

Production de plantes énergétiques de seconde génération

Journée 22 avril 2010 - Saint-Vith

Valorisation énergétique de la biomasse Comparaison de trois filières, enjeux et opportunités

François Ghysel

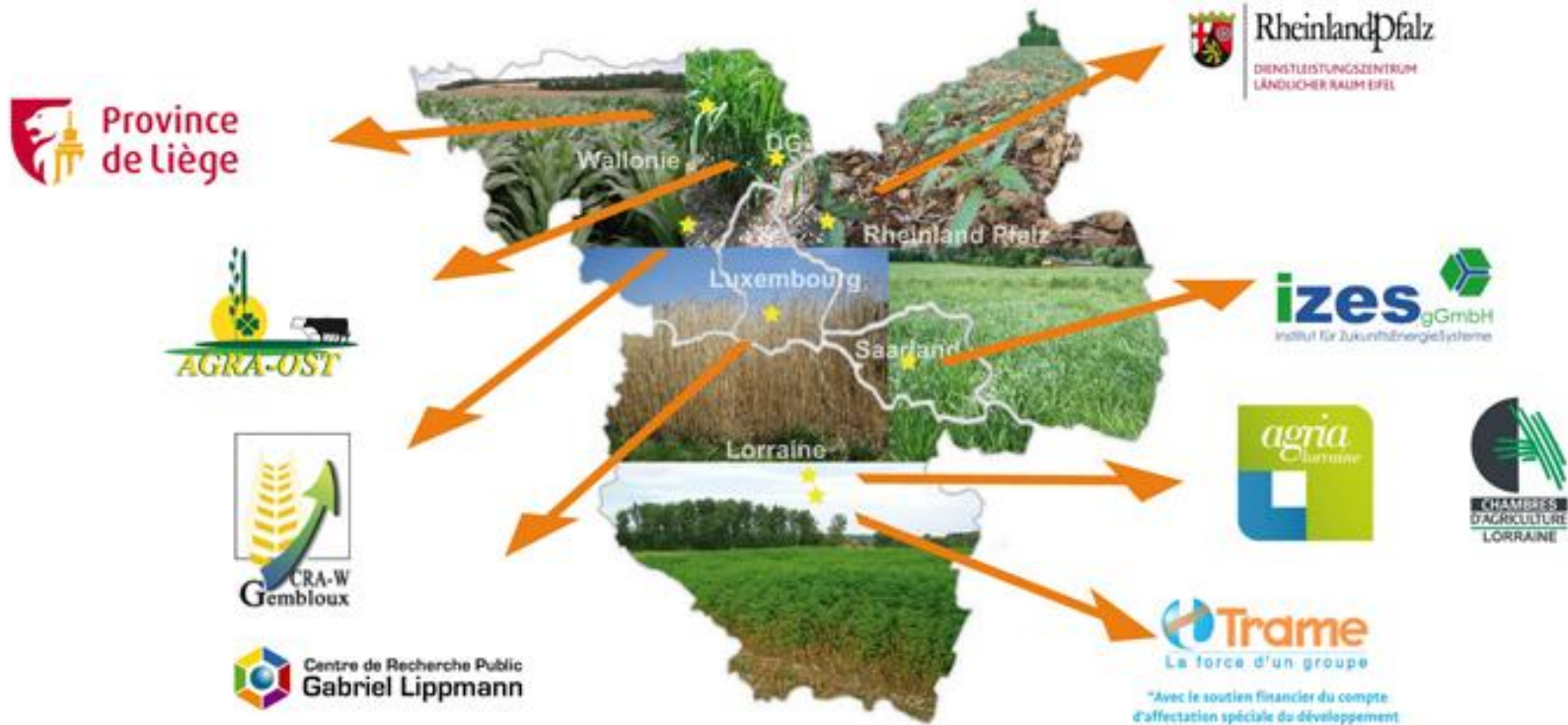
B. Godin, C. Flamin, P. Delfosse, J. Delcarte, D. Stilmant

Centre wallon de Recherches agronomiques

Unité Systèmes agraires, territoires et technologie de l'information
Rue de Serpont, 100. B-6800 Libramont E-mail : f.ghysel@cra.wallonie.be



ENERBIOM



Introduction et contexte(s)

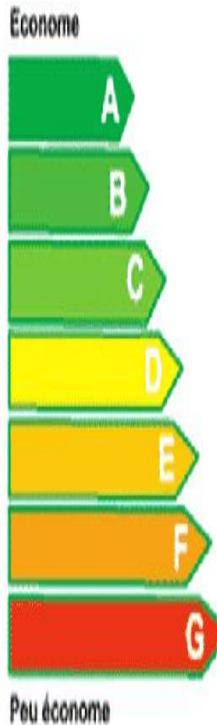
- **Contexte Général**

- Explosion démographique et expansion illimitée de l'activité humaine ...
 - Urbanisation, pollution,...
- Diminution qualitative des ressources, des écosystèmes ...
 - Eau, sols, biodiversité ...
- Interactions complexes entre les systèmes dont les conséquences peuvent être désastreuses ...
 - Trou d'ozone
- Augmentation rapide des connaissances scientifiques et environnementales



Introduction et contexte(s)

- **Contexte Énergétique**

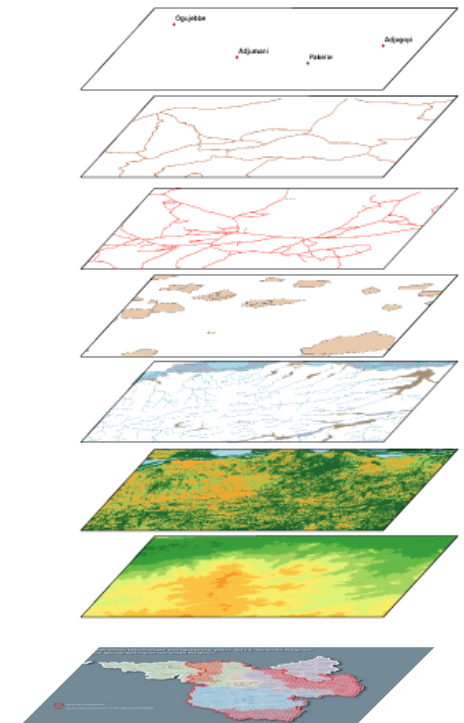


- Épuisement des énergies fossiles
 - 40 ans de pétrole, 70 ans de gaz, ... 200 ans de charbon!
- Changement climatique et pollution atmosphérique
 - Effet de serre, déchets non dégradables, poussières, ...
- Dépendance énergétique terrible de nos sociétés et demande en augmentation dans les pays émergents
- Beaucoup de questions et de scepticisme avec l'énergie nucléaire !
 - ... avec finalement les mêmes problèmes!

Introduction et contexte(s)

- **Contexte agricole et territoires ruraux**

- Déclin environnemental, économique et social dans les territoires ruraux
 - Urbanisation, chômage, ...
- Modifications structurelles de l'agriculture
 - Augmentation de la taille des exploitations
 - Spécialisation des spéculations et des productions
 - Politique Agricole Commune en pleine évolution ...
- Compétition spatiale et économique entre l'agricole et non-agricole
 - Zones agricoles limitées
 - Augmentation des prix

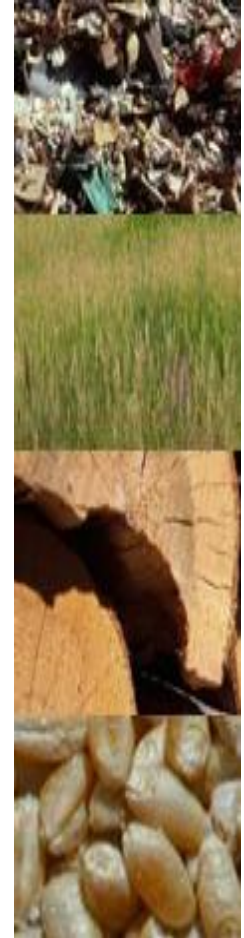


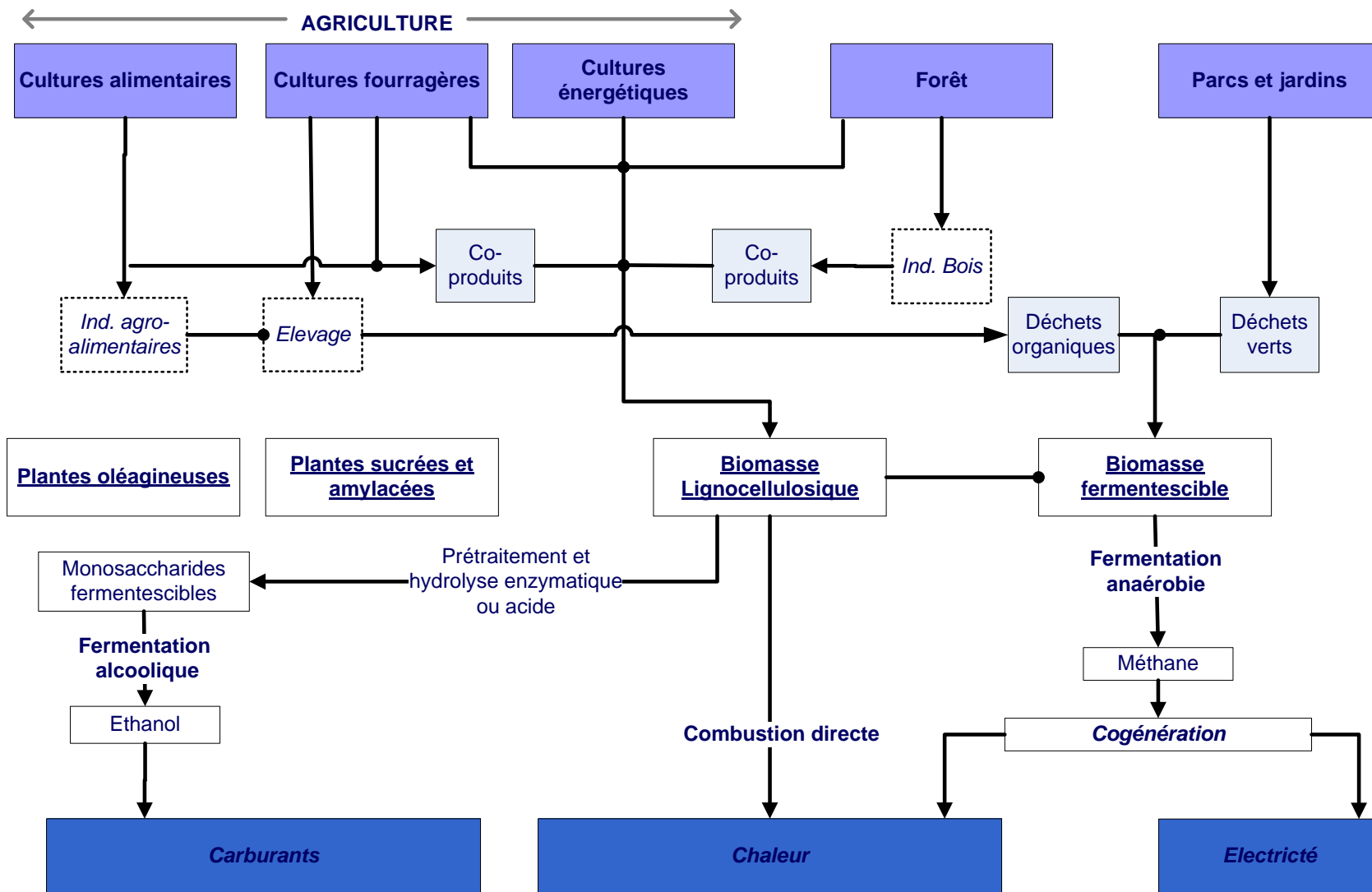
L'avenir du monde rural. Communication au Parlement et au Conseil, COM (88) 501 final

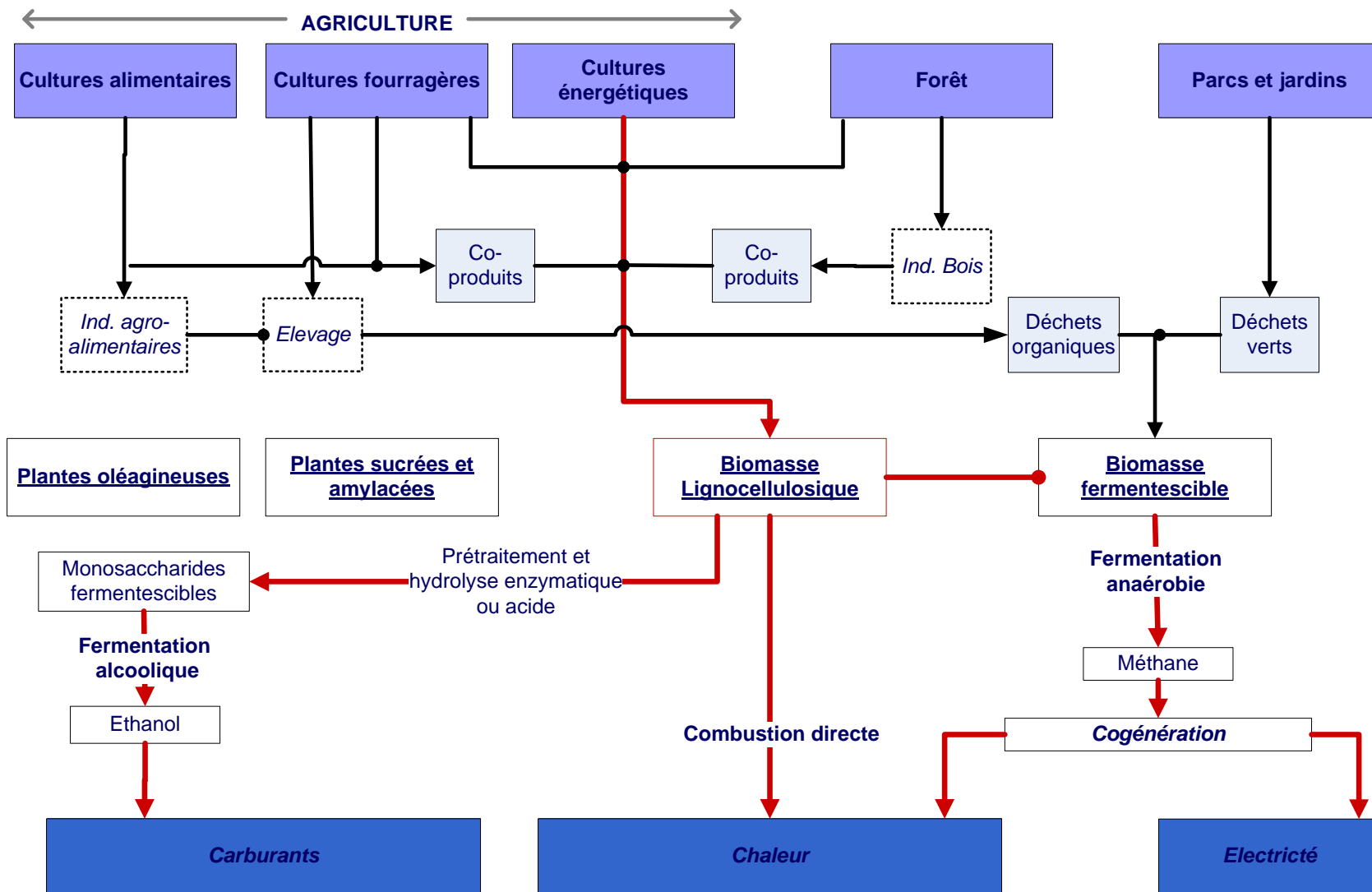
Biomasse et Bioénergie

- **Biomasse lignocellulosique**

- « Biomasse » = matière organique biodégradable et non fossilisée issue des plantes, animaux et microorganismes.
 - Produits, coproduits, sous-produits et déchets issus de l'agriculture / forêt et des industries associées, les déchets organiques solides urbains et industriels, ainsi que les gaz et liquides issus de la dégradation de matériaux organiques biodégradables et non fossilisés (DEMIRBAS 2009)
- « Biomasse » / « Biocombustible » / « Bioénergie » (FAO 2004)
 - Biomasse agricole / forestière / déchets
 - Biocombustible solide / gazeux / liquide
 - Bioénergie thermique / mécanique / électrique







Valorisation énergétique de la biomasse

- **Biométhanisation / Biocombustion / Bioéthanol**
 - Trois valorisations énergétiques de la biomasse: la combustion, le biogaz et les biocarburants.
 - Procédés thermochimiques : combustion directe de la biomasse avec éventuellement des procédés de cogénération, pyrolyse ou gazéification en améliorant les biocombustibles,
 - Procédés biochimiques : fermentation (alcool) ou biométhanisation (biogaz).
 - Valorisation énergétique finale sous forme thermique exprimés suivant le pouvoir calorifique supérieur du produit obtenu.
 - Le PCS représente la quantité d'énergie contenue dans une unité de masse de combustible.

Valorisation énergétique de la biomasse

- **Biométhanisation**

- Procédé de dégradation de la biomasse en l'absence d'oxygène et à l'abri de la lumière par l'action combinée de micro-organismes en trois grandes étapes :
 - L'hydrolyse réalisée par des bactéries hydrolytiques.
 - L'oxydation des substrats couplée à la formation d'hydrogène, de CO₂ et d'acétate réalisée par des bactéries acétogènes.
 - La méthanogénèse assurée par des bactéries méthanogènes anaérobies.
- Biogaz = mélange gazeux, dont le composant principal est le méthane CH₄, et d'un digestat utilisable comme fertilisant sous forme liquide et solide.



Valorisation énergétique de la biomasse

- (Bio)combustion

- réaction chimique exothermique d'oxydation qui décompose totalement le combustible.
- Le pouvoir calorifique supérieur représente la quantité d'énergie (en joule) contenue dans une unité de masse de combustible (PCS)
- Le pouvoir calorifique supérieur (PCI) représente l'énergie de combustion (en joule) rapportée à la masse (en kilogramme) d'un combustible brûlé en présence d'excès d'air, dont la chaleur de condensation de l'eau a été soustraite.



Valorisation énergétique de la biomasse

- **Bioéthanol de seconde génération**

- Biocarburants de deuxième génération produits à partir de grande diversité de biomasse en utilisant l'ensemble des plantes (cellulose et hémicelluloses).
 - voie thermochimique (filière « Biomass to Liquid » ou BtL) et voie biologique (bioéthanol)
- Bioéthanol provient de la fermentation des monosaccharides issus de l'hydrolyse de la cellulose et des hémicelluloses



Biomasse
Ligno-cellulosique



Sucres (hexoses)
 $C_6H_{12}O_6$
Sucres (pentoses)
 $C_5H_{10}O_5$



Bioéthanol
 C_2H_5OH



Caractéristiques de la biomasse

- **Composition chimique élémentaire et composés inorganiques, → impacts sur la combustion**
 - Composition élémentaire (CHON) permet d'estimer l'efficacité de la combustion :
 - Contenu énergétique (taux de C et de H),
 - Emissions de gaz et particules polluants, corrosifs et dangereux (NO_x, HCl, HAP, COV, dioxines...).
 - Composition des cendres et la production de mâchefers.
 - Cultures fourragères riches en chlore et en azote et susceptibles d'engendrer corrosion et gaz polluants.
 - Certaines cultures fourragères riches en K₂O et P₂O₅ (températures de fusion basses) catalyseur de mâchefers.

Caractéristiques de la biomasse

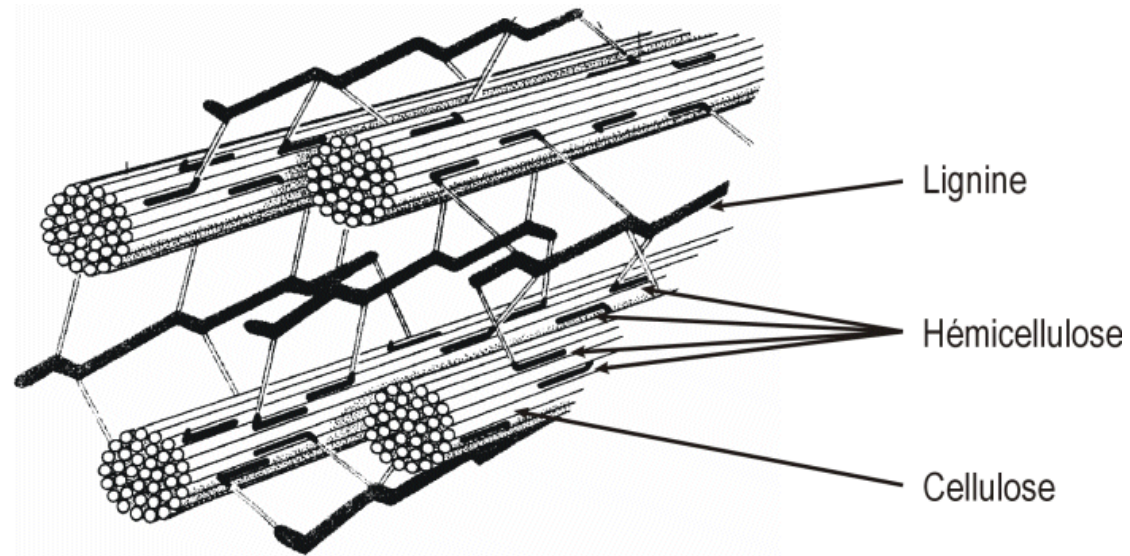
- **Composition chimique élémentaire et composés inorganiques,**
→ impacts sur la combustion
- Composition élémentaire (CHON) permet d'estimer l'efficacité de la combustion :

Biomasse	C	H	N	S	Cl	Cdr	P205	K2O
	(% massique mat. sèche)						(% massique)	
Bois	49,00	5,70	0,40	0,10	0,10	2,90	4,50	9,50
Froment (paille)	44,33	5,32	0,57	0,14	0,50	6,21	2,13	17,07
Herbe (intensive)	45,11	4,90	2,01	0,15	1,09	9,93	8,70	35,20
Maïs (tige)	47,09	5,97	0,74		0,05	1,73	5,69	30,25
Miscanthus (3ans)	48,49	5,42	0,56	0,05	0,21	3,46	2,78	19,41
Tournesol	50,50	5,90	1,30	0,10	0,40	6,90	3,64	30,01

Compositions élémentaires du bois et de biomasses lignocellulosiques agricoles (BIOBIB, 2010).

Caractéristiques de la biomasse

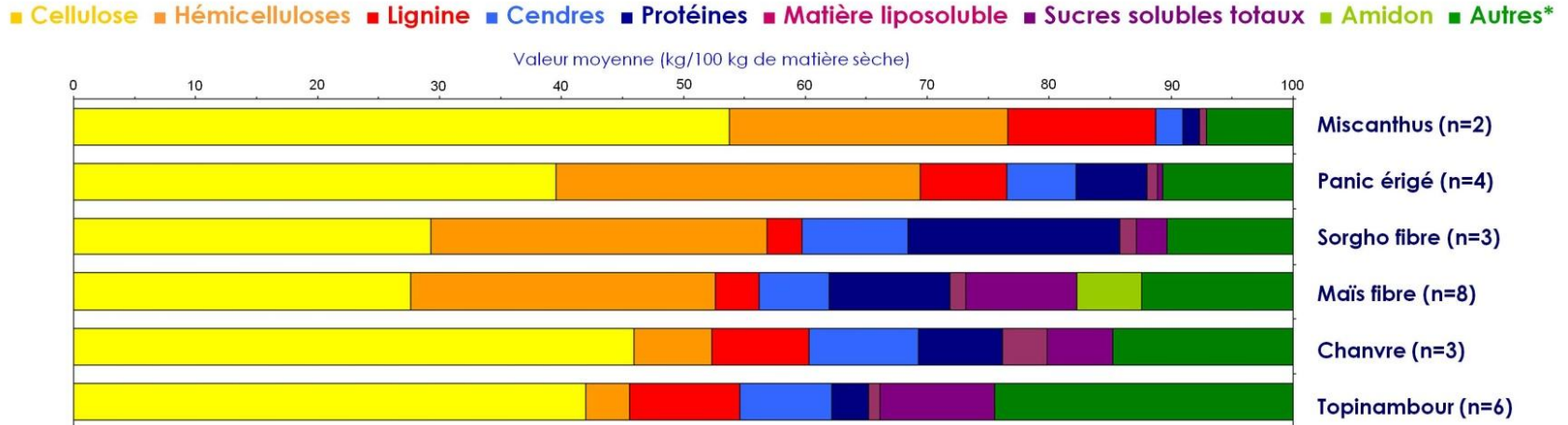
- Structurelle élémentaire (cellulose, hémicellulose et lignine)
→ impacts sur la combustion



Modèles de prédiction du pouvoir calorifique supérieur de ces cultures ont été construits à partir des PCS individuels de chaque constituant

Caractéristiques de la biomasse

- Structurelle élémentaire (cellulose, hémicellulose et lignine)
→ impacts sur la combustion

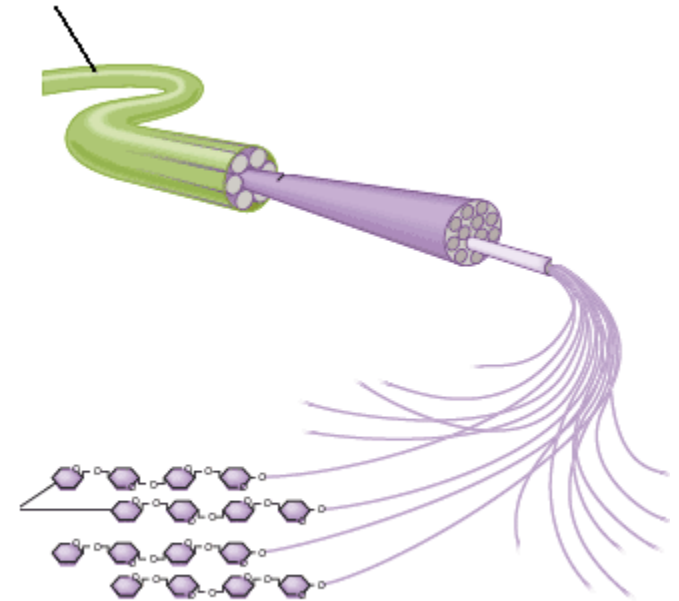


* Autres est constitué de polysaccharides solubles (tels que l'amidon sauf pour le maïs, les fructanes et les pectines) et d'acides organiques

Cultures ont été récoltées à l'état mature en 2007 et 2008 à Libramont (Belgique)

Caractéristiques de la biomasse

- **Structurelle élémentaire (cellulose, hémicellulose et lignine)**
→ impacts sur le bioéthanol de deuxième génération
 - Le potentiel théorique de production de bioéthanol de deuxième génération amélioré par des teneurs élevées en cellulose et en hémicelluloses, et par des teneurs basses en lignine et en cendres
- le bioéthanol provient de la fermentation des monosaccharides issus de l'hydrolyse de la cellulose et des hémicelluloses,
- La lignine affecte l'hydrolyse et a également une action inhibitrice sur les microorganismes responsables de la fermentation.

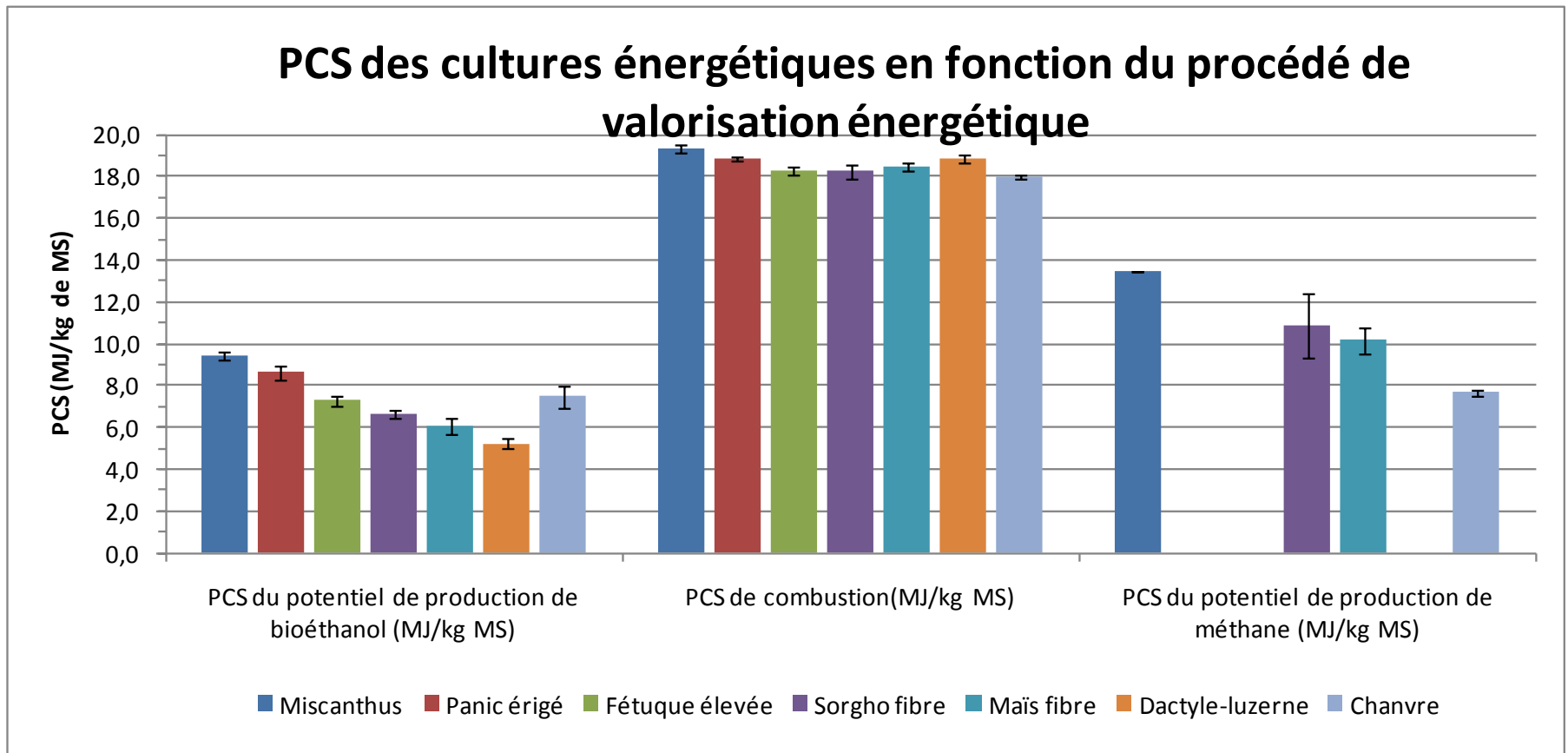


Caractéristiques de la biomasse

- **Structurelle élémentaire, composition élémentaire, C/N**
→ **impacts sur la production de biogaz**
 - La production de biogaz fonction de la qualité des nutriments qui compose la matière organique: glucide < protéine < lipide
 - La teneur en lignine réduit l'accessibilité de la matière organique
 - C/N = 25 et 32 optimal
 - C/N < 25 : fermentation inhibée.
 - C/N > 32 : méthanisation inhibée

Comparaison de la valeur énergétique finale

Synthèse du PCS pour une même culture selon les trois valorisations



Comparaison de la valeur énergétique finale

Rendement fonction de la quantité de matière sèche par hectare ET de la qualité de la culture

- Impact du type de biomasse
- Impact du stade de végétation sur la composition et la structure
 - N, Cl, S, K diminuent avec l'âge de la plante
 - Lignine augmente
- Impact de la saison de la récolte sur la composition et la structure
 - Humidité, N, Cl, S, K diminuent si récolte hivernale
 - Perte de matière sèche
- Impact de la technique de récolte sur la composition et la structure
 - Densité
 - Perte de matière sèche

Conclusion

- **Comparaison de filière : Avantage combustion mais**
 - Problèmes au niveau de l'acidité des fumées / mâchefer;
 - Valorisation mixte de la culture avec une autre biomasse?
 - Aspect qualitatif de l'énergie et de sa consommation.
- **Critères d'implantation culture à vocation énergétique: agronomiques, techniques, économiques et environnementaux:**
 - Adaptation pédoclimatique et rendement en biomasse;
 - Qualité de cette biomasse et son intégration en regard de la valorisation énergétique;
 - Fréquence de récolte, stockage et disponibilité de la biomasse.

Conclusion

- **Critères opportunité d'utiliser culture à vocation énergétique: économique, environnementale et territoriale:**
 - Rentabilité économique et identification d'un débouché ;
 - Pertinence environnementale, mesurée par le type de conduite de la production ;
 - Cohérence territoriale vis-à-vis de la surface agricole et des spéculations existantes.
 - **Critères environnementaux, éthiques et sociétaux?**
 - Compétition Food/Feed/Fibre/Fuel.
- **Analyse Environnementale du Cycle de Vie (AECV) et l'Analyse Sociale du Cycle de vie (ASCV) / Elevage.**

Merci de votre attention...



François Ghysel

f.ghysel@cra.wallonie.be

B. Godin; C. Flamin; P. Delfosse; J. Delcarte; D. Stilmant

