

Qualité de la biomasse agro-forestière en vue de la production de carburants de 2^{ème} génération

Denilson da Silva Perez^a, Alain Berthelot^a, Audrey Guillemain^a,
Celine Laboubée^b, Françoise Labalette^b, Jean-Phylippe Leygue^b,
Brigitte Chabert^c, Capucine Dupont^d, Fannie-Pomme Langue^e,
Sophie Pitocchi^e, Céline Gomes^e.

a) FCBA, b) GIE Arvalis-Onidol, c) INRA d) CEA, e) UCFF





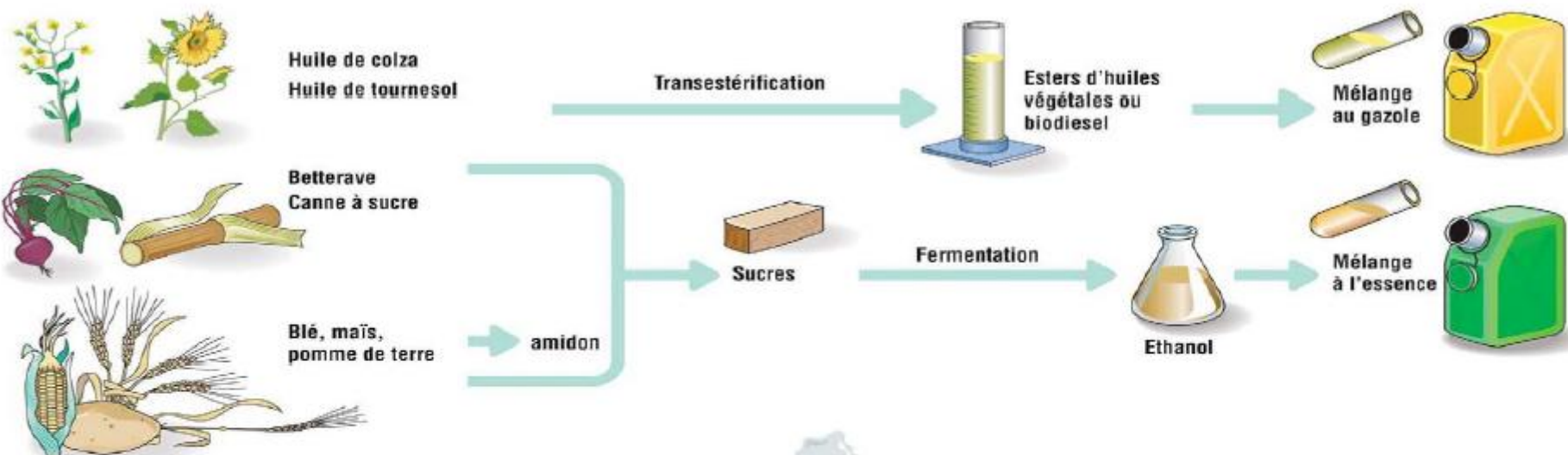
Contexte

- ✿ **Réserves pétrolières** actuelles : **1 à 1,2 milliard de barils** (40-50 ans de production au rythme actuel d'exploitation)
 - ✿ **Biomasse végétale** : premier candidat au remplacement du pétrole : **2,6 x 10¹¹ tons, renouvelable**, potentiel de **réduction d'émission de GES**.
 - ✿ Rendements à l'hectare des biocarburants de **1ère génération** faibles : **1 à 4 TEP / ha** selon type de biocarburant et les filières impliquées.
 - ✿ **1,8 M ha** de terres nécessaires en France pour respecter les objectifs européens de 5,75 % du total de carburant avant 2010 (ADEME)
 - ✿ Ambitions françaises : 5,75 % de biocarburants en 2008, 7% en 2010 et 10 % en 2015 : **3,5 M ha** de terres arables seraient nécessaires d'ici à 2015
- Surface totale de terres arables en France : **18,4 M ha**
- Terres en jachère : **1,5 M ha** (dont 1,2 à 1,3 M ha réellement cultivables)
- ✿ **Biocarburants de 2ème génération** : un impératif pour respecter les engagements Fr/EU et éviter la concurrence avec la production agricole alimentaire
 - ✿ Quid de l'**adéquation qualité de la biomasse x procédés** biocarburants 2ème génération ?

Les biocarburants de 1^{ère} et 2^{ème} générations

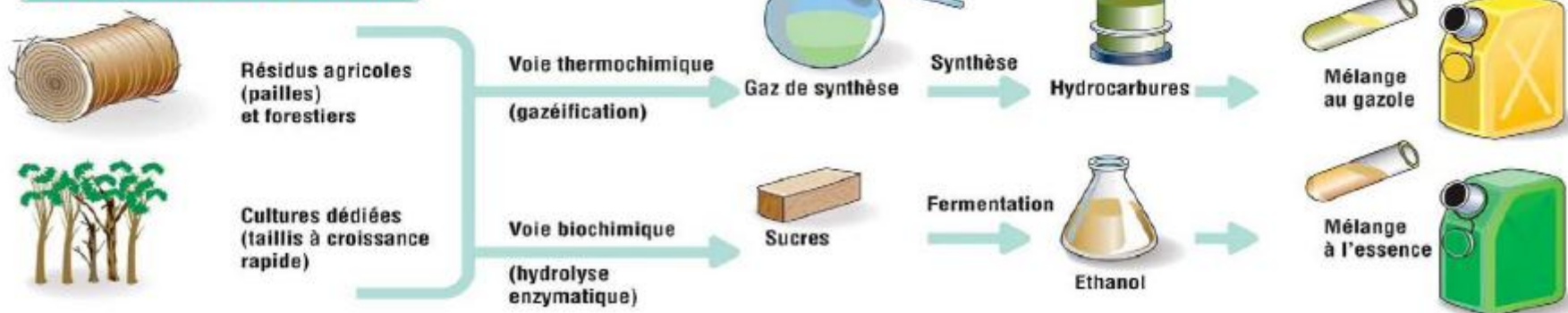
1^{ère} génération

LES FILIÈRES CLASSIQUES



2^{ème} génération

LES FILIÈRES DU FUTUR



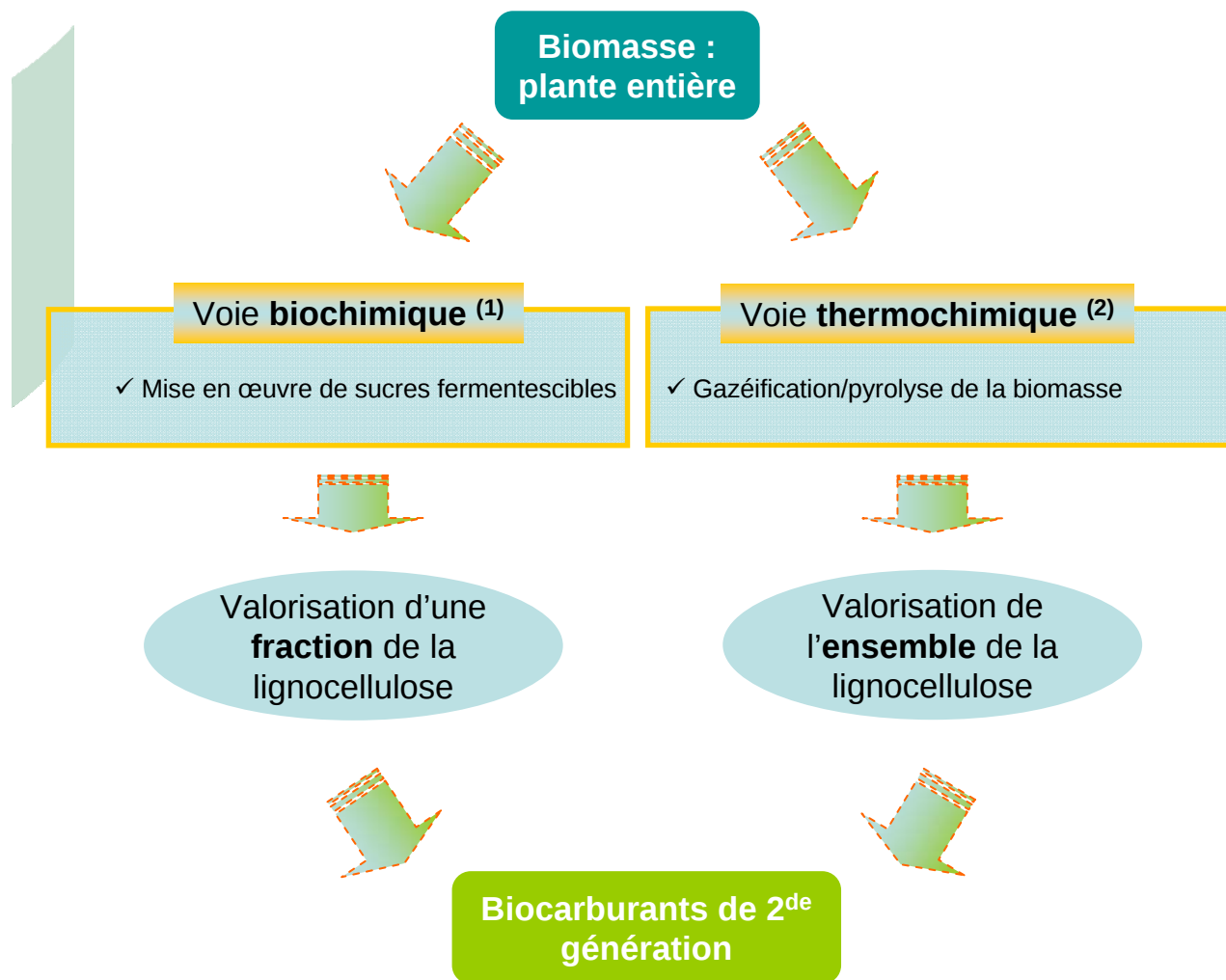
Source : IFP



Biocarburants de 2^{ème} génération : 2 voies de production

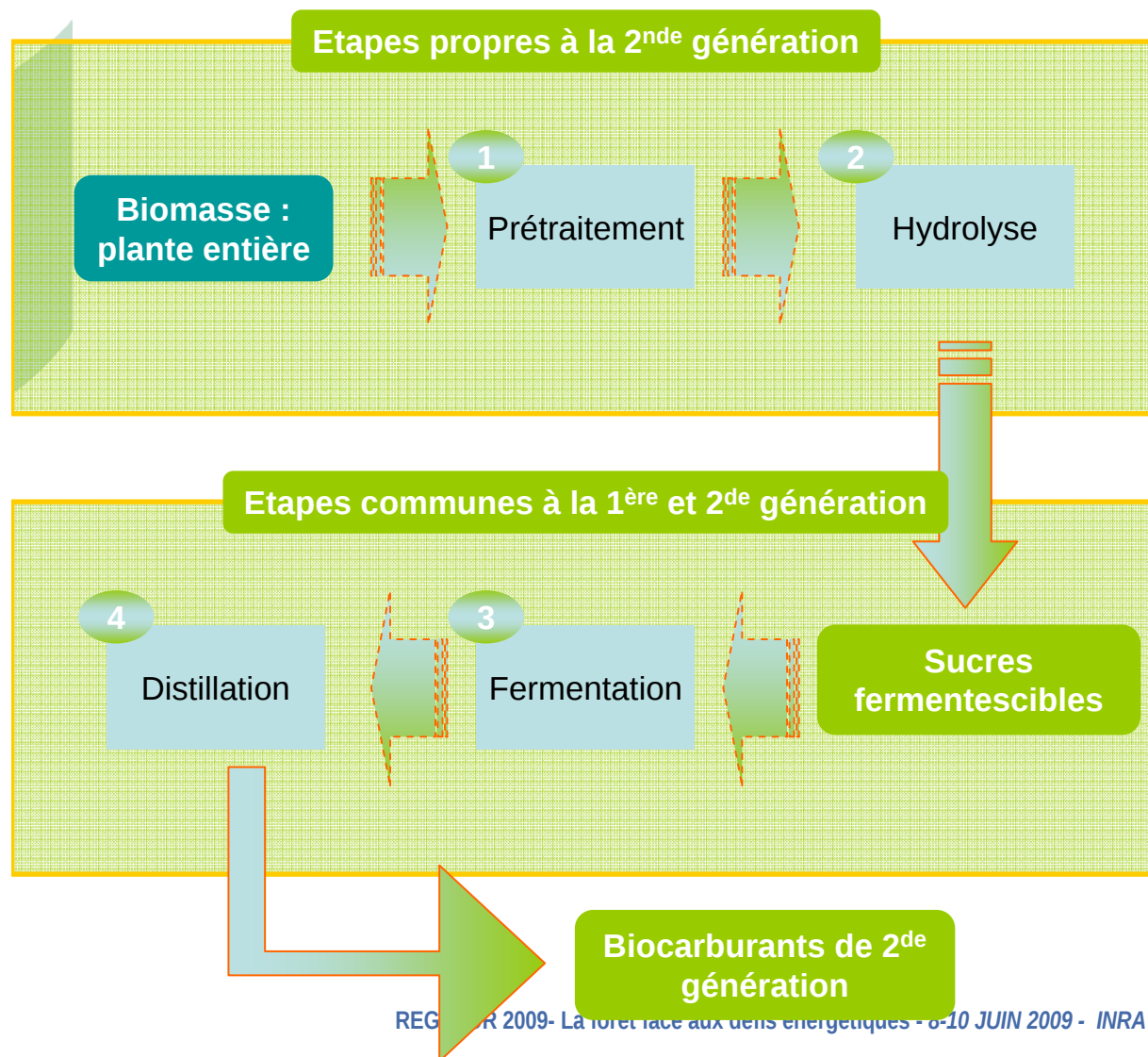


Les deux voies explorées pour la production des biocarburants de 2^{de} génération, la voie biochimique et la voie thermochimique, se différencient par la mise en œuvre ou non de sucres fermentescibles.





Biocarburants de 2^{ème} génération voie biochimique



De la 1^{ère} à la 2^{ème} génération

La production de biocarburants de 2^{de} génération par la voie biochimique diffère de la production actuelle de bioéthanol, uniquement dans les étapes antérieures à celle de la fermentation des sucres.



Qualité des biomasse agricoles et forestières vs procédés thermique ou biochimique (PNRB-REGIX)

-  Création d'un groupe de travail regroupant experts ressource et procédés
-  Elaboration d'une liste de critères de caractérisation et identification des valeurs sensibles (procédés)
-  Etat de l'art des bases publiques et données internes aux partenaires
-  Confrontation des données et des méthodes d'analyse
-  Adoption des protocoles d'analyse communs
-  Organisation de deux campagnes d'analyse complémentaires sur la base des essais REGIX



Qualité des biomasse agricoles et forestières vs procédés thermique ou biochimique (PNRB-REGIX)

Groupe travail REGIX :
Acteurs ressources et procédés



Liste de critères de caractérisation
et identification des valeurs sensibles



Variabilité des critères :
espèce x lieu x conduite

FCBA (forêt / bois)
GIE ARVALIS&ONIDOL (agriculture)
INRA (agriculture et forêt)
UCFF (forêt / bois différentes applications)
CEA (voie thermochimique)
EDF (voie thermochimique)
IFP (voies thermochimique et biochimique)

Composition

- C,H,O,N,S (T, B)
- Organique : cellulose et hémicellulose (niveaux sucres), lignine,
- extraits (B)
- Volatiles, carbone fixe, cendres (T)
- Inorganiques : cendres, Cl, K, Na, F, P, Si, Ca, Mg ... (T)
- Humidité (T, B)

Morphologie

- Densité apparente (T, B)
- Granulométrie (T, B)
- Surface spécifique (T, B)
- Porosité (T, B)
- Taux de fines (T, B)

Propriétés physiques

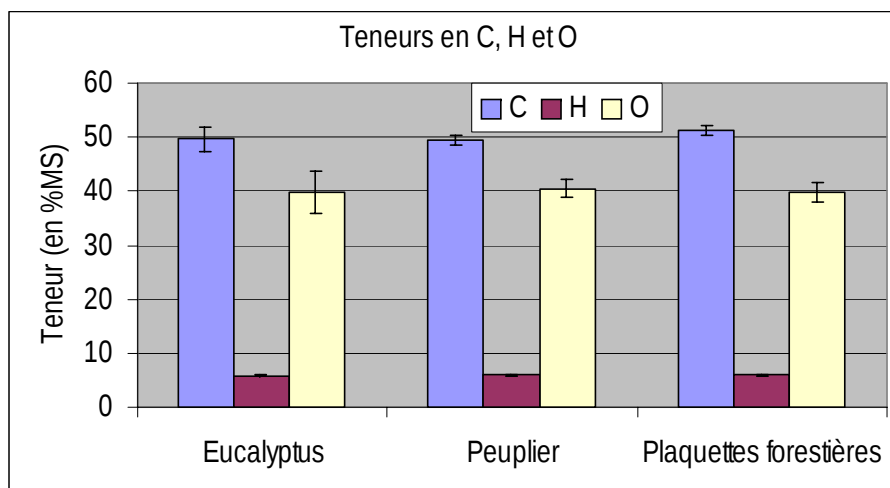
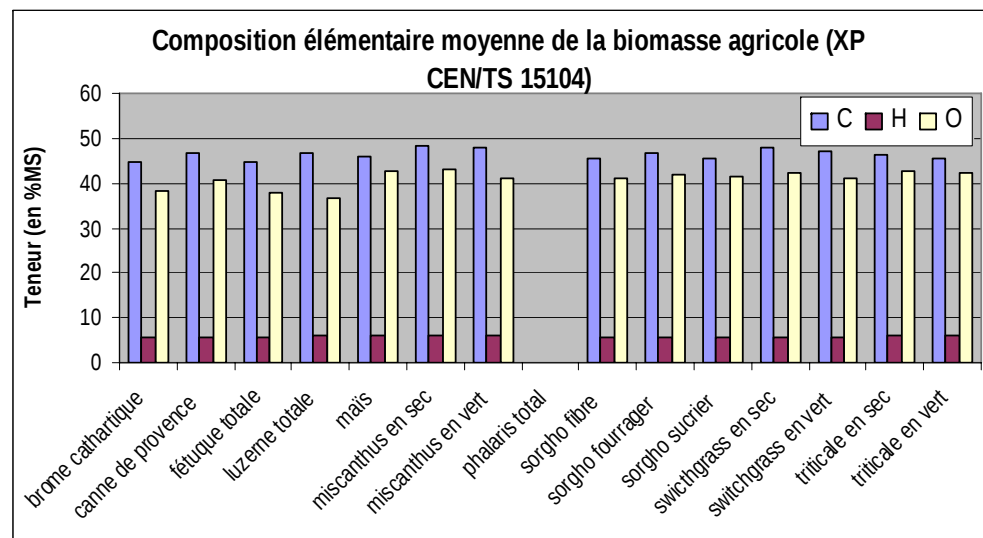
- Thermodynamique (PCI, CP) (T)

Compilation données publiques
1^{ère} campagne d'analyses terminée
2^{ème} campagne en cours



Composition élémentaire (C, H, O)

Agriculture



Forêt



Besoins procédés vs qualité des ressources

✱ Valeurs de référence ciblées par les procédés thermochimiques :

	EDF		CEA
	Gazéification	Combustion	Gazéification (réacteur en flux entraîné)
C			46 à 52 %MS
H			5 à 7 %MS
O			40 à 46 %MS

✱ Les teneurs moyennes en C et en H sont dans la fourchette indicative donnée par le CEA

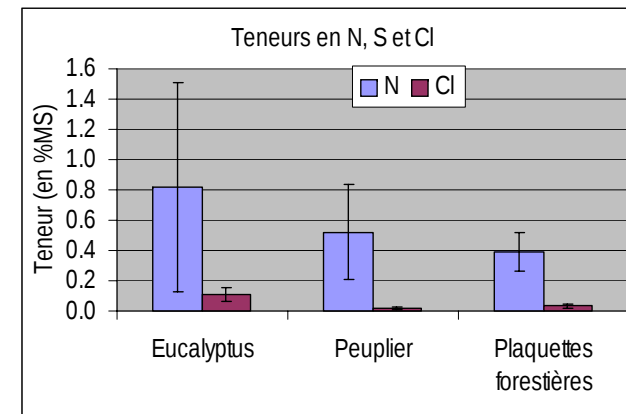
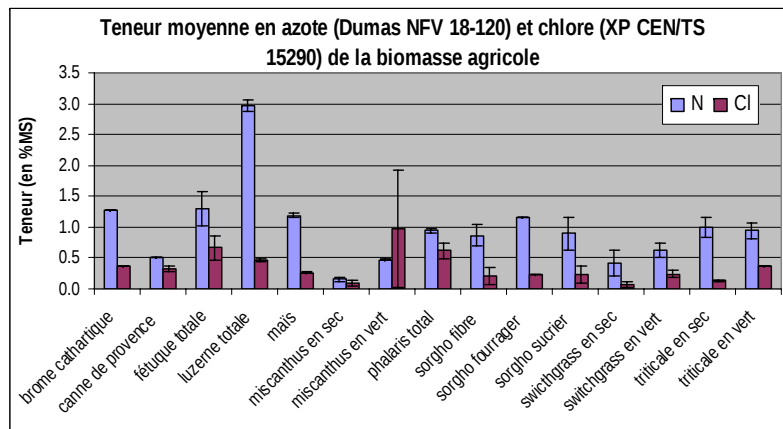
✱ La teneur moyenne en O minimale est 5 points en dessous de la limite inférieure (mais peut être contrôlée par l'humidité)

✱ La teneur maximale en C des échantillons forestiers est plus élevée que pour les échantillons agricoles (4 points)

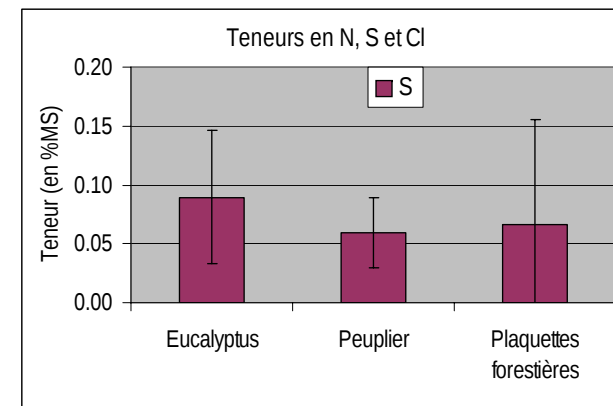
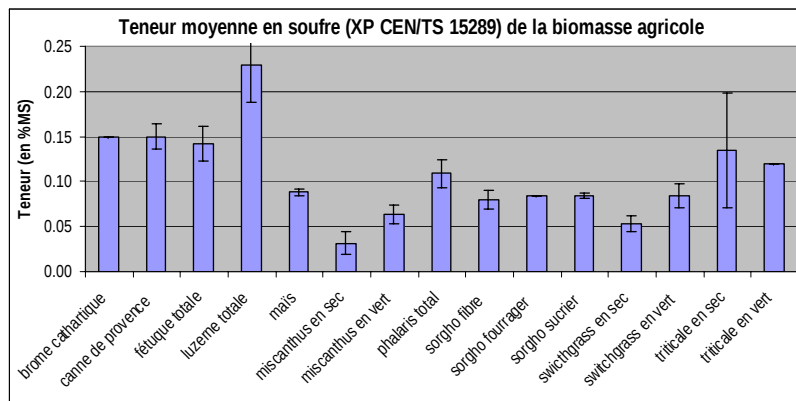
Pas de problème pour les procédés thermiques



Composition élémentaire (N, S et Cl)



Agriculture





Besoins procédés vs qualité des ressources

☀ Valeurs sensibles pour les procédés thermochimiques :

	EDF		CEA
	Gazéification	Combustion	Gazéification (réacteur en flux entraîné)
Unité	%MS	%MS	
Azote	0.2	0.6	
Chlore		0.1	< 200 mg/kg
Soufre	0.1 %MS	0.2 %MS	< 0.06 %MS

☀ Chlore : corrosion; émissions volatiles chlorés

☀ Azote : émissions de NO_x

☀ Soufre : émissions de SO₂; contribue à la corrosion;

Au global, 40 à 90% du S dans les cendres et le reste en SO₂

Pas de contrainte pour les procédés biochimiques



Besoins procédés vs qualité des ressources

☀ La teneur moyenne en **azote** varie :

- pour les échantillons agricoles : 0.2 à 3.0 %MS
- pour les échantillons forestiers : 0.1 à 1.8 %MS

☀ La teneur moyenne en **chlore** varie :

- pour les échantillons agricoles : 0.1 à 1.0 %MS
- pour les échantillons forestiers : 0 à 0.14 %MS

☀ La teneur moyenne en **soufre** varie :

- pour les échantillons agricoles : 0.03 à 0.23 %MS
- pour les échantillons forestiers : 0.05 à 0.09 %MS

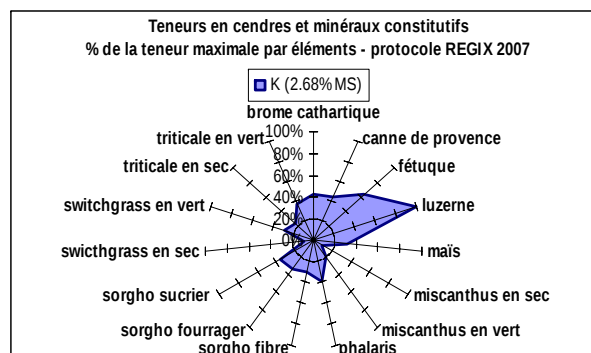
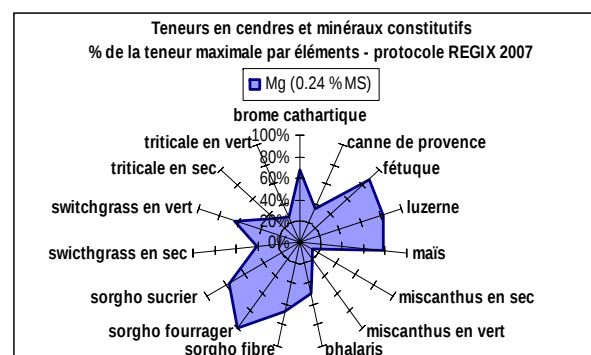
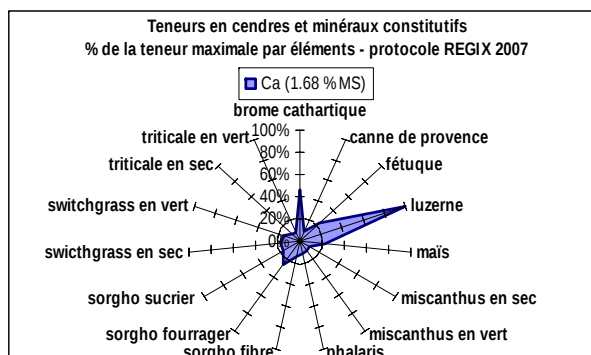
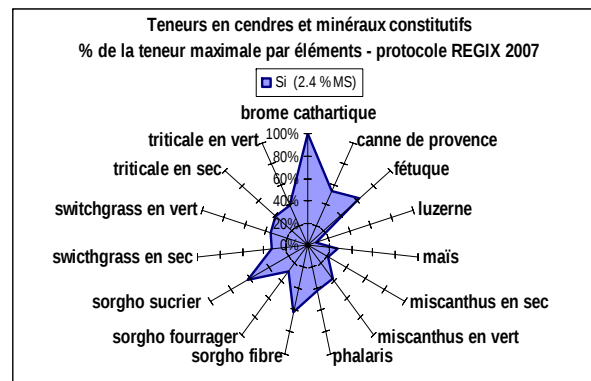
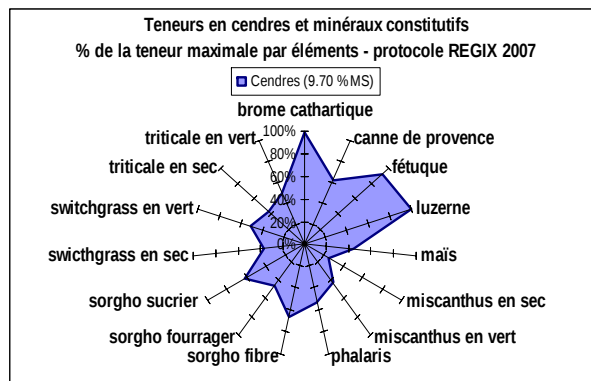
Teneurs élevées pas forcément rédhibitoires pour les procédés thermiques, mais coûts d'épuration plus élevés.

Récolte post-hivernale à privilégier car éléments lessivables

Pas de contrainte pour les procédés biochimiques



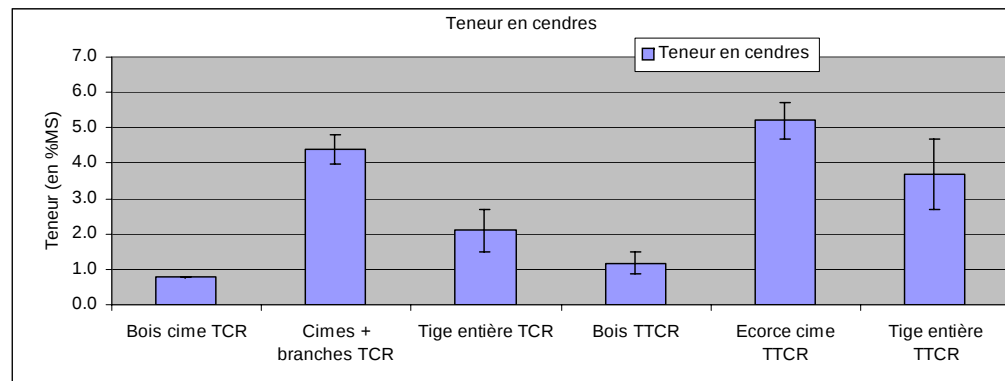
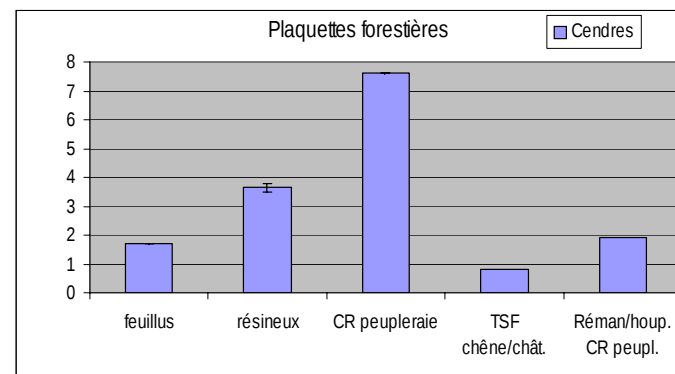
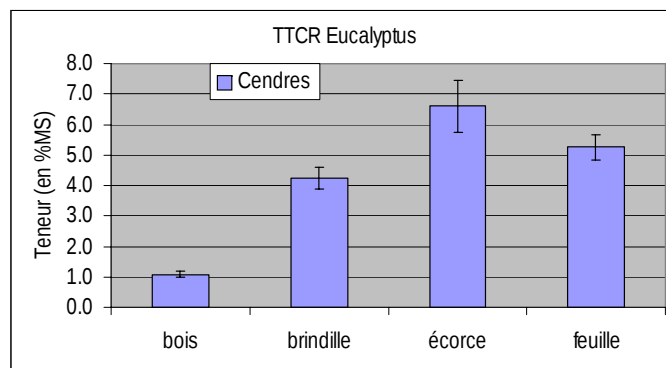
Taux de cendres - agriculture (totaux, Si, Ca, Mg, K)



Agriculture



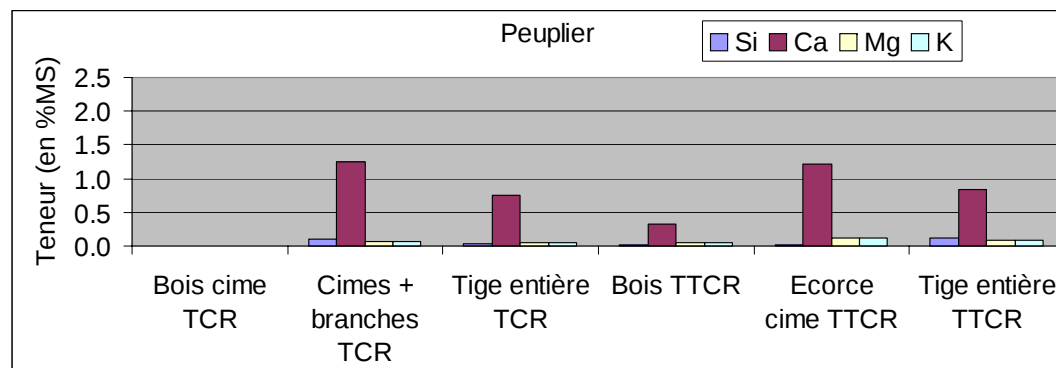
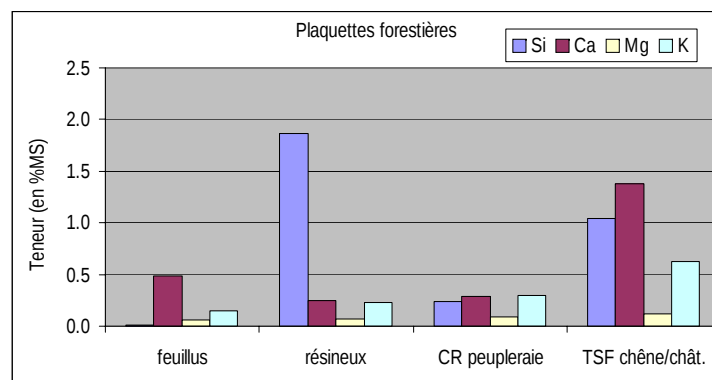
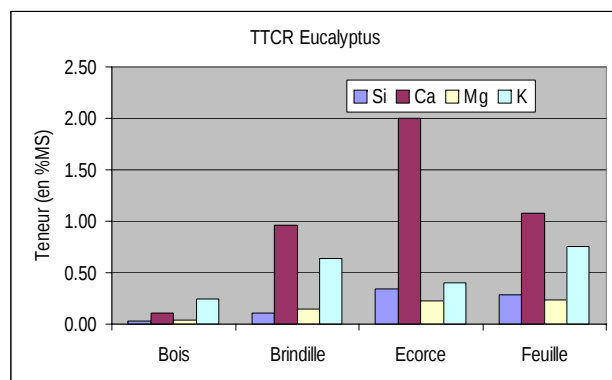
Taux de cendres - forêt (totaux, Si, Ca, Mg, K)



Forêt



Taux de cendres - forêt (totaux, Si, Ca, Mg, K)

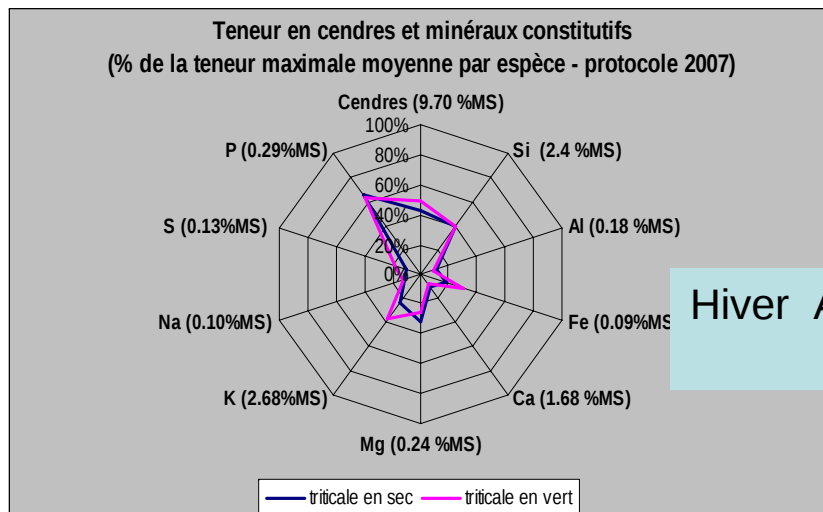
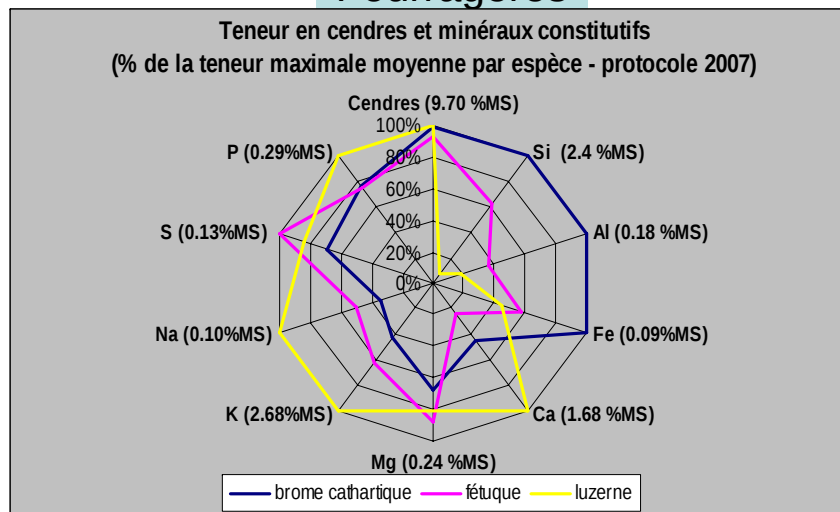


Forêt

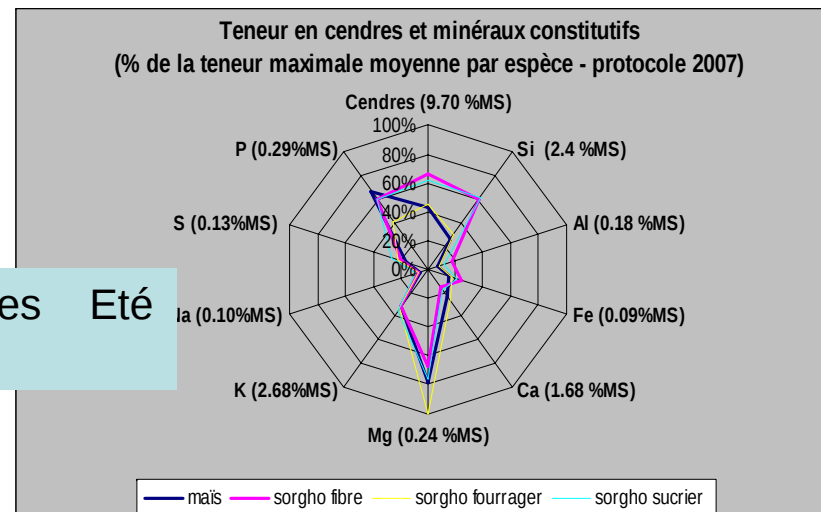


Composition des cendres

Fourragères



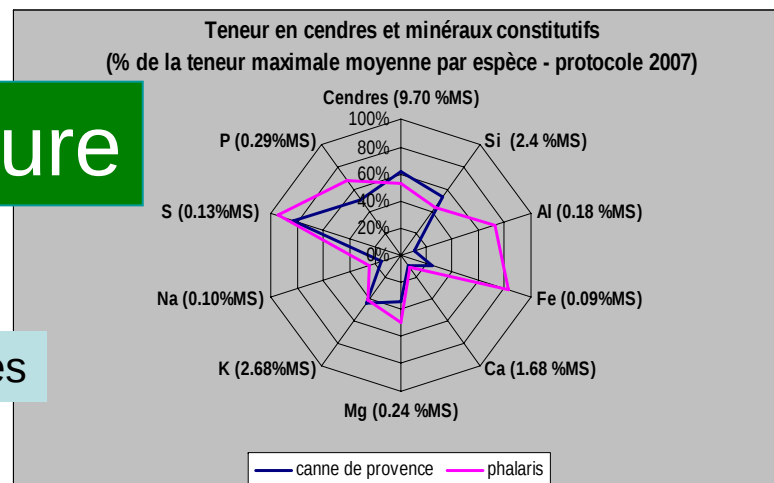
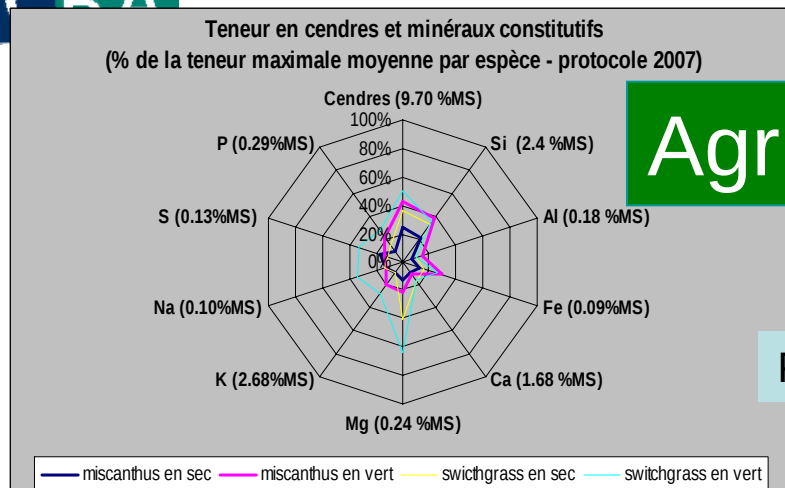
Hiver Annuelles Eté



Agriculture

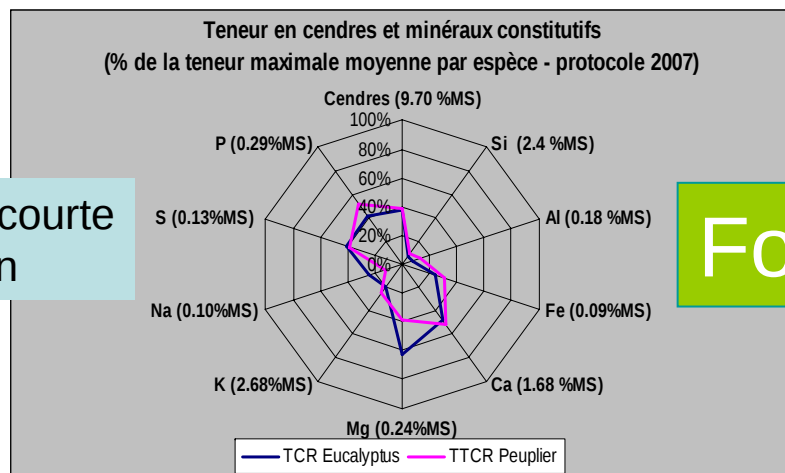
Composition des cendres

Agriculture

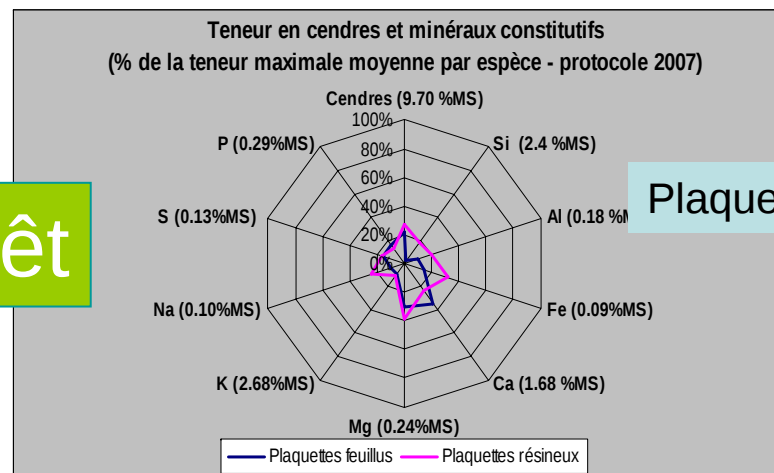


Pérennes

Taillis courte rotation



Forêt



Plaquettes



Besoins procédés vs qualité des ressources

☀ Valeurs sensibles pour les procédés thermochimiques :

	EDF
	Combustion
CaO	> 15 % de la composition des cendres
MgO	> 2,5 % de la composition des cendres
Na ₂ O	< 0,6 % de la composition des cendres
K ₂ O	< 7 % de la composition des cendres
Si ₂ O	Pas de seuil formel

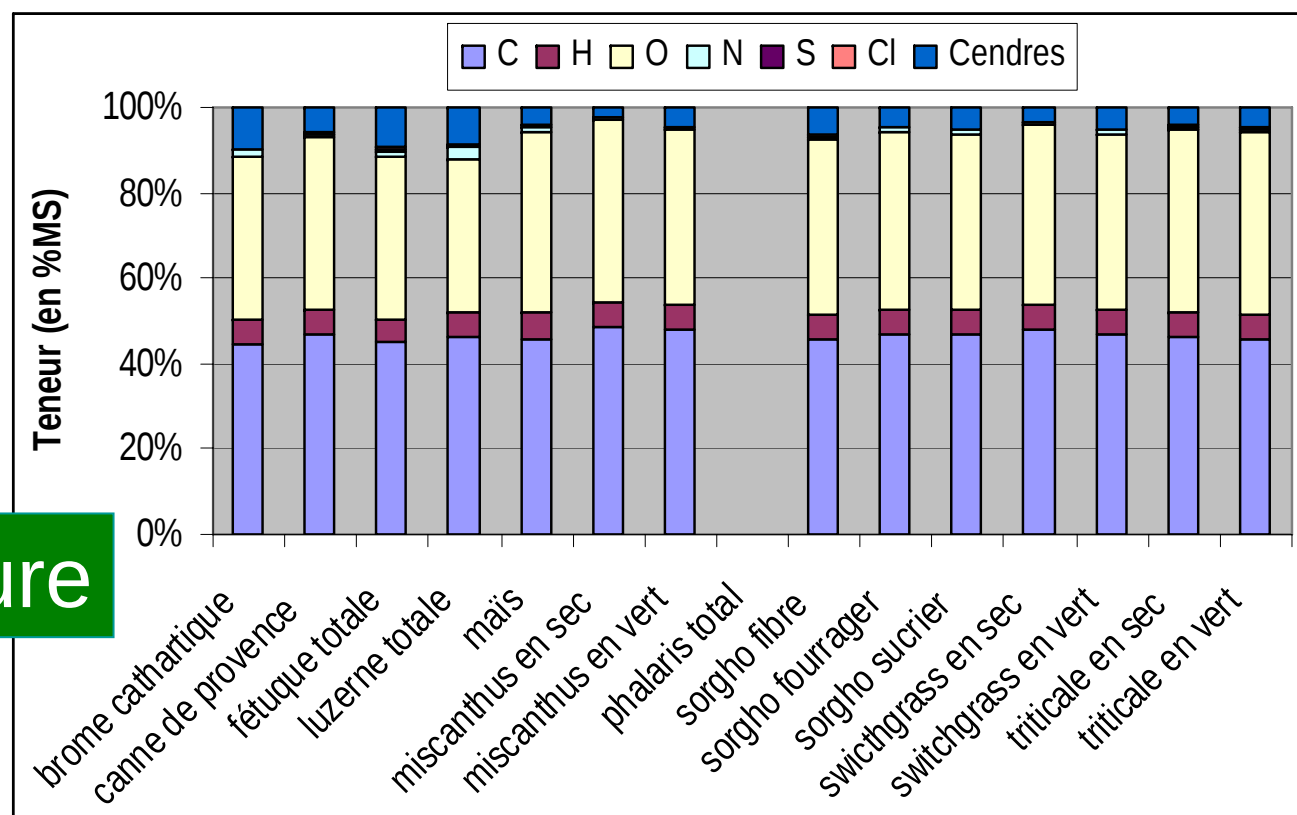
- ☀ Taux de **cendres** élevés => dépoussiérage et évacuation importants.
- ☀ Taux de **Si** élevé => vitrification des cendres et usure prématurée des équipements
- ☀ **K** et **Na** abaissent la température de fusion des cendres et contribuent à la corrosion, notamment combinés avec Cl
- ☀ **K** forme avec **Si** des **silicates** à bas point de fusion => dépôt
- ☀ **Ca** et **Mg** augmentent la la température de fusion des cendres
- ☀ CEA : Modélisation du comportement des cendres à haute température

Pas de contrainte exprimée pour les procédés biochimiques (?)



Bilan composition élémentaire Agriculture

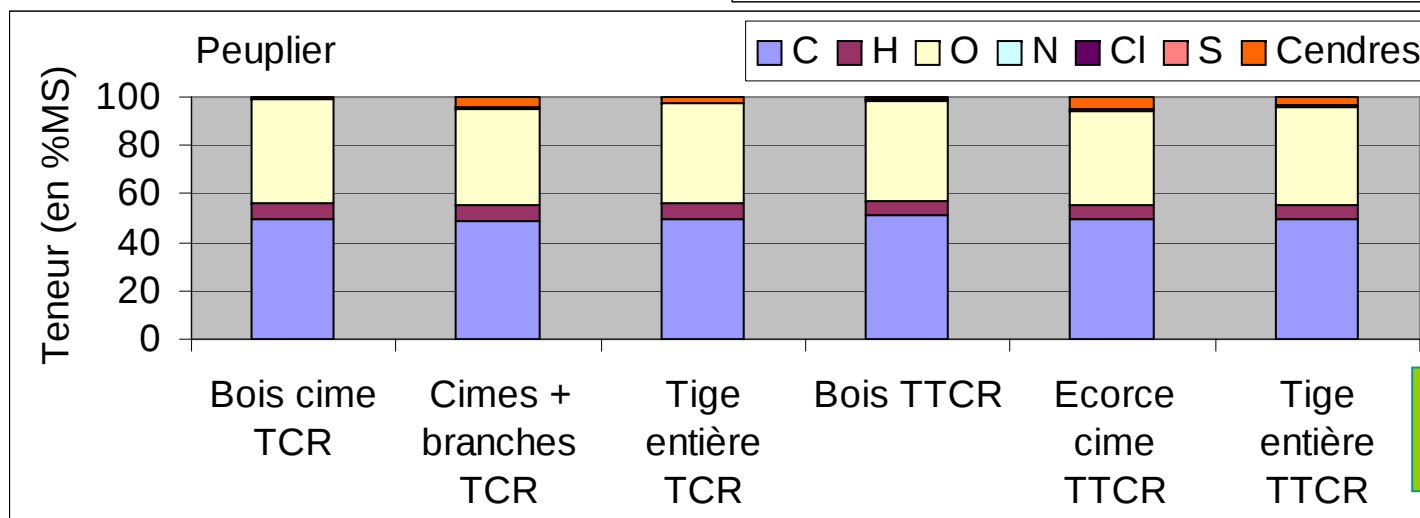
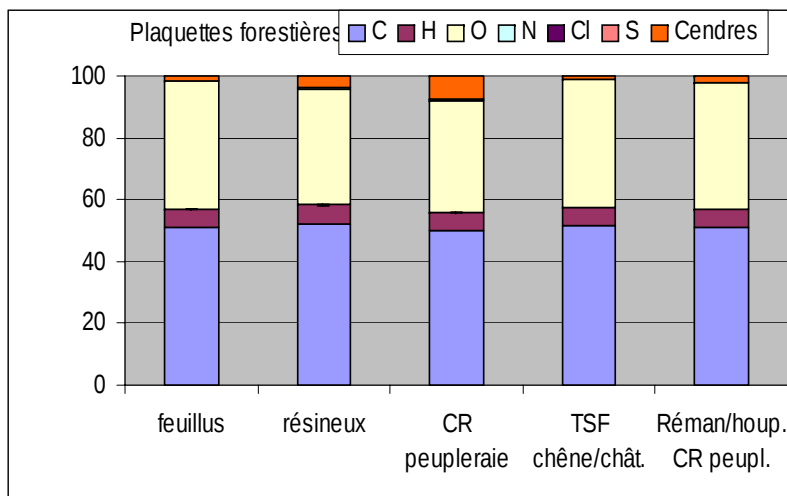
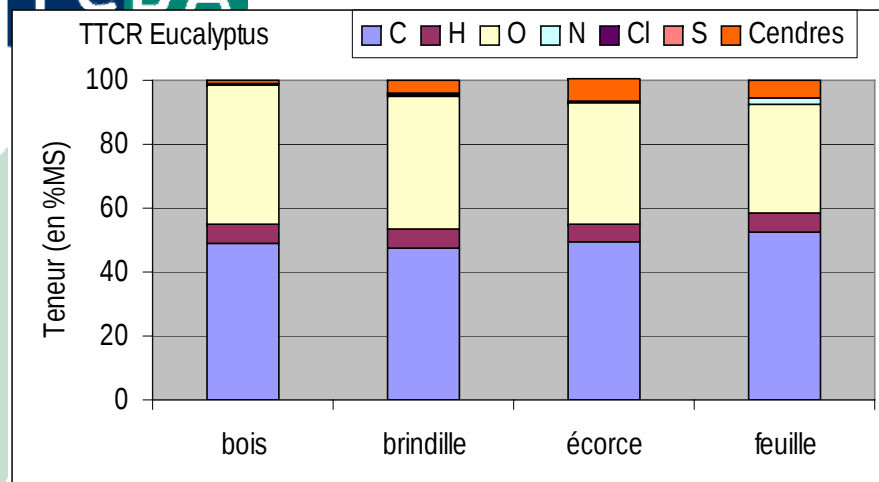
Agriculture



**La teneur en oxygène est plus faible pour les
fourragères par rapport aux autres cultures car elles
contiennent plus de cendres et d'azote**

Bilan composition élémentaire

Forêt

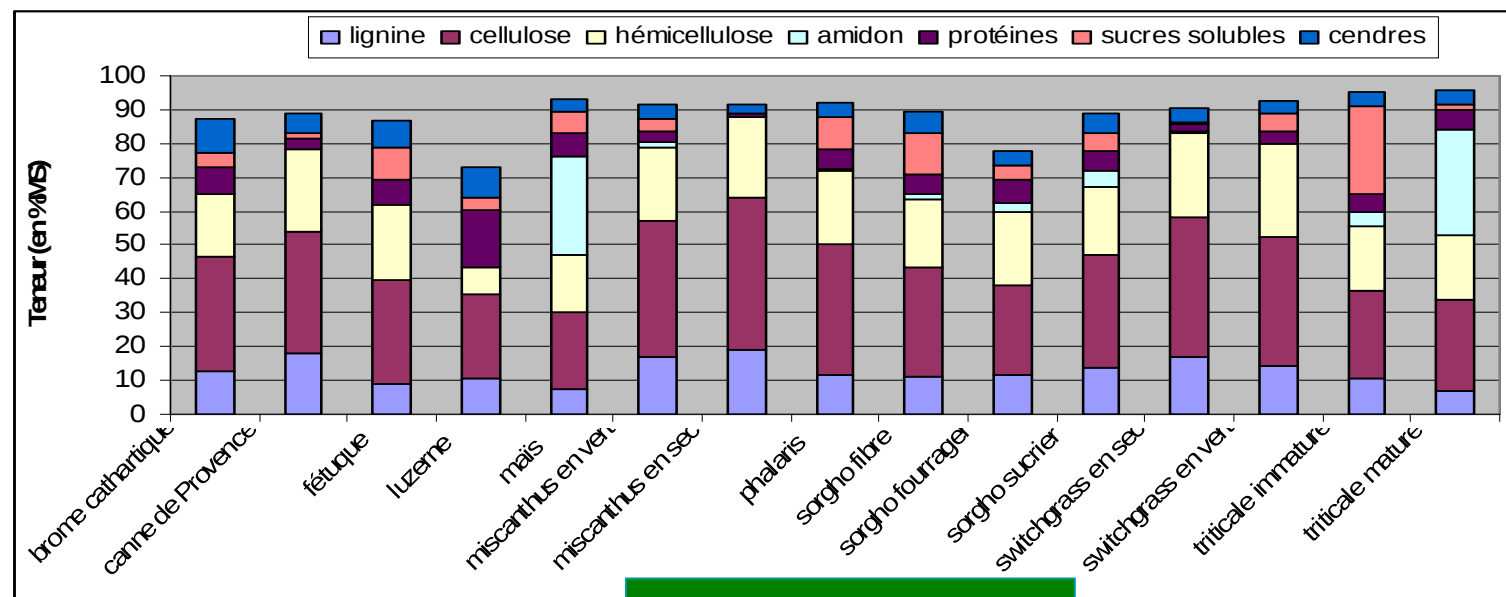


Forêt

Teneurs en N, Cl, S et cendres plus faibles et pourcentages de carbone plus élevés que la biomasse agricole



Composition biochimique - Agriculture

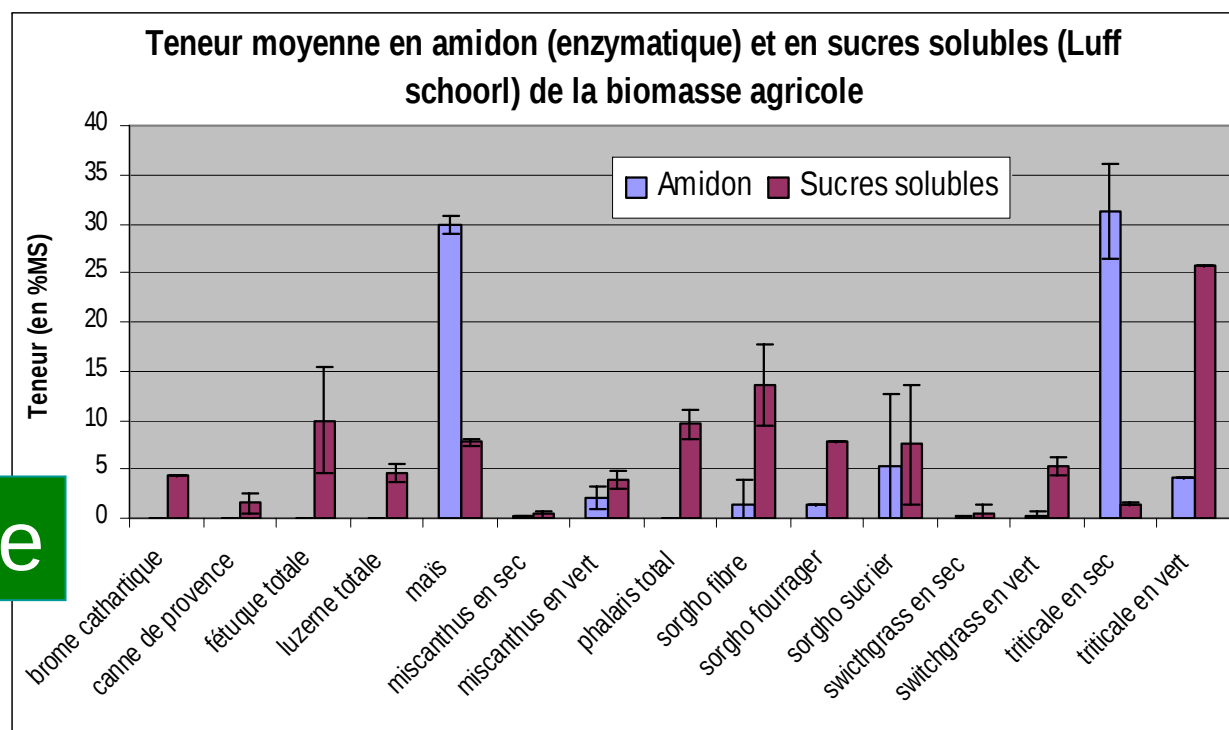


Agriculture



Composition biochimique

Amidon et sucres solubles - Agriculture



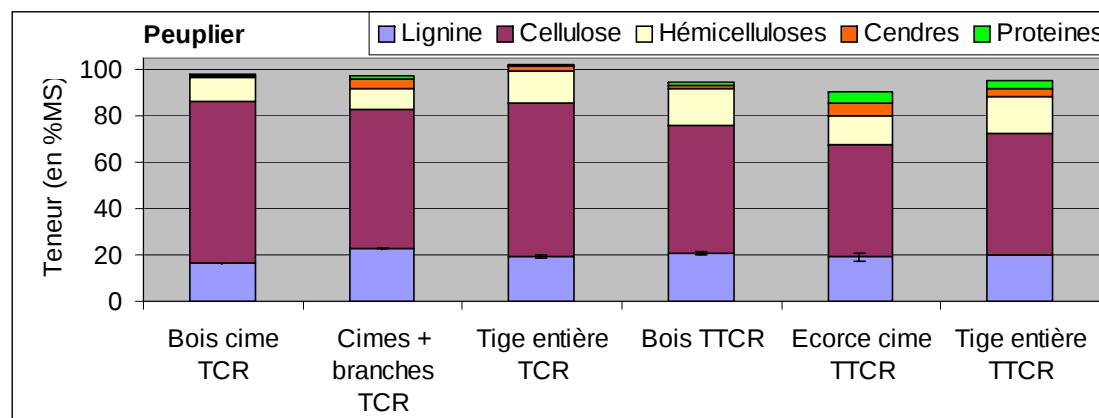
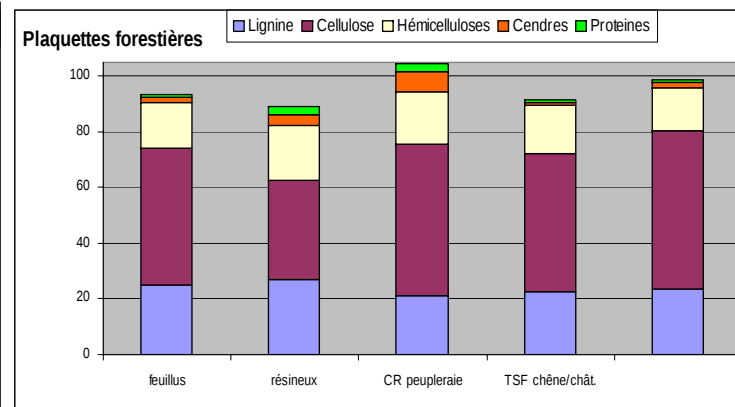
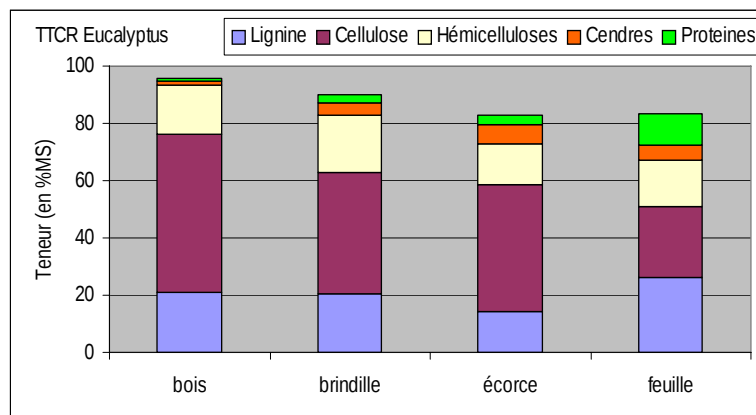
Agriculture

L'amidon est très dépendant de la teneur en grain et donc du stade de récolte

Également très forte variabilité inter espèces pour les sucres solubles totaux



Composition biochimique - Forêt



Forêt

Dans ce bilan, il manque la fraction extractible, et plus particulièrement pour les TTCR, que l'on peut ainsi rapprocher du monde agricole.

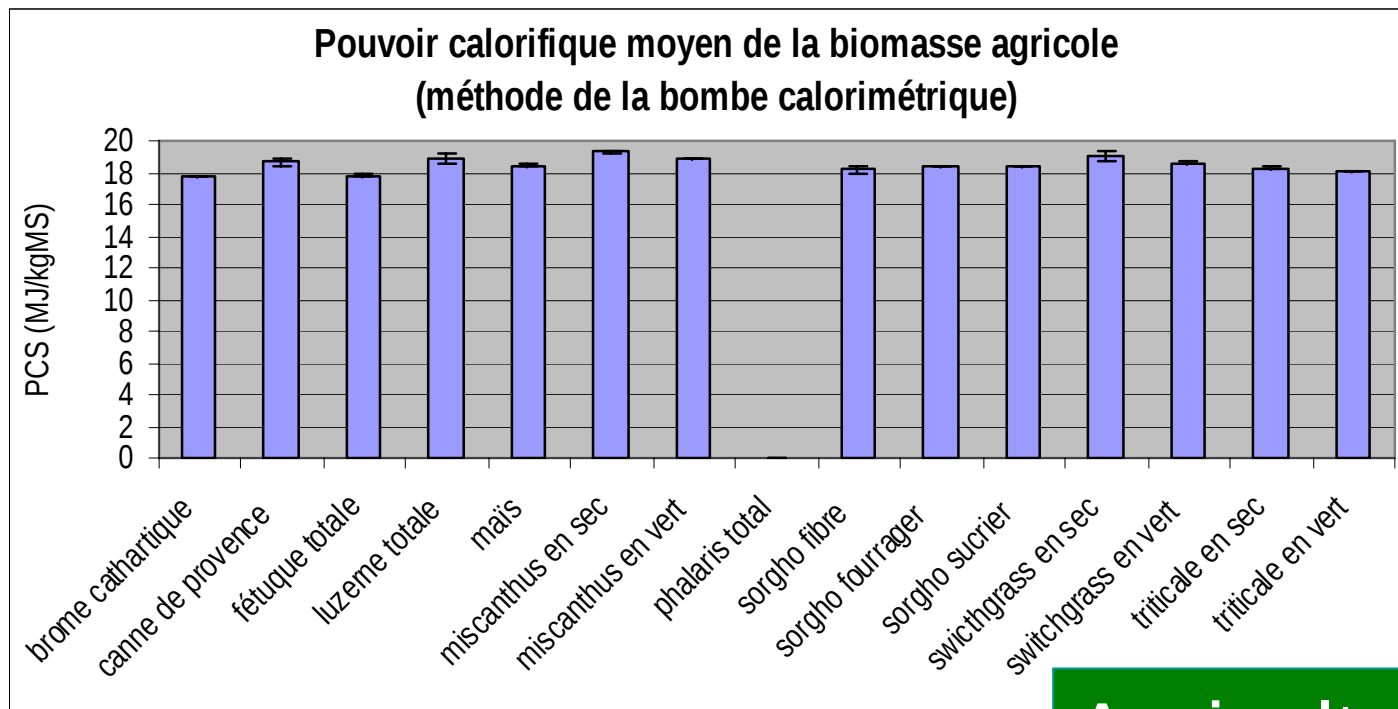
La teneur en protéines est à relier à la proportion de feuilles dans l'échantillon



Besoins procédés vs qualité des ressources

- ✿ Les critères de qualités de la biomasse vis-à-vis des procédés biochimiques ne sont pas bien définis :
- ✿ Quelques « valeurs sûres » à maximiser, en particulier les hexoses (teneurs élevées en amidon, sucres solubles et cellulose)
- ✿ Fortes teneurs en pentoses pas intéressantes car difficiles à fermenter
- ✿ Lignine nécessaire pour bilan énergétique (distillation)
- ✿ Cendres : non valorisables en bio-éthanol, mais quel rôle pendant l'hydrolyse et la fermentation ? Quelle valorisation ?
- ✿ Protéines : quel rôle pendant l'hydrolyse et la fermentation ? Quelle valorisation ? Quelles contraintes ?

Pouvoir calorifique - Agriculture



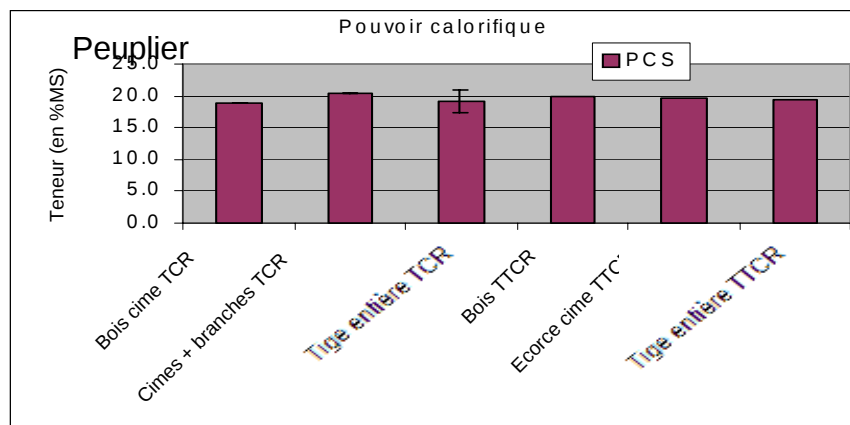
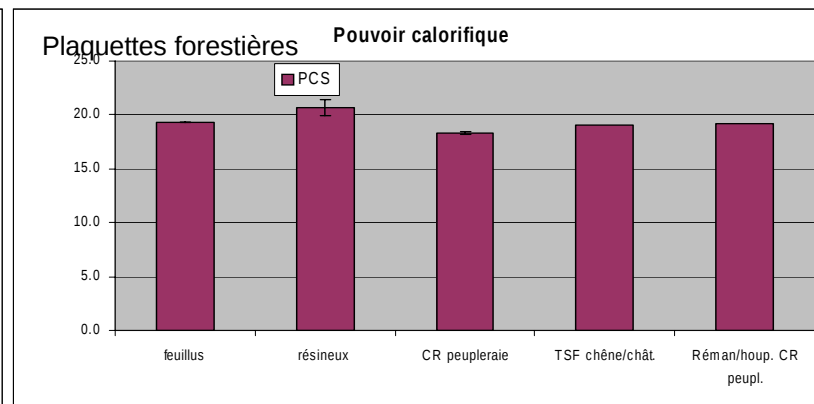
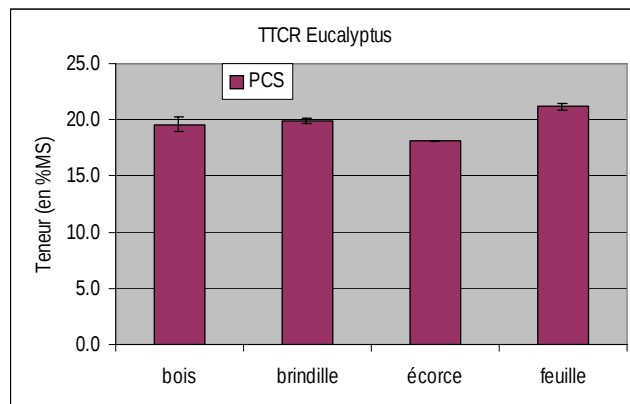
Agriculture

Pas de variabilité du PCS : 18-19 MJ/Kg MS

- Ni en fonction des l'espèces
- Ni au sein des espèces



Pouvoir calorifique - Forêt



Forêt

- PCS : 18-21 MJ/Kg MS
- Légère variabilité en fonction de l'espèce, fractions et produits



Synthèse

- ✿ La biomasse parfaite n'existe pas ! Les biomasses agricoles et forêts ont des avantages et inconvénients différents selon le procédé visé.
- ✿ La biomasse forestière présente des atouts majeurs pour la production de biocarburants de 2ème génération
- ✿ Carbone : teneurs plus élevées pour les échantillons forêt
- ✿ Azote et soufre: teneurs élevées pour les échantillons agricoles et forêt si présence de feuilles
- ✿ Teneurs élevées pour certaines espèces agricoles et échantillons forêt si présence d'écorce ou contaminés lors de la récolte
- ✿ Composition de cendres différentes : échantillons agricoles généralement riches en Si ; échantillons forêt riches en Ca et K
- ✿ Amidon et sucres solubles présents sur certaines espèces agricoles (intéressant pour voie biochimique) ; absence totale sur les échantillons forêt, mais fort potentiel en polysaccharides
- ✿ Peu de variabilité pour le pouvoir calorifique; valeurs légèrement supérieures pour les échantillons forêt.



Pistes pour l'amélioration de qualité de la biomasse forestière

- ✿ Maîtrise des teneurs des composants principaux (cellulose, hémicelluloses, lignines)
- ✿ Augmentation de la densité énergétique
- ✿ Priorité aux sucres fermentescibles (C6); amélioration de l'accessibilité et de réactivité vis-à-vis les étapes d'hydrolyse
- ✿ Réduction de la teneur en écorces
- ✿ Réduction de la teneur de certains éléments minéraux
- ✿ Compréhension puis maîtrise des mécanismes menant à l'accumulation de certains éléments (Cl, N, S, etc)
- ✿ Développement d'itinéraires sylvicoles et de techniques de récolte adaptées permettant de maximiser à la fois le potentiel bioénergétique et la préservation du sol.



Remerciements

- ✿ **ADEME / PNRB**
- ✿ **Partenaires du projet**
- ✿ **Membres du groupe de travail REGIX « biomasse x procédés »**
- ✿ **Membres du comité de pilotage projet REGIX**
- ✿ **Comité organisateur de REGEFOR (en particulier Guy Landmann)**