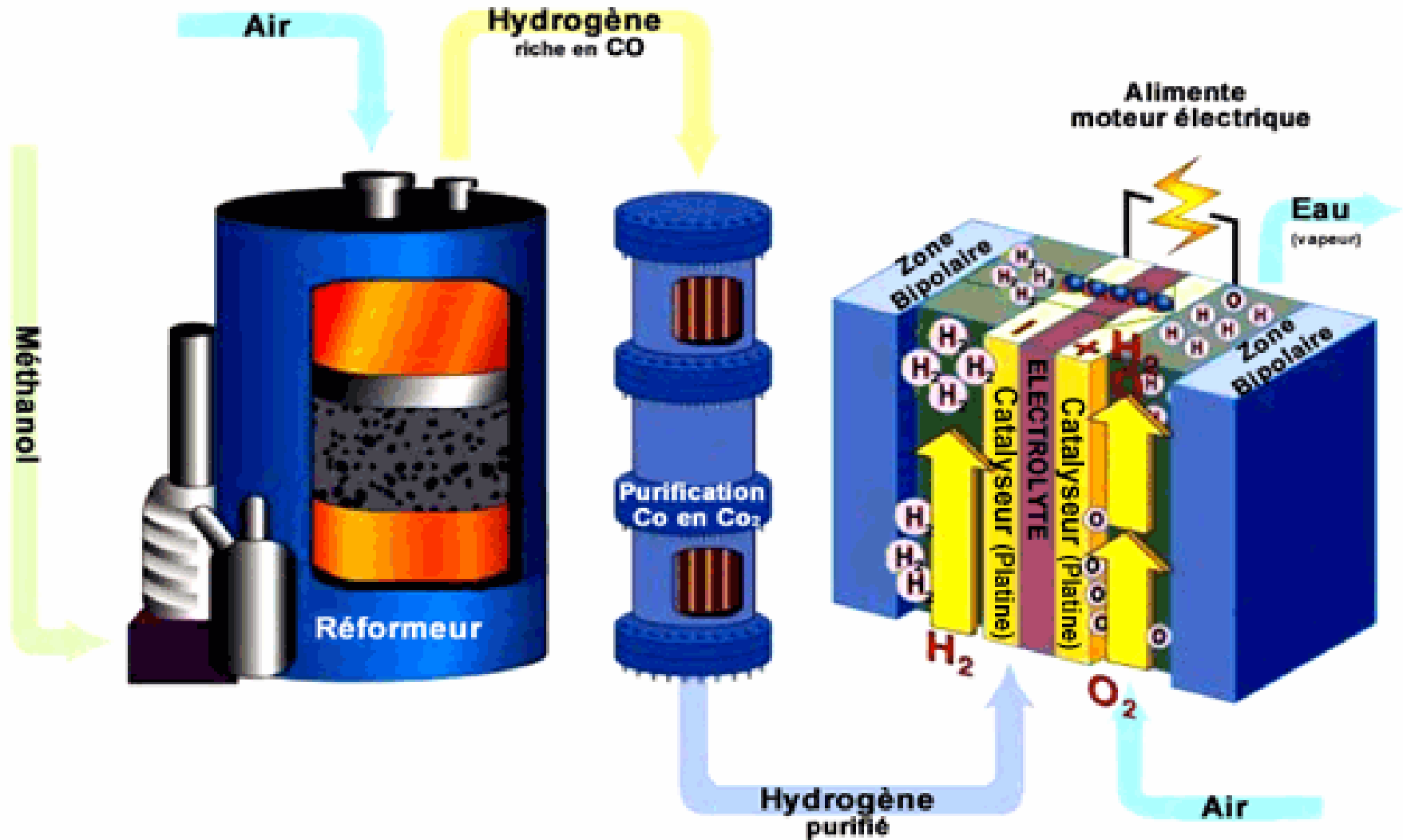
- **Production d'éthanol à partir de lignocellulose**
 - **Technologie :**
 - **Coût des enzymes, optimisation de leur production,**
 - **Amélioration du rendement des enzymes en sucres fermentescibles obtenus,**
 - **Amélioration de l'activité des enzymes (réduction du temps),**
 - **Faible rendement global (12% à 16 % en masse), soit avec 12 t de matière sèche/ha, 1,45 à 1,9 t (ou 0,9 à 1,2 tep) d'éthanol/ha**
 - **Coût élevé des biocarburants produits (0.7 à 0.8 €/l; 0,5 €/l en coûts optimisés; NREL(USA): 0,3 €/l ?)**
 - **Non mature pour un développement industriel (pilotes d'essais en Suède, un pilote industriel: IOGEN au Canada, résultats inconnus)**

Production d'hydrogène par vaporeformage de l'éthanol (Source CNRS)



- 1- Vaporeformage
- 2- Water Gas Shift ($\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$)
- 3- Purification H_2

Ensemble réformeur - Pile à combustibles

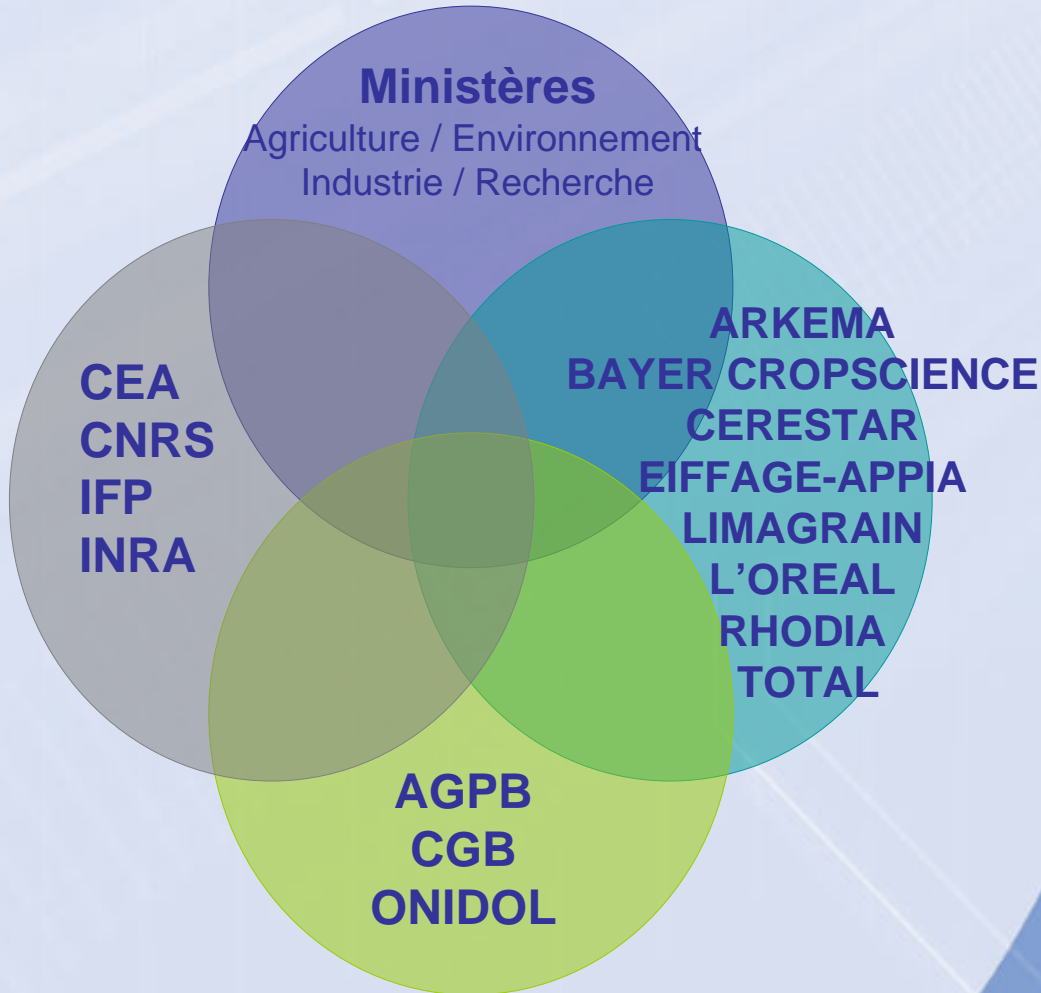




Les partenaires d' **AGRICE**



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie



Résultats 1994 – 2005

- 309 projets
- coût total 90 M€
(aide 30 M€)

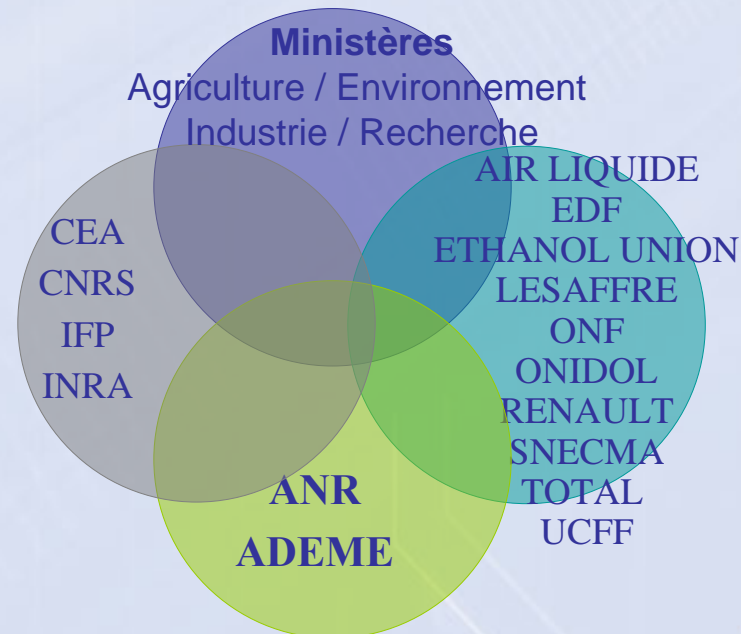
Répartition des projets

Biomolécules	52 %
Biomatériaux	21 %
Biocarburants	19 %
Biocombustibles	8 %

Programme National de Recherche sur les Bioénergies - PNRB



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie



Résultats 2005 + 2006

- 23 projets
- coût total : 42 M €
- aide ANR : 16,5 M €

Répartition des aides

Ressources	21 %
Voie thermochimique	37 %
Voie biologique	41 %
Socio Économie	1 %

PNRB

Les axes de recherche



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

- > **Elargir le périmètre des bioressources mobilisables**
(biomasse lignocellulosique)
- > **Convertir la biomasse lignocellulosique**,
par voie thermochimique ou biologique,
pour la production de carburants de seconde génération
et à terme d'hydrogène
- > **Explorer de nouvelles voies de production d'énergie**
par microorganismes (H₂, lipides microbiens)
- > **Concevoir des systèmes bioénergétiques** intégrés (« bioraffinerie »)
- > **Evaluer et comparer** les impacts socio-économiques et environnementaux
de ces filières

P.N.R.B. Programme National de Recherche sur les Bioénergies



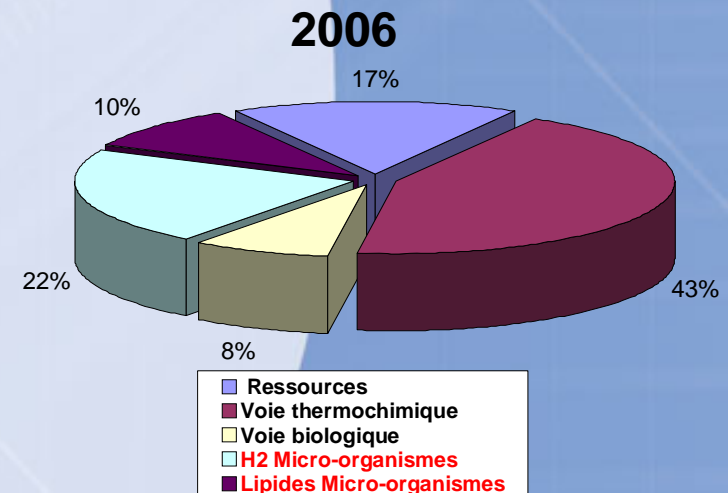
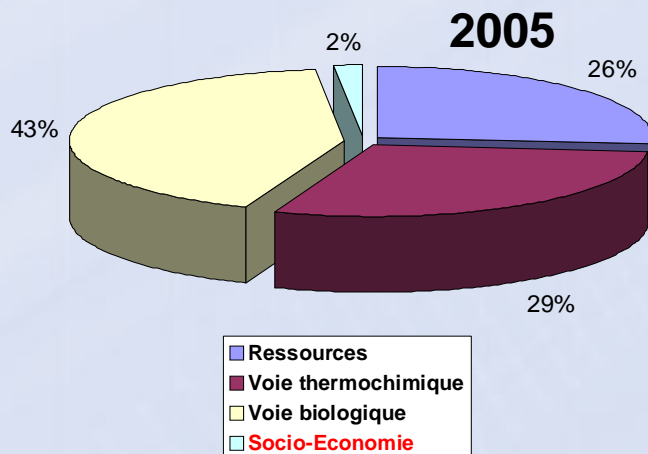
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

BILAN 2005 + 2006

Résultats 2005 + 2006 :

23 projets - montant total : 42 M € / aide accordée : 16,5 M €.

Répartition de l'aide par thème:



A venir :

- Clôture de l'AAP 2007 le 26 mars 2007
- Forum PNRB le 13 février 2007

Envie d'en savoir plus? Consultez le site
dédié au PNRB www.pnrb.net

N°	Axes thématiques et sous-thèmes	
1	Ressources lignocellulosiques	
	1.1	Evaluation technique du gisement
	1.2	Adéquation de la qualité des ressources aux techniques de conversion
	1.3	Cultures énergétiques
	1.4	Evaluations socio-économique et environnementale des ressources
	1.5	Evaluation de scénarios de mobilisation et de production
2	Conversion de la biomasse lignocellulosique par voie thermochimique. Procédés de 2^{ème} génération	
	2.1	Evaluations socio-technico-économique et environnementale des filières
	2.2	R&D sur les problèmes et verrous techniques
	2.3	Recherches d'accompagnement d'opérations Pilotes
	2.4	Procédés physiques et chimiques de production d'hydrogène
3	Conversion de la biomasse par voie biologique	
	3.1	Procédés de 2 ^{ème} génération - Conversion de la Biomasse lignocellulosique
	3.1.1	Substrats et pré-traitements
	3.1.2	Conception et production industrielle d'enzymes de saccharification
	3.1.3	Hydrolyse enzymatique
	3.1.4	Fermentation alcoolique
	3.1.5	Recherches d'accompagnement d'opérations Pilotes
	3.2	Production directe de vecteurs énergétiques par l'action de micro-organismes
	3.2.1	Production biologique combinée d'hydrogène et de méthane
	3.2.2	Production biologique de lipides
4	Procédés de traitement ou co-traitement de matières premières organiques ou de bioproduits dans des systèmes bioénergétiques intégrés (bioraffineries)	
	4.1	Intégration des voies biologique et thermochimique
	4.2	« Co-valorisation » de biomasse et d'autres sources de carbone fossile
	4.3	Productions multiples - Polygénération
	4.4	Valorisation énergétique du biogaz
5	Evaluations socio-technico-économique et environnementale, et impacts globaux	
	5.1	Etablissement d'un cadre méthodologique d'évaluation multicritère
	5.2	Comparaison macroéconomique entre usages énergétiques
	5.3	Impacts globaux du développement des bioénergies sur l'économie, la société et l'environnement

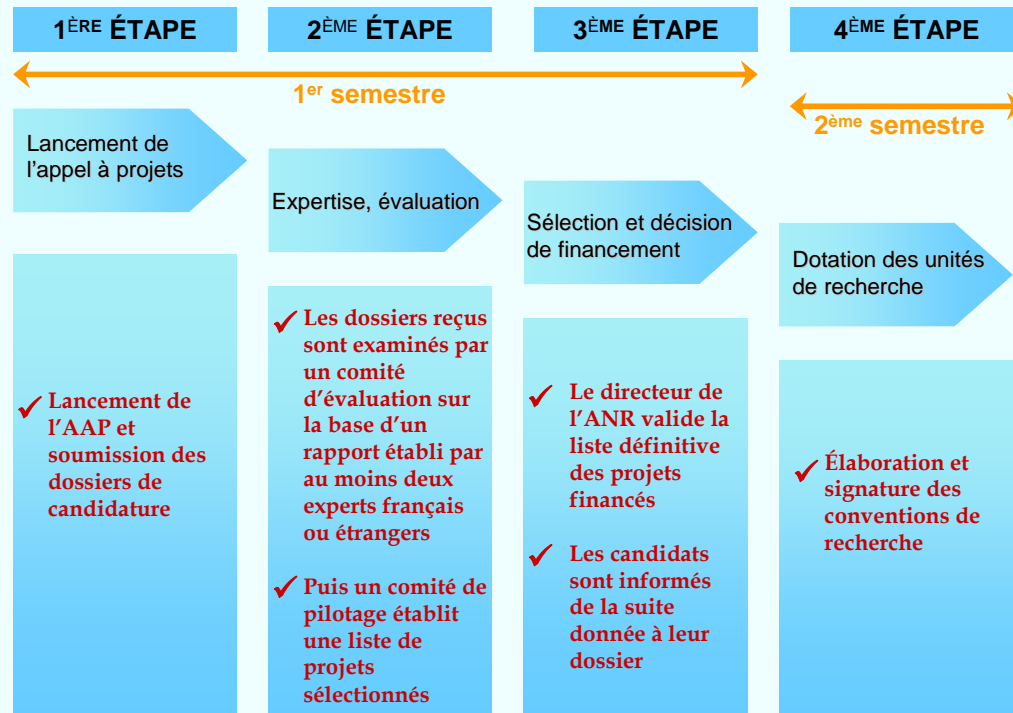
P.N.R.B. Programme National de Recherche sur les Bioénergies

ORGANISATION : Financement par l'ANR / mise en œuvre par l'ADEME



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

PNRB : Procédure de soumission, de sélection et de financement



Projets soumis

2005 : 19

2006 : 31



2005 : 10
projets financés

Montant de
l'aide : 8,5 M€

2006 : 13
projets retenus

Montant de
l'aide : 8 M€



Perspectives d'évolution :



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

- **1ère GENERATION = Directive 2003/30/CE :**
objectifs pour 2005 (2%) et 2010 (5,75%).
France: 7% en 2010 et 10% en 2015.
- **2ème GENERATION = après 2012 :**
Biocarburants synthétiques: BTL (Biomass to Liquid)
et éthanol de cellulose ?
Diffusion de nouveaux véhicules (flexibles): entre 0 à
85% d'éthanol ?
- **3ème GENERATION = H2 (obtenu à partir de matières**
et d'énergies renouvelables) pour les moteurs et/ou les
piles à combustibles ?



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

Bilan énergétique des filières biocarburants complètes en 2005 (Éthanol / Ether et essence)



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

Rendement =
Énergie restituée/Énergie non renouvelable mobilisée.

Essence (50 ppm soufre)	Ethanol de blé	Ethanol de bettera ve	MTBE (1)	ETBE (2) de blé	ETBE (2) de bettera ve
0.873	2.05	2.05	0.76	1.02	1.02

(1) Méthyl Tertio Butyl Ether ; (2) Ethyl Tertio Butyl Ether

Bilan énergétique des filières biocarburants complètes en 2005 (Huile végétale / Ester et gazole)



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

Rendement =
Énergie restituée/Energie non renouvelable mobilisée.

Gazole (50 ppm soufre)	Huile de colza	Huile de tourneso 1	EMHV (1) colza	EMHV (1) tournesol
0.917	4.68	5.48	2.99	3.16

(1) EMHV: Ester Méthylique d'huile végétale

Bilan des gaz à effet de serre (GES) des filières biocarburants complètes en 2005 avec hypothèse de combustion totale



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

Essence (50 ppm soufre)	Ethan ol de blé	Ethanol de betterave	MTBE	ETBE blé	ETBE better ave
85.9 g.eqCO₂/MJ	34.4	33.6	88.9	70.5	70.3
3 650 g.eqCO₂/kg	922	902	3 130	2 530	2 522

Bilan des gaz à effet de serre (GES) des filières biocarburants complètes en 2005 avec hypothèse de combustion totale



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

Gazole (50 ppm soufre)	Huile de colza	Huile de tournesol	EMHV colza	EMHV tournesol
79.3 g.eqCO₂/M J	17.8	13.2	23.7	20.1
3 390 g.eqCO₂/kg	660	498	888	745

Biomasse – ressources et prospective

Bioénergies & Bioproduits (France)



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

		2000	2010	2020	2050	Surplus potentiel (vs 2000)
Bois énergie	Mtep	9	10	11,5	12	12 (bois+paille, ...)
Biodéchets	Mtep	0,45	1,2	2	3	3 - 4
Bioproduits <i>carburants/ chimie/ matériaux*</i>	Mtep	0,7	3,4	6,7	12	12 – 14
	M ha	0,55	2	3,5	6,2	6 – 7
TOTAL Biomasse Energie / chimie / matériaux	Mtep	10	14	20	27	27 - 30

* 1 ha = 2 tep (t éq pétrole)

Biomasse – Utilisation et surplus potentiel



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

➤ Forêt (2003)	
Croissance biologique annuelle	> 100 Mm ³
Prélèvements: bois d'industrie et de feu	~ 55 Mm ³
➤ Surplus:	
- Rémanents liés à l'exploitation	28 Mm ³ (~ 7 Mtep)
- Rémanents liés à un accroissement d'exploitation (1)	16 Mm ³ (~ 4 Mtep)
Surplus potentiel (lié à l'exploitation)	44 Mm³ (~ 11 Mtep)

➤ Agriculture (2000)	
Surfaces Agricoles Utiles (Mha) dont:	27,8
- Production alimentaire	25,8
Dont cultures d'exportations	Env. 5 Mha
- Productions non alimentaires	0,8 Mha
- Jachère	1,2
Surplus potentiel	7 Mha (~ 14 Mtep)

(1) Étude (prospective) Solagro. IFN



Biomasse- les ressources (France)



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

	Mha
➤ Forêt (2003)	16,8
➤ Agriculture (2000)	
SAU	
Dont	27,8
▪ Terres labourables: 18,3	
▪ Superficie fourragère: 13,0	

