



Les bioénergies

Christian COUTURIER
Directeur du Pôle Energie

SOLAGRO

Toulouse

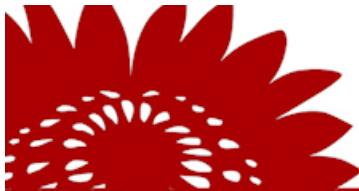
christian.couturier@solagro.asso.fr



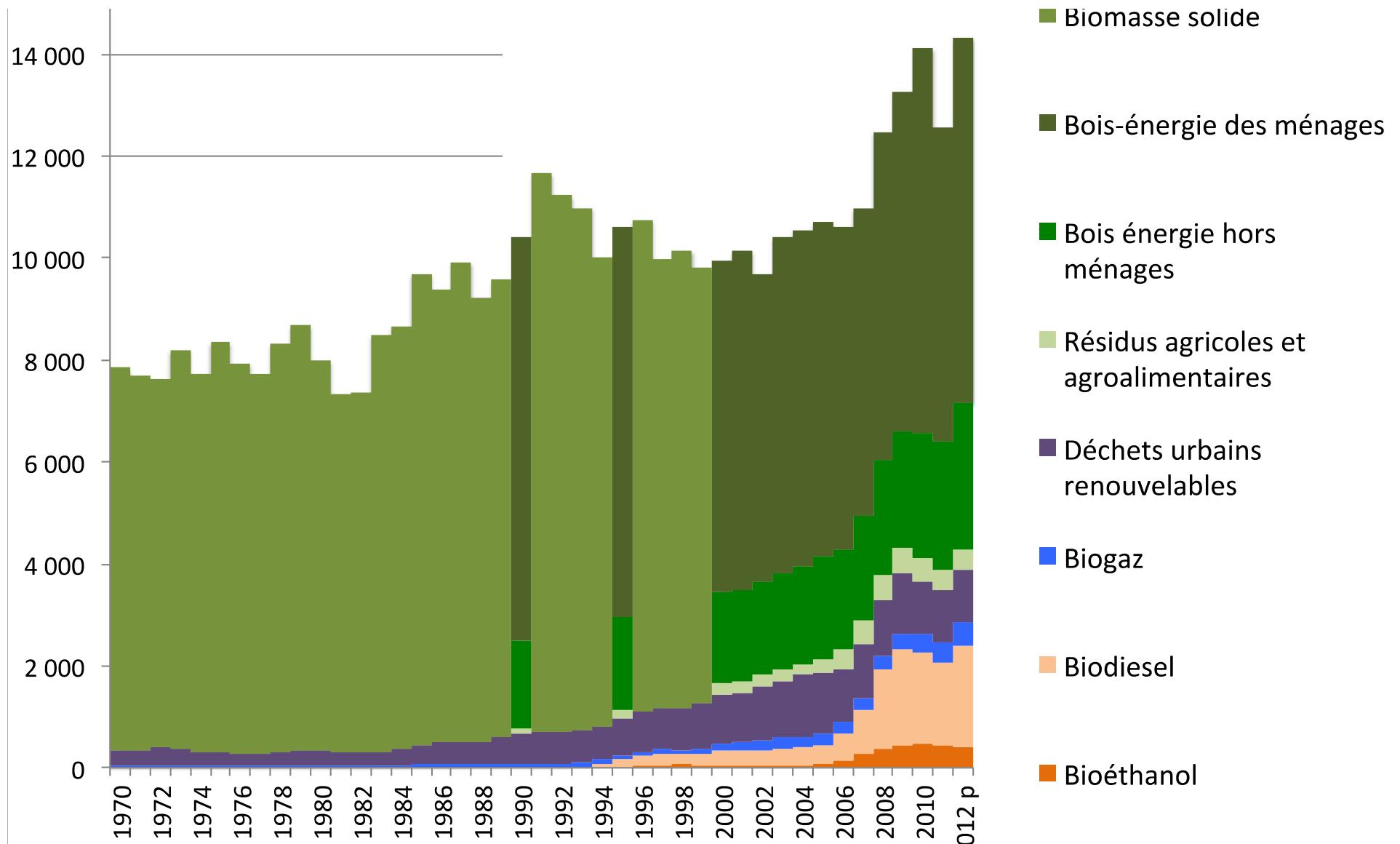
La biomasse, première source d'énergie de l'humanité

- Bioénergie = conversion énergie solaire par végétaux puis animaux ; cuisson, éclairage, chauffage, force motrice pour labours, transports : chevaux, bœufs, ânes
- Ressources diversifiées (bois, bouse...), évolution des technologies (foyer traditionnel, cheminée du moyen-âge, poêle, insert...)
- Charbon de bois âge du cuivre, invention du gaz de ville (thermolampe au gaz de bois, 1801) et distillation du bois, carburants Fischer-Tropsch années 30
- Machine à vapeur XVIII° : au bois et au charbon
- Moteur DIESEL à l'huile 1898, moteur Otto à l'alcool 1890, gasohol FORD aux USA années 30, MBAE début XX° (plan Carburol 1981)
- Incinération des déchets (1874 aux USA, 1906 en France), méthanisation des boues urbaines (1885 en Angleterre, 1940 en France)





Evolution de la production 1970-2012 (ktep)





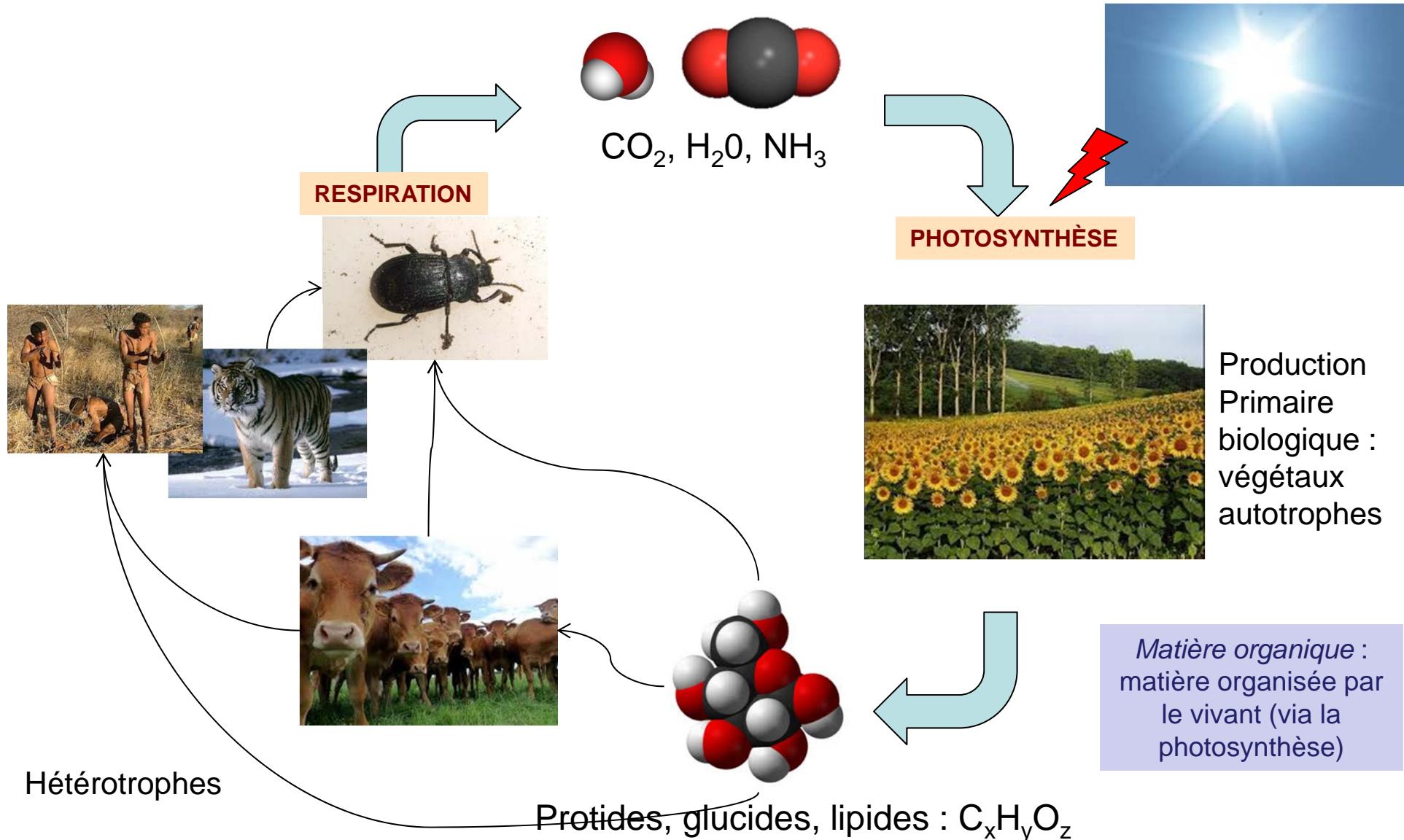
Les bioénergies aujourd'hui en France

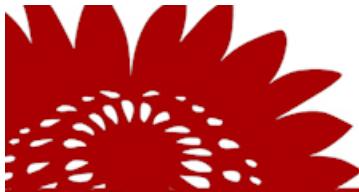


Plan d'action national en faveur des énergies renouvelables Période 2009-2020 - en application de l'article 4 de la directive 2009/28/CE de l'UE	ktep primaires	Objectif 2020
A) Biomasse provenant de la sylviculture	11.030	14.000 à 16.000
1. Biomasse provenant de forêt (bûche, plaquettes forestières, y compris haies...)	6.260	8.600 à 10.000
2. Résidus de scierie, déchets de bois, liqueur noire...	4.770	5.500 à 6.000
B) Biomasse provenant de l'agriculture	1.220	4.200
1. Cultures (agrocarburants...)	800	3.200
2. Sous produits (paille, sous-produits animaux, bagasse, biogaz...)	390	1.000
C) Biomasse provenant des déchets	1.350	2.000 à 2.600
1. Fraction biodégradable des OM, y.c. déchets verts, restauration, commerce de détail, agro-alimentaire (incinération et méthanisation)	1.290	1.000-1.700
2. Fraction biodégradable des déchets industriels, y.c. papier carton, palettes...	-	900
3. Boues d'épuration (méthanisation)	50	50
TOTAL	13.600	20.000 à 23.000



Cycle du vivant

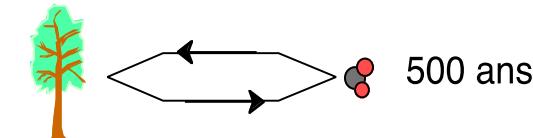
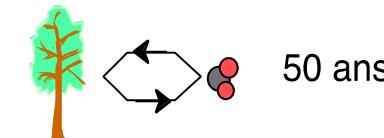
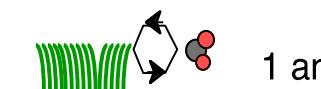
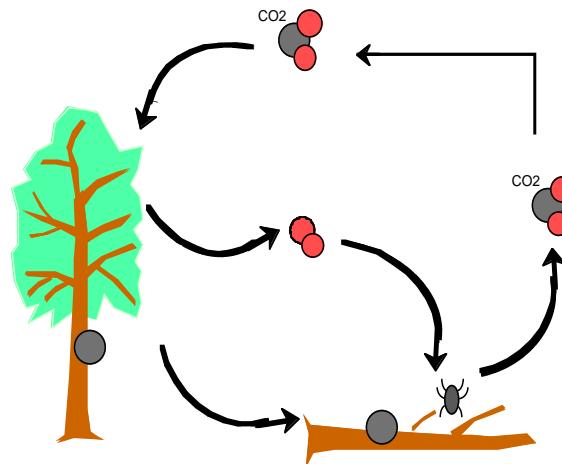




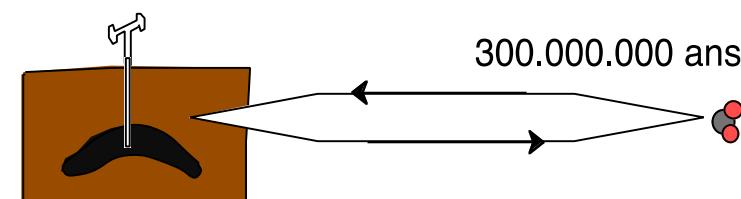
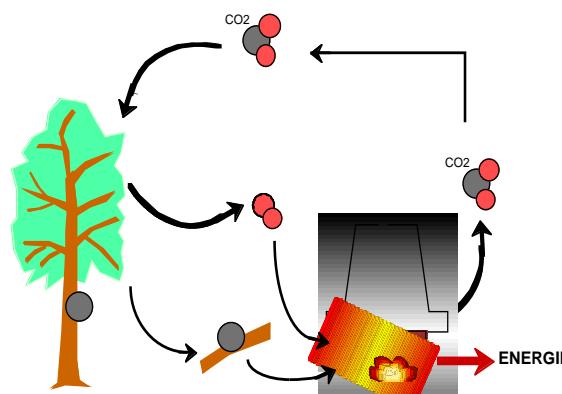
Biomasse et effet de serre



Cycle « naturel »



Cycle « énergie »





La neutralité carbone des bioénergies n'est pas intrinsèque

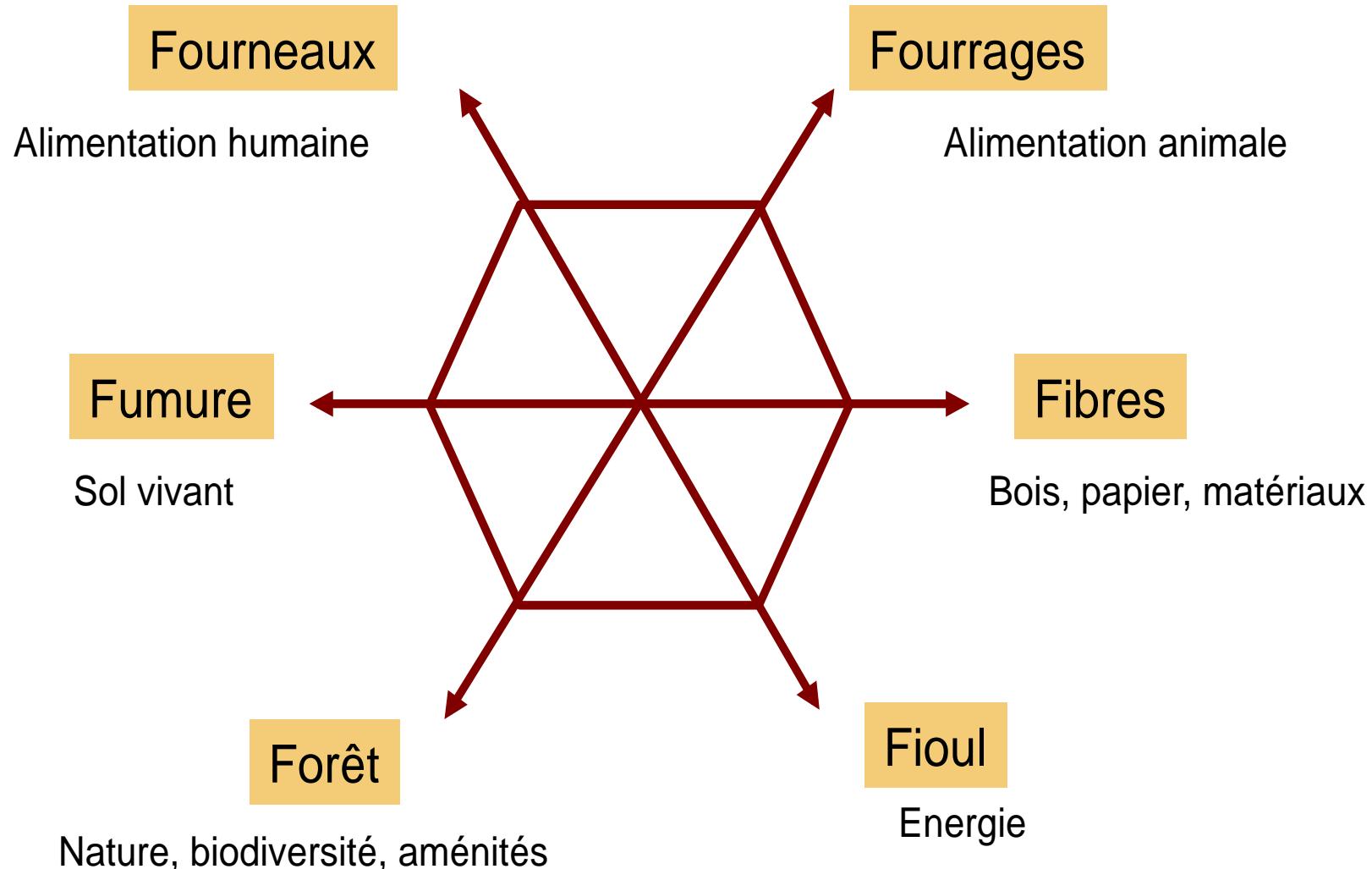
- Dépend des systèmes et pratiques des écosystèmes agricoles et sylvicoles : comparer l'évolution du stock de carbone selon différents scénarios

Exemple pour la forêt :

- stock C :
 - décroît si déforestation ou décapitalisation,
 - est stable pour forêts ayant atteint leur équilibre,
 - peut augmenter pour forêts en croissance (cas général forêt française)
- le bilan carbone de l'usage bioénergie dépend :
 - de la ressource utilisée : production forestière dédiée ou sous produits du bois d'œuvre => clé de répartition entre les co-produits
 - des énergies substituées (chaîne énergétique)
 - se compare à scénario de référence (sylviculture)



Les 6 *F* ou « l'hexagone de la biomasse »





La forêt et le bois



Usages actuels du bois énergie

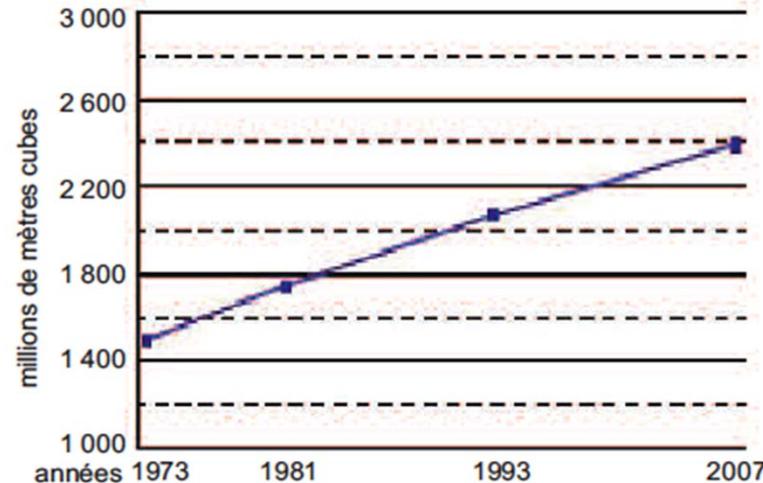


Équivalent Mm3 de bois rond (source : SSP)

Source	Direct	Indirect	Total
Répartition par origine	25,4	17,1	42,5
Forêt	18,5		18,5
Arbres hors forêt	6,6		6,6
Déchets industrie du bois		11,6	11,6
Liqueurs noires		3,6	3,6
Récupération		2,2	2,2
Répartition par usages	25,4	17,1	42,5
Cogénération	0,6	0,9	1,5
Industrie & autre	1,5	7,4	8,9
Résidentiel & tertiaire	23,3	8,8	32,1



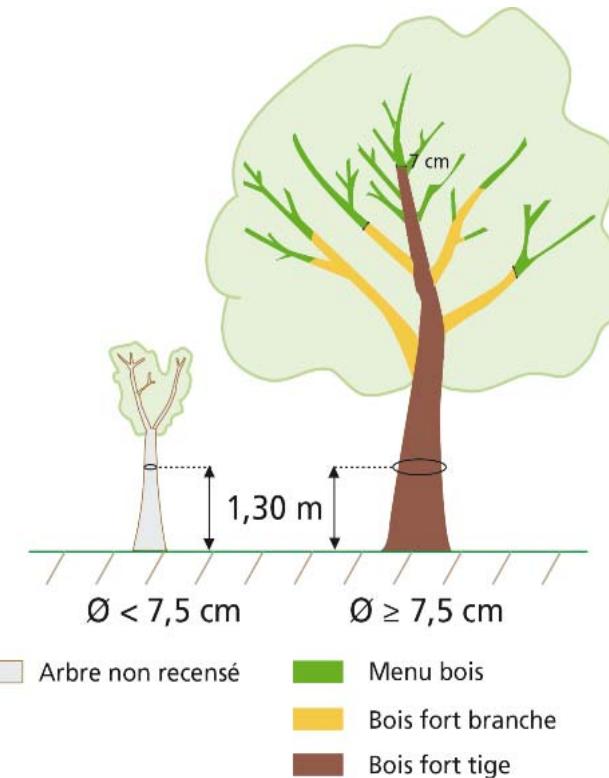
La forêt française en 2010



Évolution du volume sur pied en France sur le dernier quart de siècle

- **Le stock sur pied**

- 2,4 milliards de m³ bois fort tige
- +25 Mm³ d'accroissement annuel



- **La production biologique**

- donnée IFN : « bois fort tige » (révision Octobre 2011) = 85-90 Mm³ « bois rond sur écorce » de production biologique, soit 5,5 m³/ha
- « Bois fort branche » + menu bois = bois fort tige x facteur d'expansion (programme CARBOFOR)
- **Total biomasse (hors feuillage) : environ 130 Mm³**



La forêt en 2010



- Les prélevements : 62 Mm³/an

Mm ³	Bois fort tige	Autres compartiments	Total
Commercialisé	xxxxx	x	37
Autoconsommé	xx	xx	19
Pertes d'exploitation			6 (10%)
Total	42	~20	62
Production biologique	86	42	129
Taux de prélevement	49%		48%

Source Mémento 2012, IGN : période 2005-2011, France métropolitaine
Production biologique bois fort tige : 86,4 Mm³ ±1,2 ; 5,6 m³/ha ±0,1 – pour 15,4 Mha de forêt destinée à la production de bois
Prélèvements : 41,8 Mm³ ±3,2 ; bois mort 8,9 Mm³ ±1,3

Données IFN

Données déduites

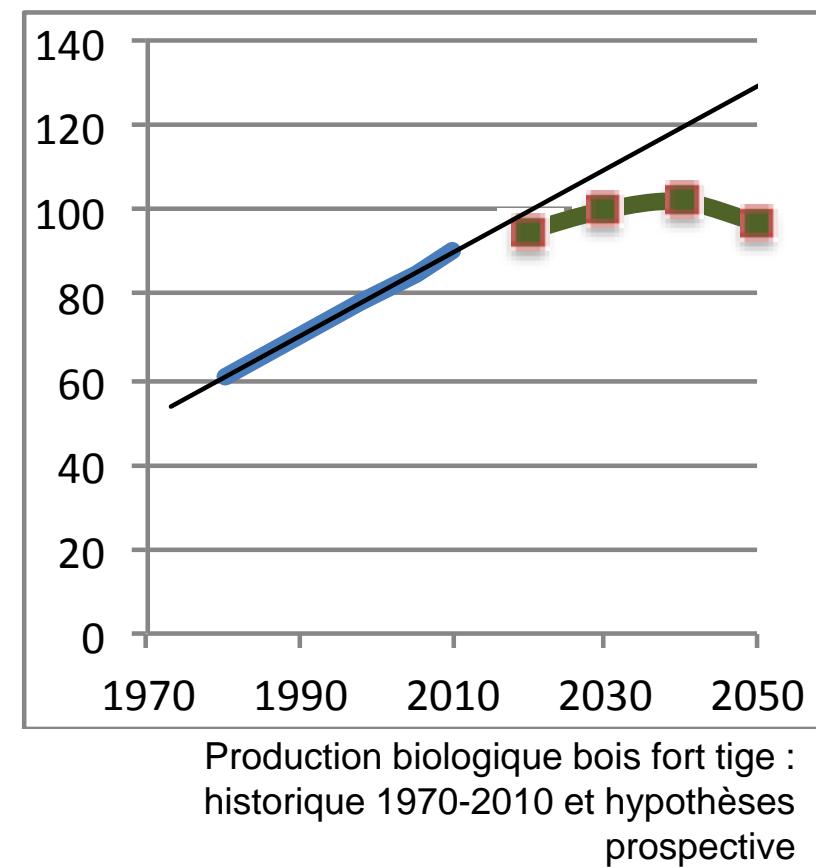
Données estimées



La forêt en 2050 : les hypothèses Afterres2050



- Faible augmentation des surfaces, mais la productivité continue à croître (forêt jeune)
 - La surface continue à croître (**17 Mha** en 2050, hors boisement des terres agricoles)
 - La production biologique augmente encore (effets structurels)...
 - puis atteint un plafond (les effets négatifs du changement climatique l'emportent sur les bénéfices, peut être plus tôt que prévu)
 - Pas d'intensification (TCR), sauf exceptions
- production biologique = 100-105 Mm³ bois fort tige soit environ **150 Mm³** total
- Accroissement du stock de carbone malgré une augmentation des prélèvements

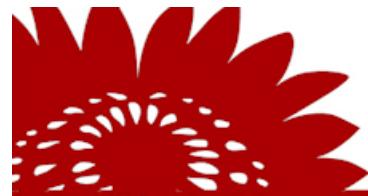




Hypothèses futurs prélèvements en forêt

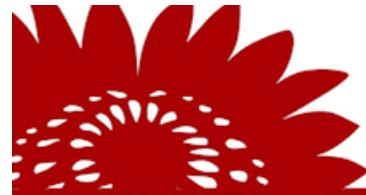


Mm3	2012	2030	Maxima décennie 2040
Bois d'œuvre	~ 22	29	30-32
Bois d'industrie	~12	16	17-18
Bois énergie	~22	41	44-50
Pertes d'exploitation	6	9	9-10
TOTAL	62	94	100-110
Production biologique : - bois fort tige	86	102	96-105
- Bois total	129	153	143-158
Taux de prélèvement	49%	61%	70%

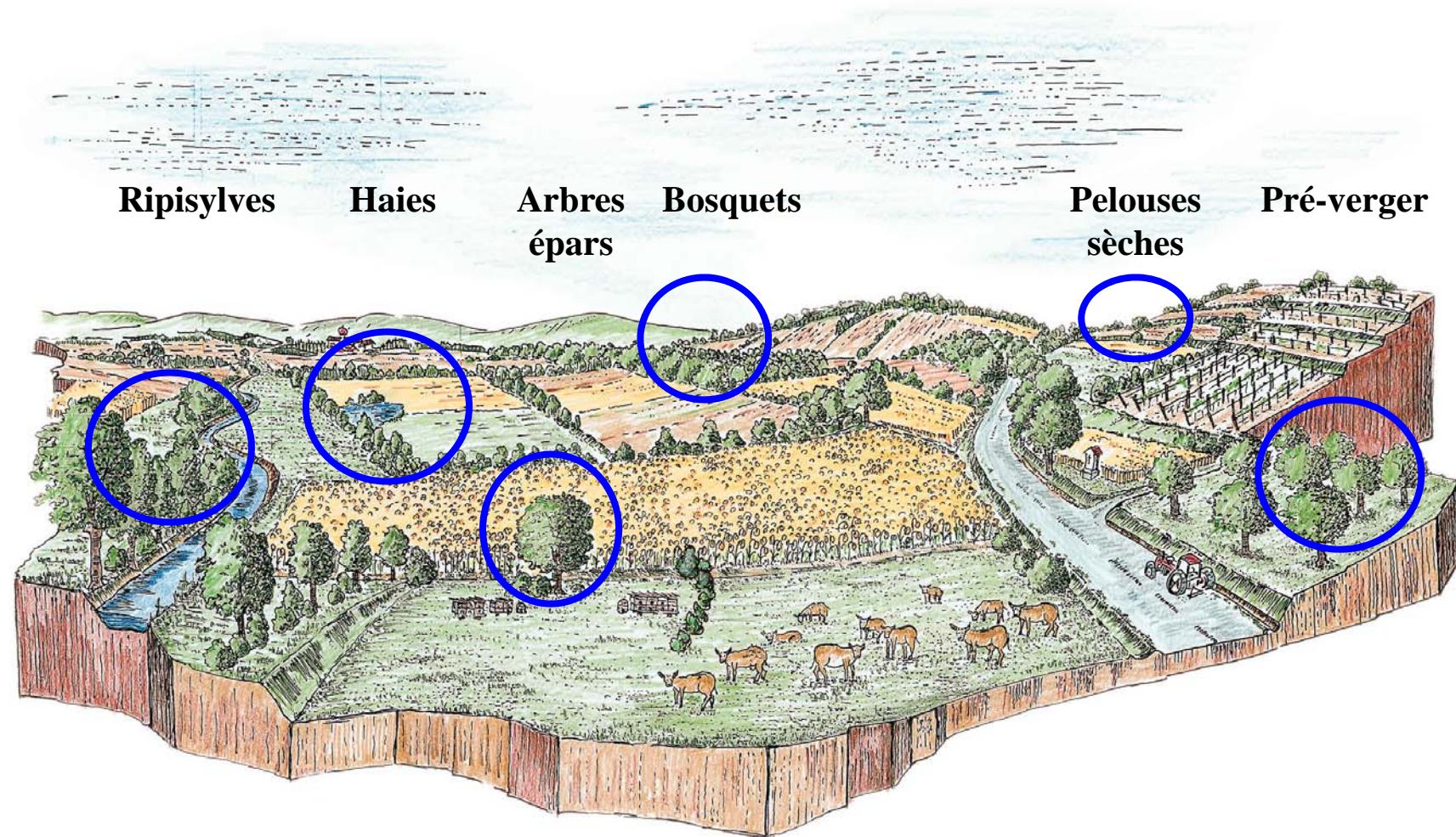


L'arbre au cœur de la transition agroécologique : l'agroforesterie





L'arbre au cœur de la transition agroécologique : les infrastructures agroécologiques





Méthanisation agricole



La méthanisation, ou « digestion anaérobie »



Un processus de transformation de la matière organique complexe en molécules simples

- Absence d'oxygène : procédé « anaérobie »
- Phénomène naturel : gaz de marais, de fumier, intestin : « digestion »

Les voies aérobies :

- MO + microorganismes + O₂ -> CO₂ (forme oxydée du carbone) + chaleur.

Les voies anaérobies :

- MO + microorganismes -> CH₄ (forme réduite du carbone) + peu de chaleur.
- CH₄ + O₂ -> CO₂ + énergie

=> La méthanisation permet de récupérer de l'énergie sous une forme exploitable : le gaz méthane



Les ressources actuelles : déjections d'élevage, déchets IAA, boues urbaines, biodéchets



SARL Agri Energie
(45) : 150 kWe



GAEC du Vivieroche
(71) : 150 kWe



GEOTEXIA (22) : 1,4 MWe



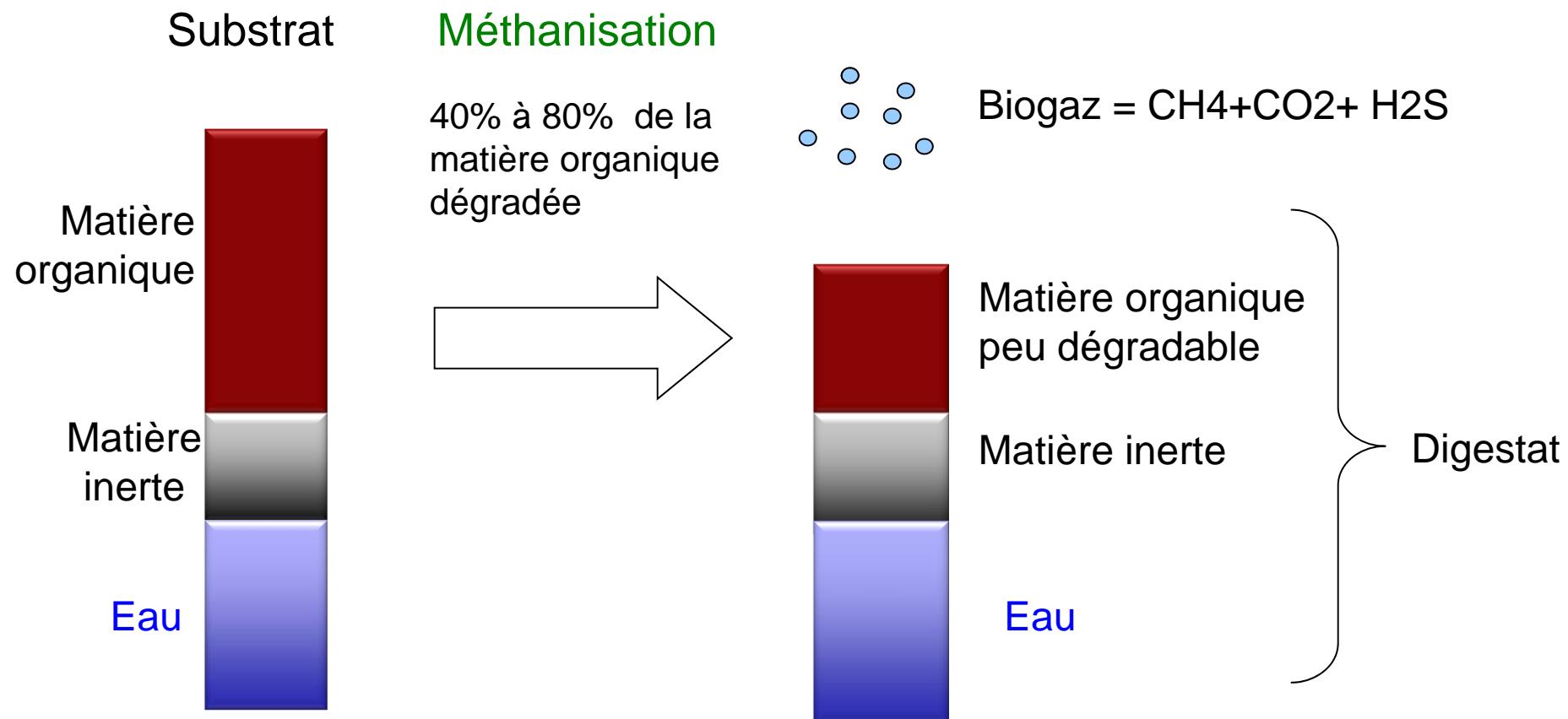
FERTI-NRJ (60) : 600 kWe

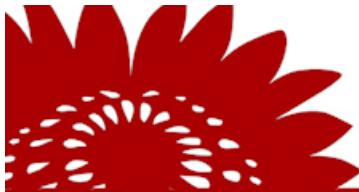


Lycée Agricole Chambéry
(73) : 45 kWe



La méthanisation : principe

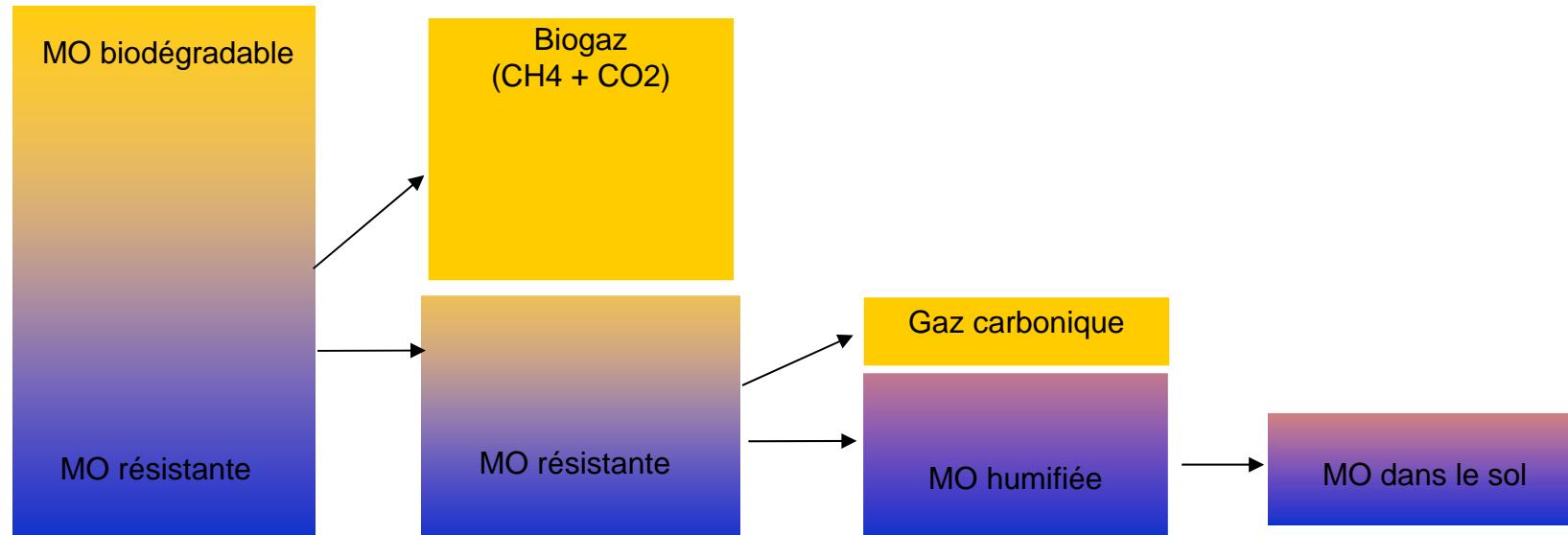


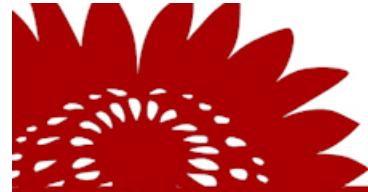


Conservation du carbone stable



Matière organique fraîche	MO après méthanisation OU phase thermophile du compostage	Compost mûr (après maturation)	Devenir à long terme dans les sols
---------------------------	--	--------------------------------	------------------------------------





« Sol vivant » et carbone « frais »

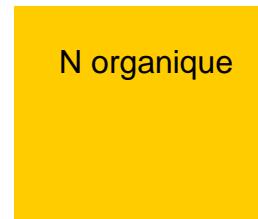
- MO labile = source d'énergie pour organismes vivants du sol
- Digestat correspond à un compost frais, non mature et encore très évolutif, ou à un fumier de 4-6 mois
- Possède encore près de la moitié du carbone labile de la matière initiale



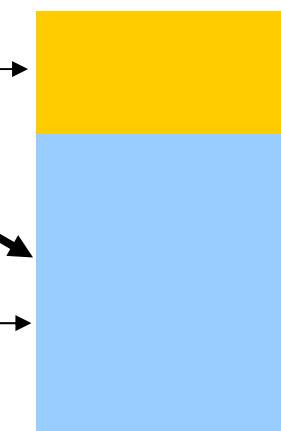
Évolution des formes d'azote au cours de la digestion



Produit brut



Produit digéré



Produit solide :
action similaire à
amendement de
fond



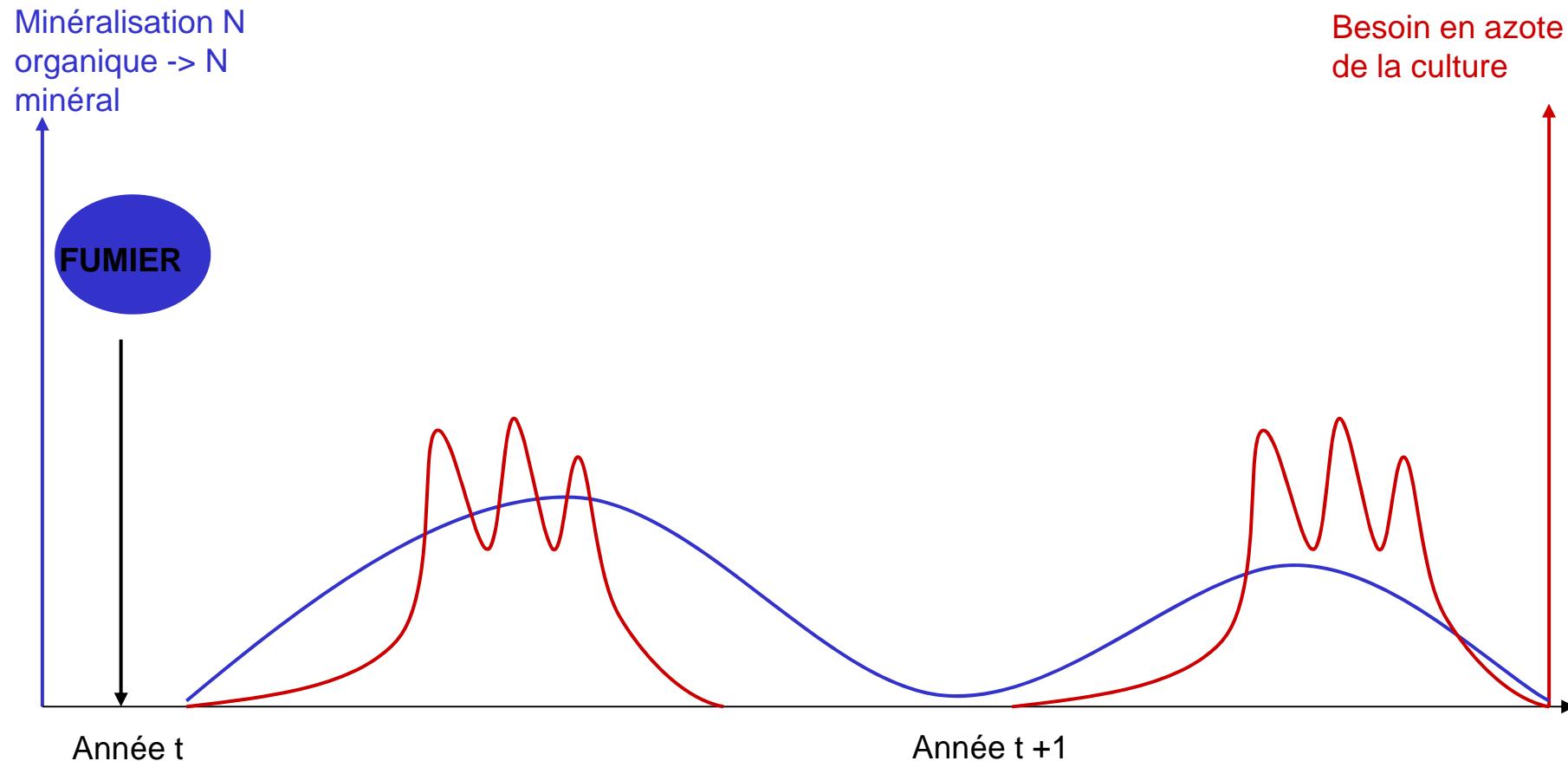
Produit liquide :
action similaire à
engrais liquide

L'azote organique (protéines) est transformé en ammoniac (minéralisation) au cours de la méthanisation

L'ammoniac (soluble) se trouve principalement dans la fraction liquide en cas de séparation de phase



Gestion du digestat en substitution aux engrais

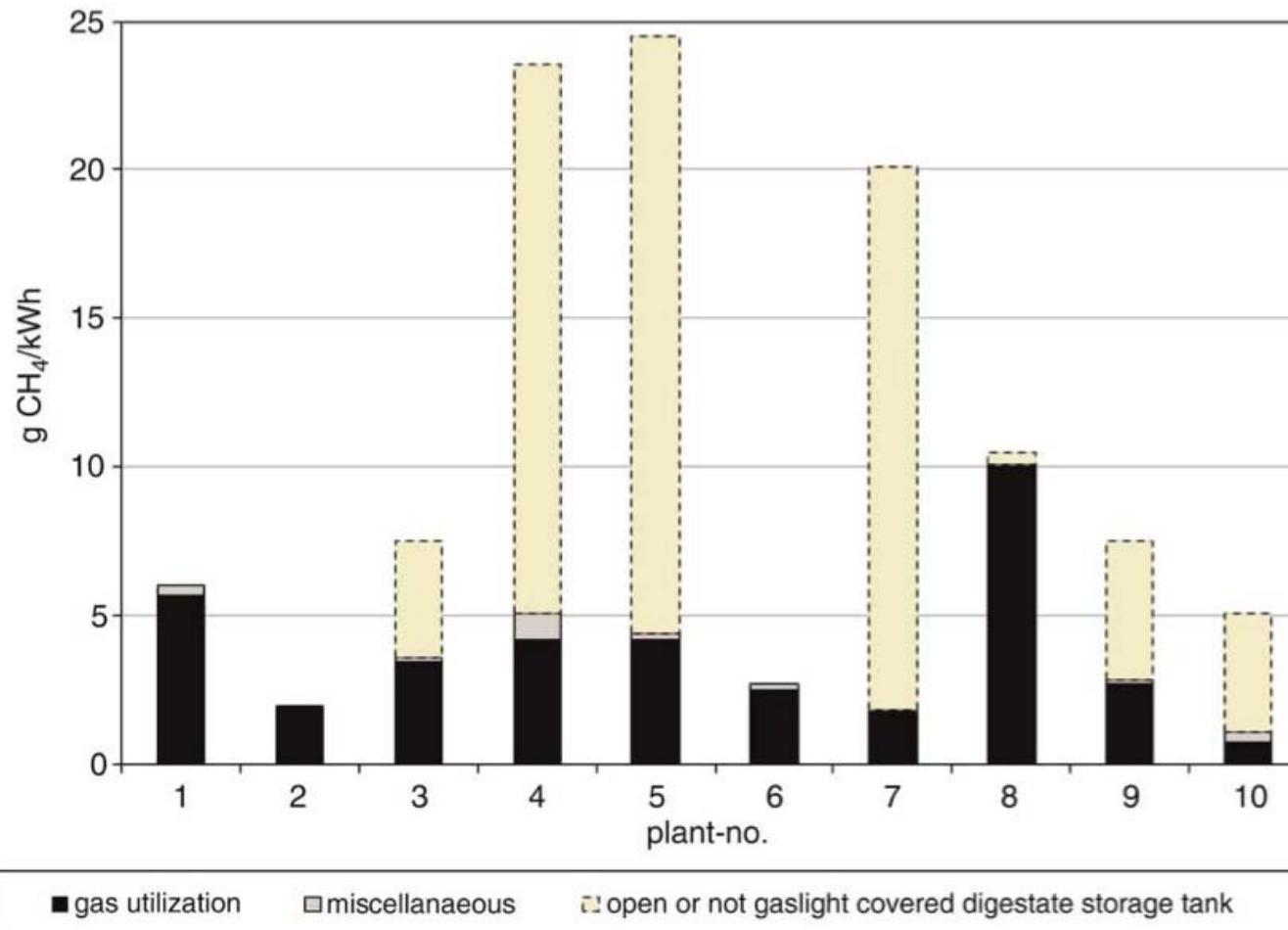




Bilan fuites CH₄ sur 10 installations allemandes



Analysis of greenhouse gas emissions from 10 biogas plants within the agricultural sector J. Liebetrau, T. Reinelt, J. Clemens, C. Hafermann, J. Friehe and P. Weiland - 2013



Les meilleures pratiques : 0,5% du CH₄ produit

- Mieux que le gaz naturel...

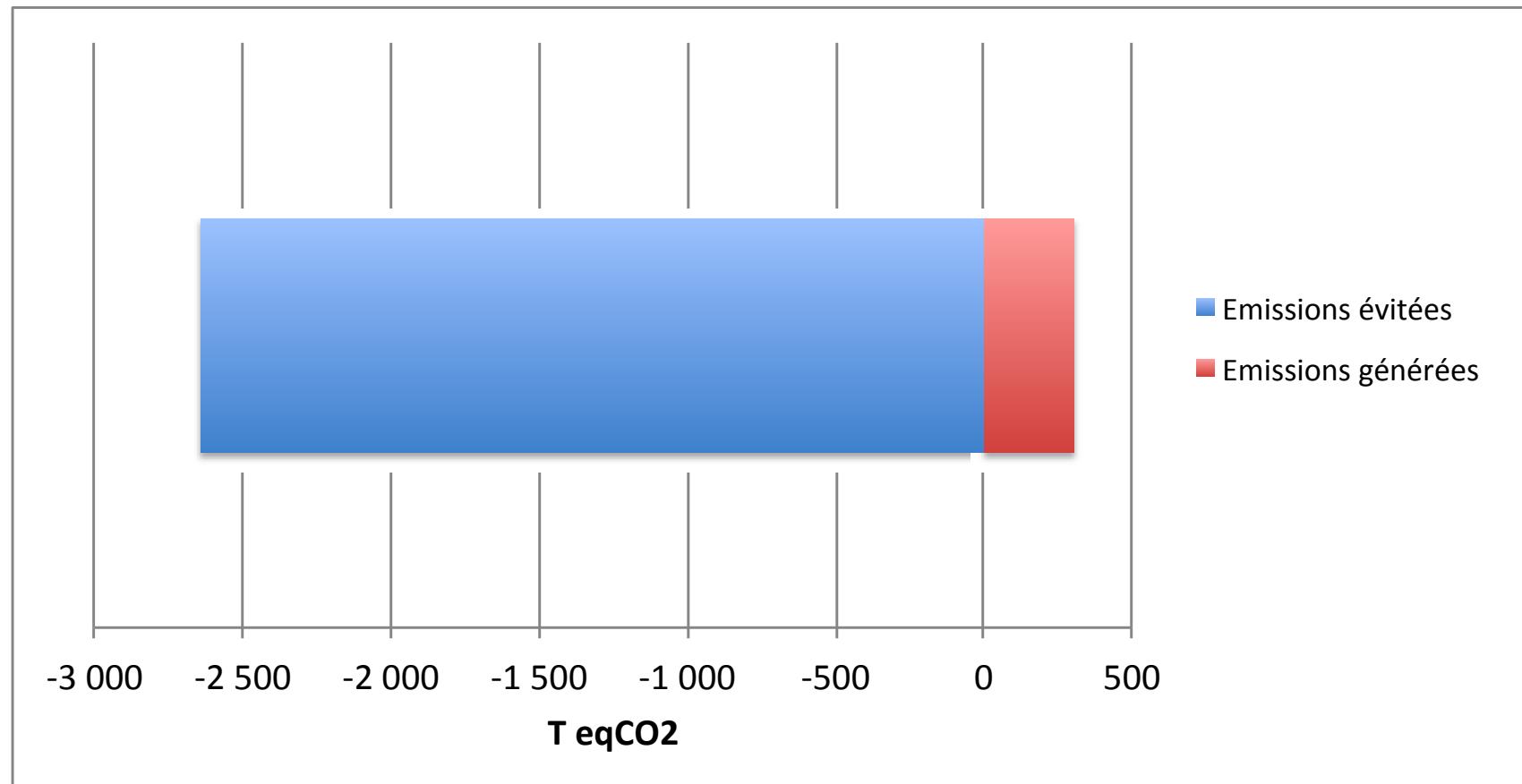
Principales sources : fosses digestat non couvertes et simples membranes (petites unités)



Bilan gaz à effet de serre de la méthanisation



- Bilan global : 80 à 90% de réduction d'émissions nettes





Exemple : Bioénergie de la Brie



EARL Quaak

Surface agricole

- 250 ha de cultures + 50 ha de prairies naturelles
- Agriculture de conservation :
 - Techniques Culturales Simplifiées, semis direct sous couvert
 - Rotations longues avec légumineuses, 9 cultures / 6 ans (CIVE)

Méthaniseur	t/an
Fumiers et lisiers	2.500
Issues de céréales	2.500
CIVE	1.200
Déchets IAA	6.300
Investissement	5 M€
Débit gaz	110 m ³ /h de méthane (1,1 MW PCs)

Elevage

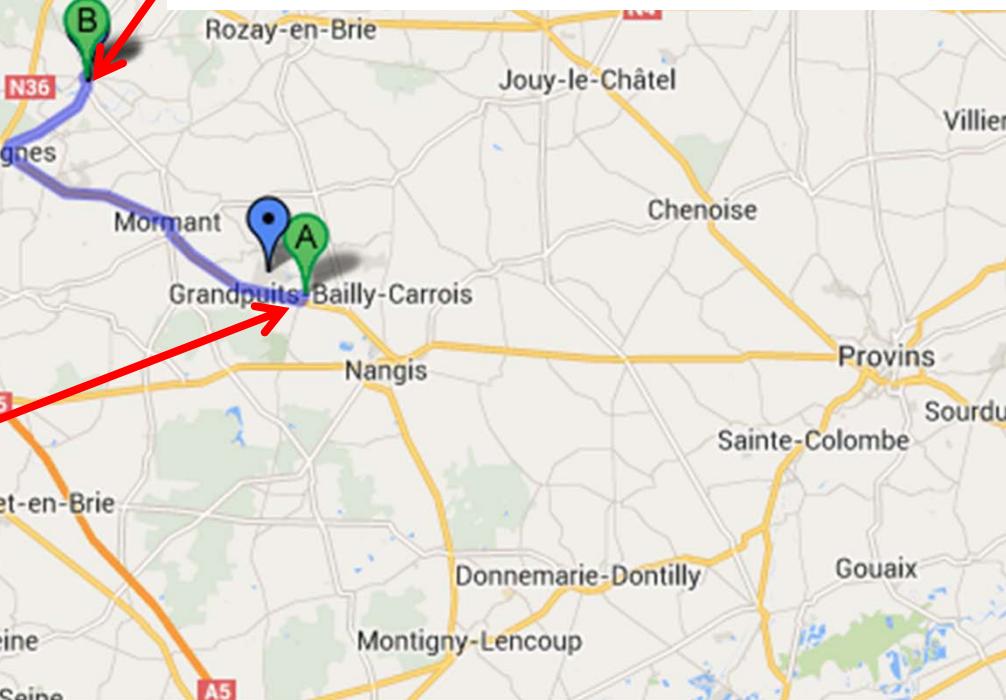
- Elevage bovin viande
- 150 mères, 150 taurillons, 500 têtes au total, 200 animaux produits par an
- 50% de pâturage



Exemple : Bioénergies de la Brie



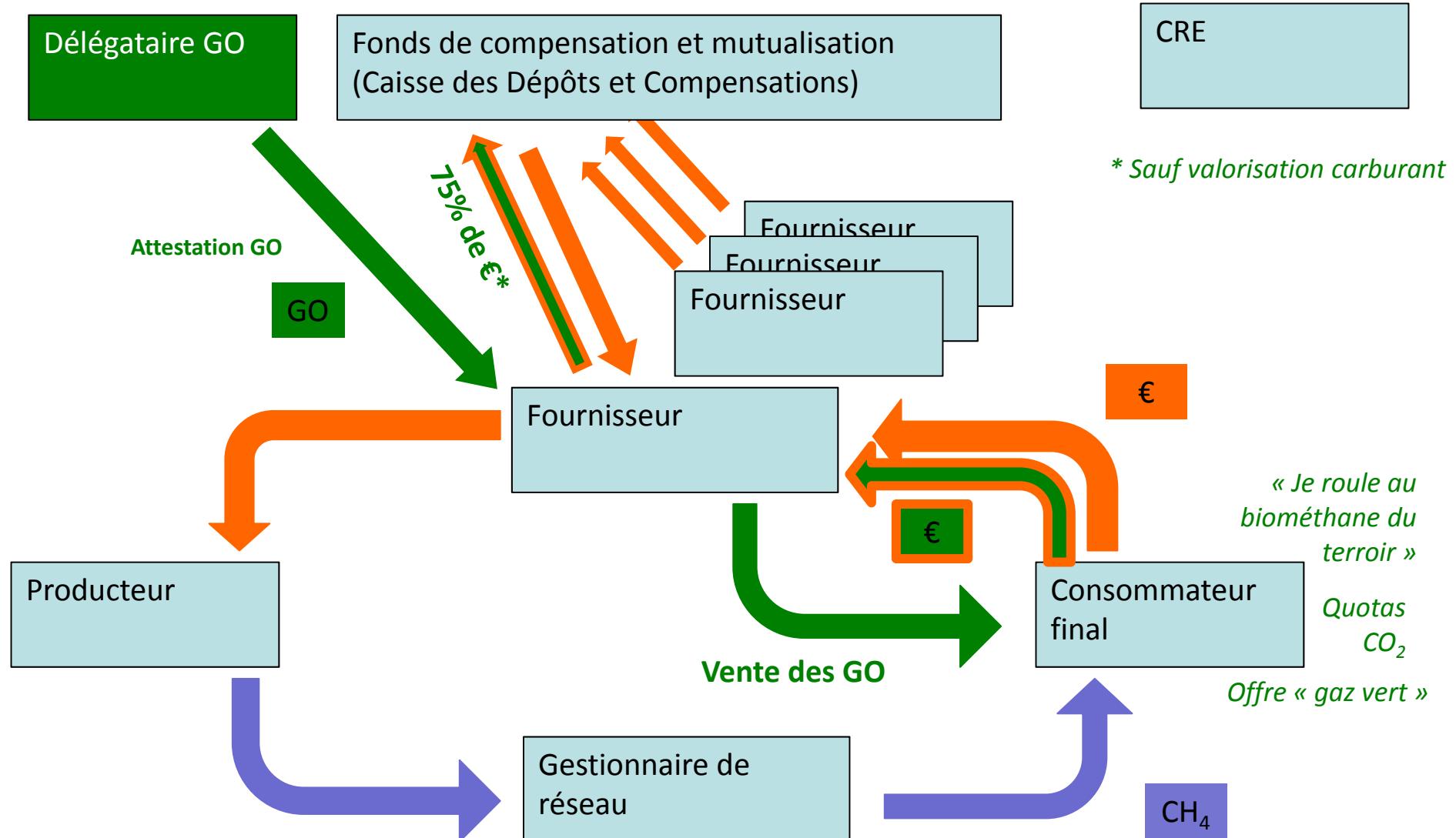
Méthaniseur + épurateur Air Liquide : biogaz \rightarrow CH₄



Haber-Bosch :
CH₄ \rightarrow H₂
H₂ + N₂ \rightarrow NH₃



Garanties d'origine





Effets potentiels directs et indirects



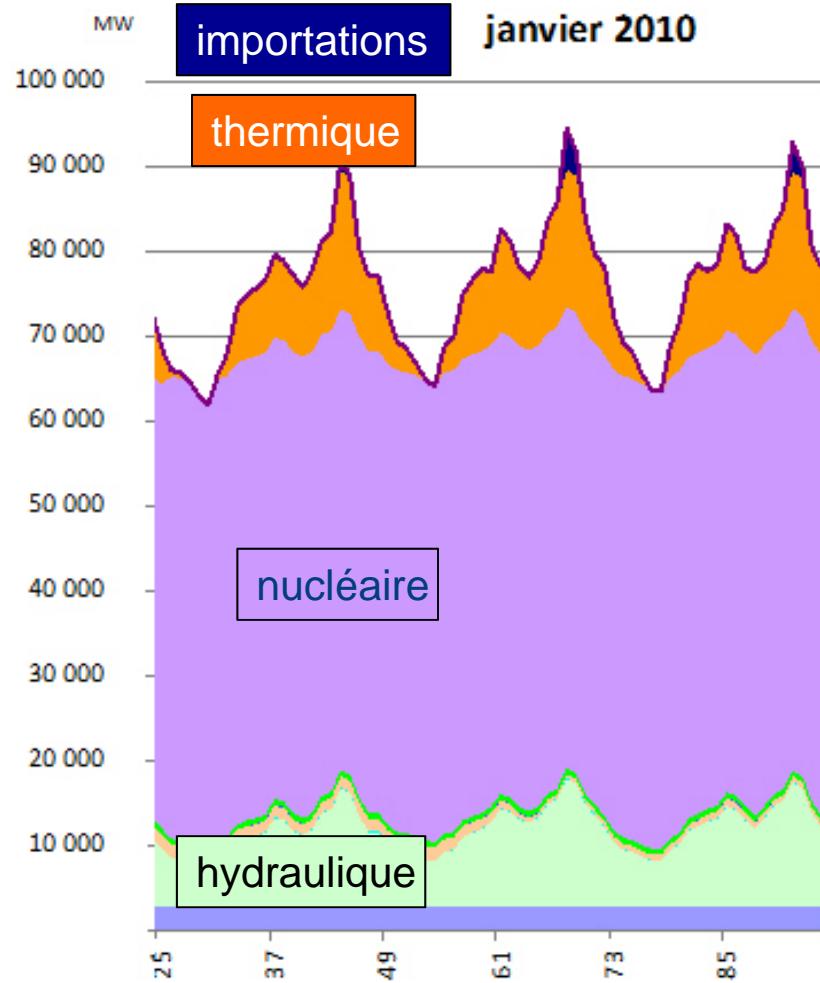
Réduit l'usage des phytosanitaires	<input checked="" type="checkbox"/> Oui
Permet de limiter course à l'agrandissement	<input checked="" type="checkbox"/> Oui
Améliorer autonomie en protéines de la ferme	<input checked="" type="checkbox"/> Oui
Compatible avec le pâturage	<input checked="" type="checkbox"/> Oui
Compatible avec l'agriculture biologique	<input checked="" type="checkbox"/> Oui
Crée des solidarités territoriales entre agriculteurs	<input checked="" type="checkbox"/> Oui
Favorise la biodiversité	<input checked="" type="checkbox"/> Oui
Maintient le potentiel humique des sols	<input checked="" type="checkbox"/> Oui
Lutte contre l'érosion	<input checked="" type="checkbox"/> Oui
Diminue la consommation d'engrais azotés et phosphatés	<input checked="" type="checkbox"/> Oui
Contribue à assurer un revenu décent aux agriculteurs	<input checked="" type="checkbox"/> Oui
Compatible avec infrastructures agroécologiques	<input checked="" type="checkbox"/> Oui

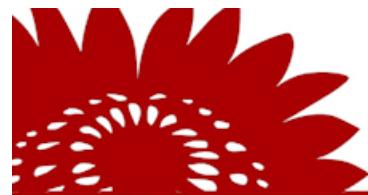


Organisation des réseaux de distribution d'énergie



Equilibre du réseau - modélisation horaire



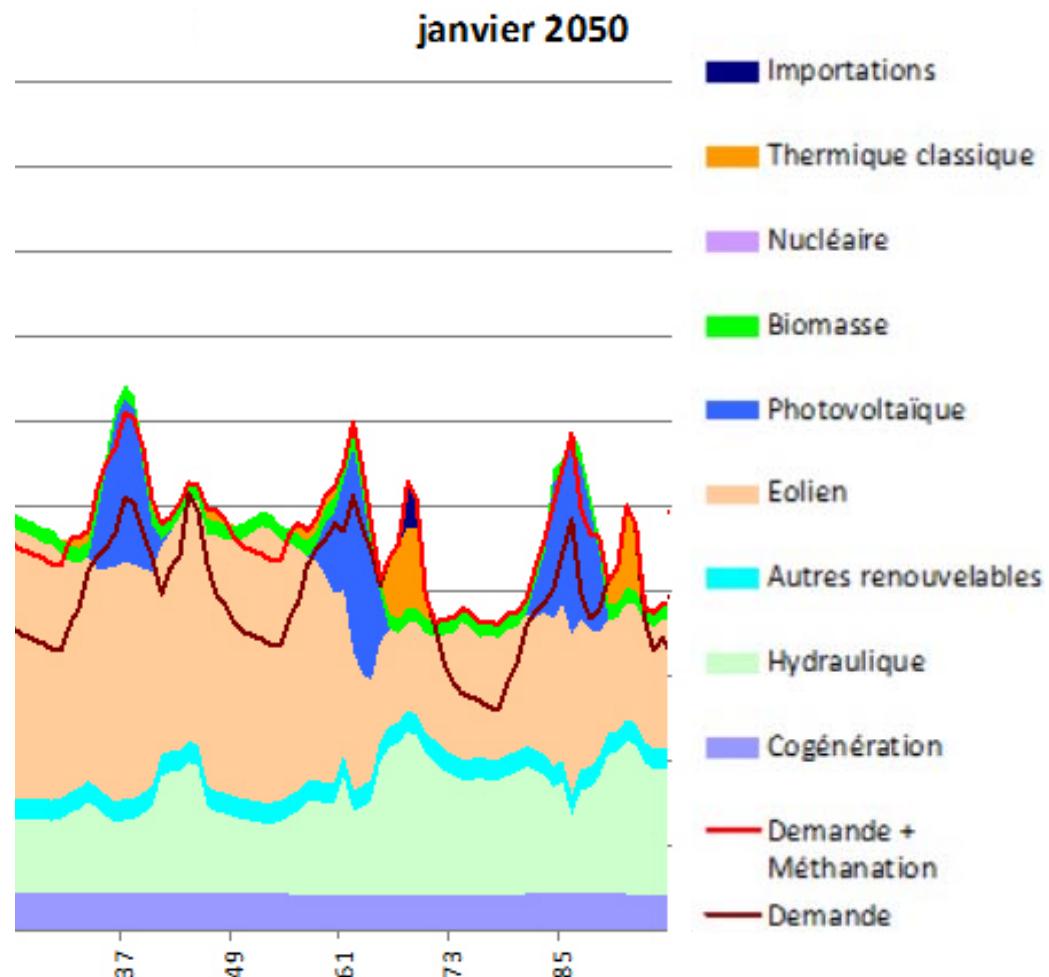


Equilibre du réseau - modélisation horaire



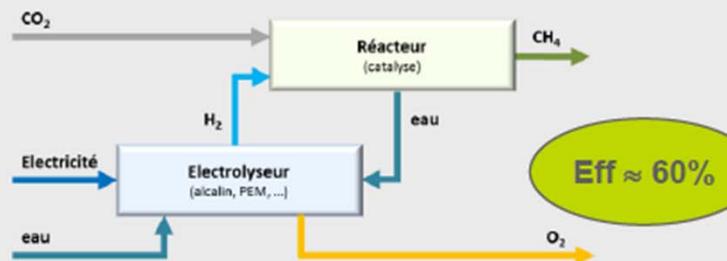
La situation future:

- Plus de variabilité à la production (éolien, solaire), moins de variabilité de la demande
- Hiérarchie des moyens de mise en adéquation offre demande
 - « Réseaux intelligents » (smart-grids) : effacement de la pointe, déplacement, prévision...
 - Augmentation de la capacité de transfert et pompage (20% de perte)
 - Stockage via la production d'hydrogène et la méthanation (connexion réseaux gaz et électricité) (30-50% de perte)
 - Découplage (100% de perte)



La méthanation

1 Conversion catalytique directe du CO₂



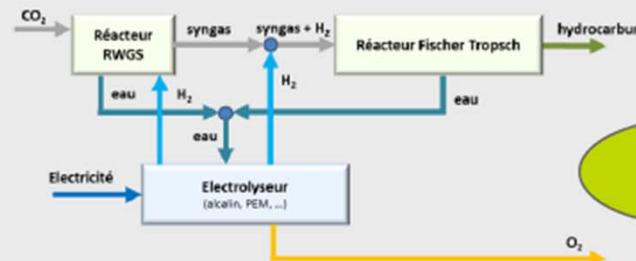
LURGI
AIR LIQUIDE

SIEMENS

Davy Process
Technology

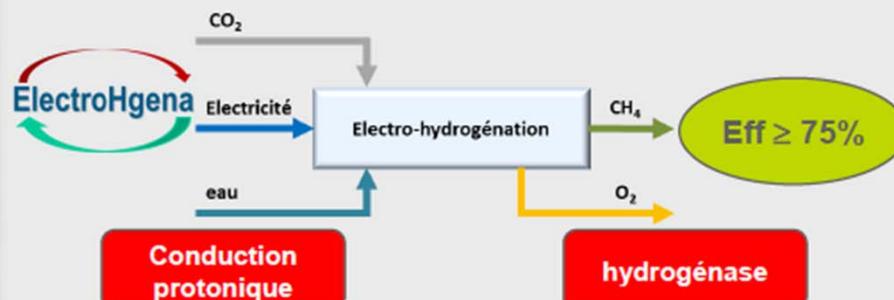
rhodia
membre du groupe Solagro

2 Conversion catalytique indirecte du CO₂



RWGS : reverse water gas shift reaction

4 Conv. directe par électro-hydrogénéation du CO₂



Conduction
protonique

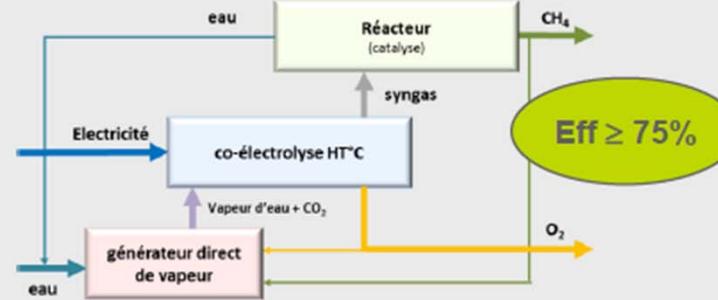
AREVA

rhodia
membre du groupe Solagro

GDF SUEZ

gti.

3 Conv. indirecte par électro-réduction du CO₂



GEA

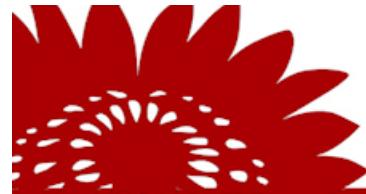
saipem sa

GDF SUEZ
Gaz
Électricité
Gazole

DONG
energy

DTU

© GDF SUEZ - DONG - DTU - IFP Energies nouvelles - 2011



Transformer la biomasse solide en méthane

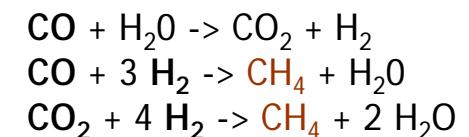


	Biomasse	Gazéification	Méthanation	Epuration
CH4	$(\text{CH}_2\text{O})_n$	9 %	36 %	96 %
CO		25 %	<<	<<
H2		36 %	2 %	<<
CO2		19 %	32 %	<<
Autres		<>	<>	<>



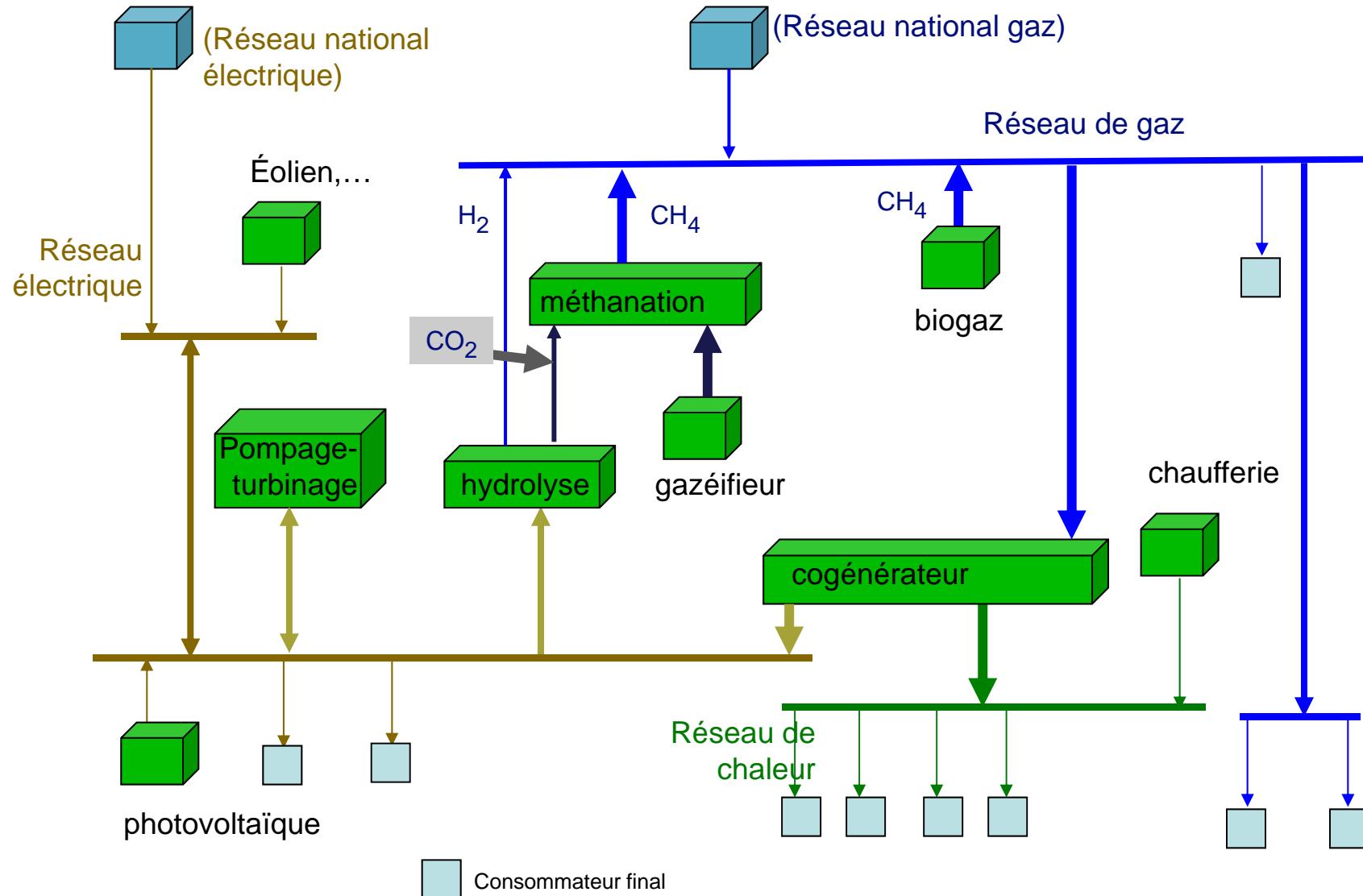
Taux de conversion global : 65%

Réaction du gaz à l'eau (shift reaction) :
Méthanation :
Réaction de Sabatier :





Des réseaux « en tous sens » interconnectés





Politique énergétique [biomasse] au niveau départemental



Exemples de compétences potentielles d'un Conseil Général, Syndicat des Energies, Syndicat de traitement des déchets...

- **Organisation du service public** de l' électricité, du gaz, des réseaux de chaleur ;
- **Appui aux collectivités locales** :
 - accompagnement à la mise en œuvre utilisation rationnelle de l' énergie : Conseil d' Orientation Energétique, service d'économies de flux
 - conseils, assistance administrative, juridique et technique,
 - maîtrise d' œuvre des travaux
 - Délégation de compétences (service de distribution de la chaleur)
- Soutien à la **structuration** de filières :
 - Études de potentiels, études-action pour initier des projets privés (agriculteurs...), animation bois-énergie, interprofessions
 - Plateformes bois-énergie, gestion des déchets issus de la biomasse
 - Partenariat avec des structures de **prise de participation** (SEM régionale, SCIC, SICA...)