

Ressources agricoles et forestières

Herman Höfte
INRA, Versailles

Disponibilité de la biomasse: un élément clé pour la réussite de projets afférents

Besoins:

- ✓ Approvisionnement régulier : quantité (ex. 200 000 t/an), qualité
- ✓ Prix de la matière première : 30 – 50 % des coûts totaux de production
- ✓ Biomasse est variable par nature et entre en compétition avec différents usages
- ✓ Besoins en cultures dédiées variables selon conditions locales



Résidus agricoles

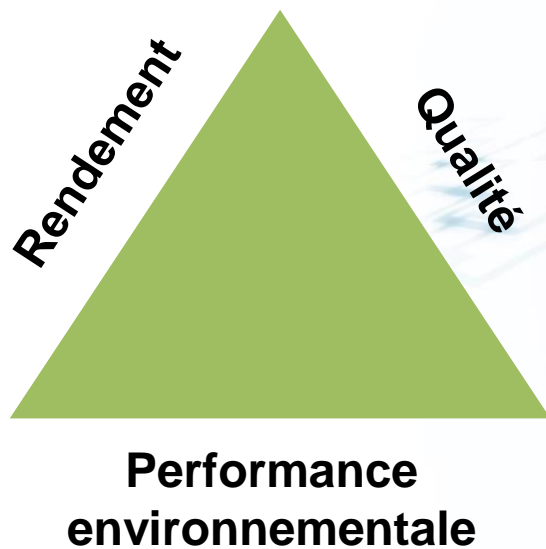


Résidus forestiers



Cultures dédiées

Production biomasse pour l'énergie : un triple défi



Concilier :

- ✓ Rendement important
- ✓ Haute performance environnementale
 - Faible impact sur l'eau, l'usage de terres et la biodiversité
 - Pas d'interférence avec l'usage alimentaire
 - Maximum de co-bénéfices (maîtrise de l'érosion, revenu, emplois)
 - Acceptation par le citoyen
- ✓ Qualité adaptée au procédés de conversion

Résumé

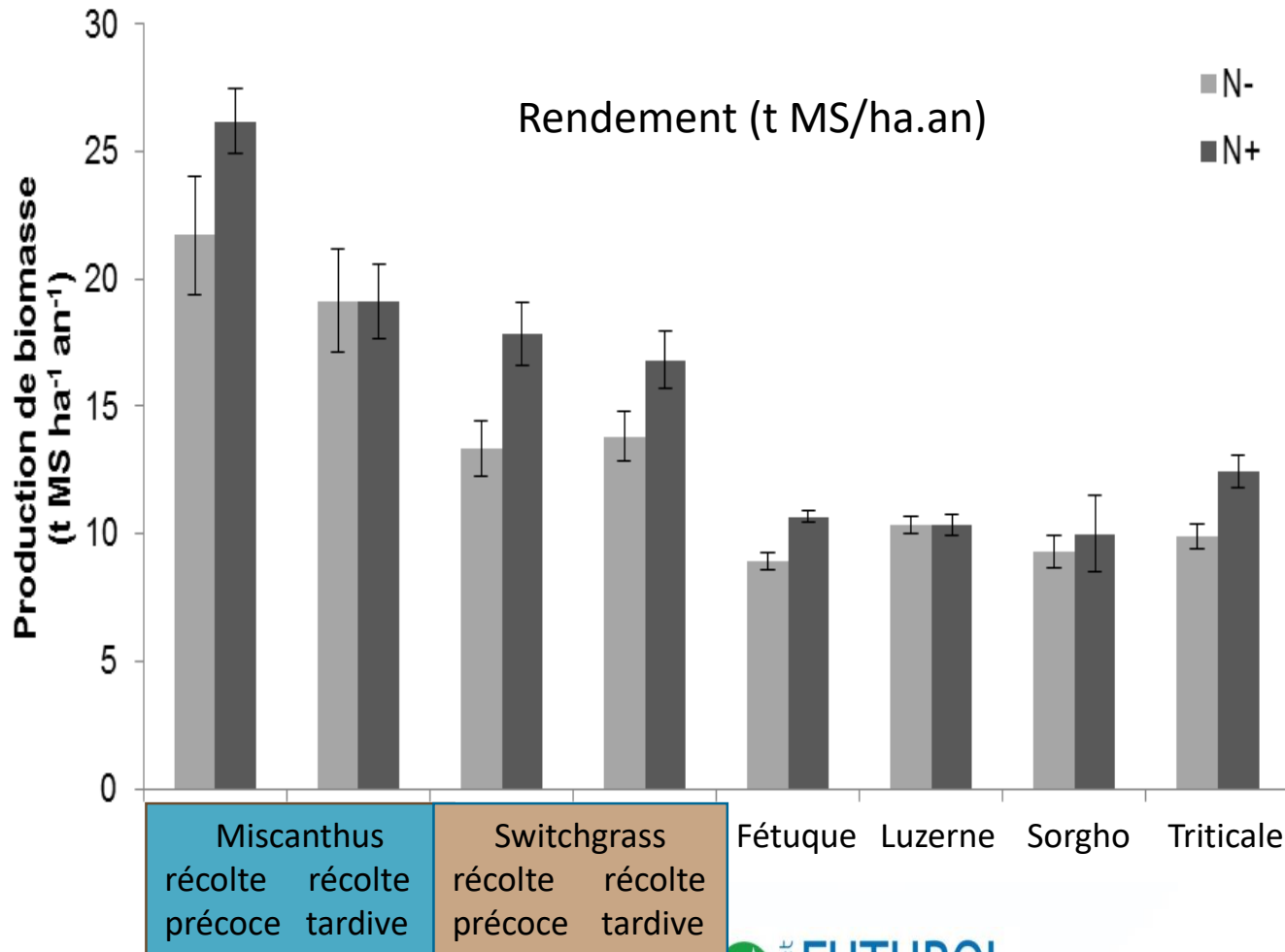
- Comparaison des performances des cultures pour la production de biomasse lignocellulosique
- Miscanthus
- Sorgho
- Projet IA « Biomass For the Future »
- Contribution de la création variétale à l'amélioration de la production durable de la biomasse

Résumé

- Comparaison des performances des cultures pour la production de biomasse lignocellulosique
- Miscanthus
- Sorgho
- Projet IA « Biomass For the Future »
- Contribution de la création variétale à l'amélioration de la production durable de la biomasse

Cultures à biomasse: comparaison des performances

Dispositif Biomasse & Environnement 2007-2012 (INRA Estrées-Mons)



Précoce (Sept) Tardif (Mars)
Miscanthus

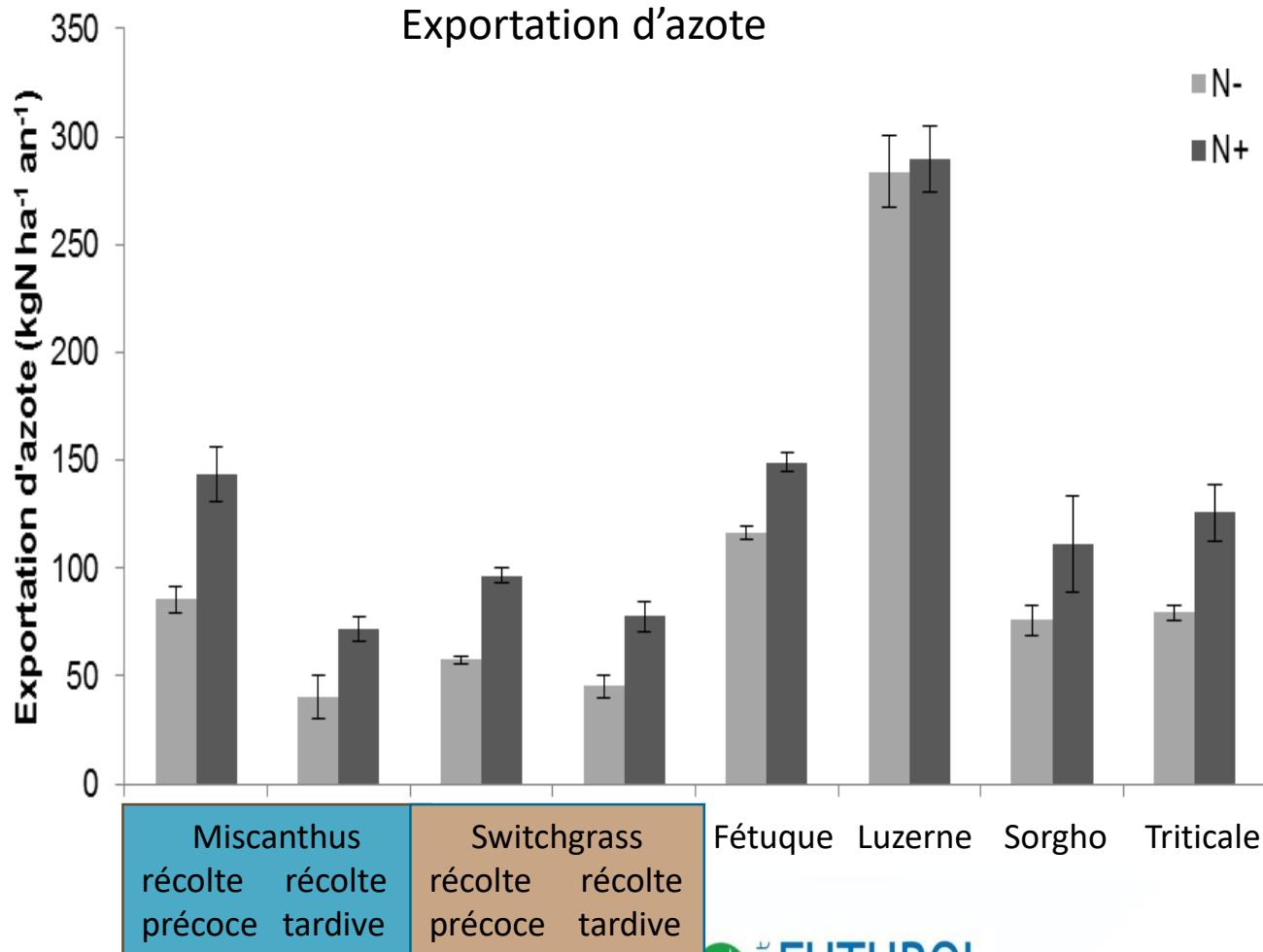
INRA AgrolImpact
Cadoux et al. 2014



Cultures à biomasse: comparaison des performances

Dispositif Biomasse & Environnement 2007-2012 (INRA Estrées-Mons)

Exportation d'azote



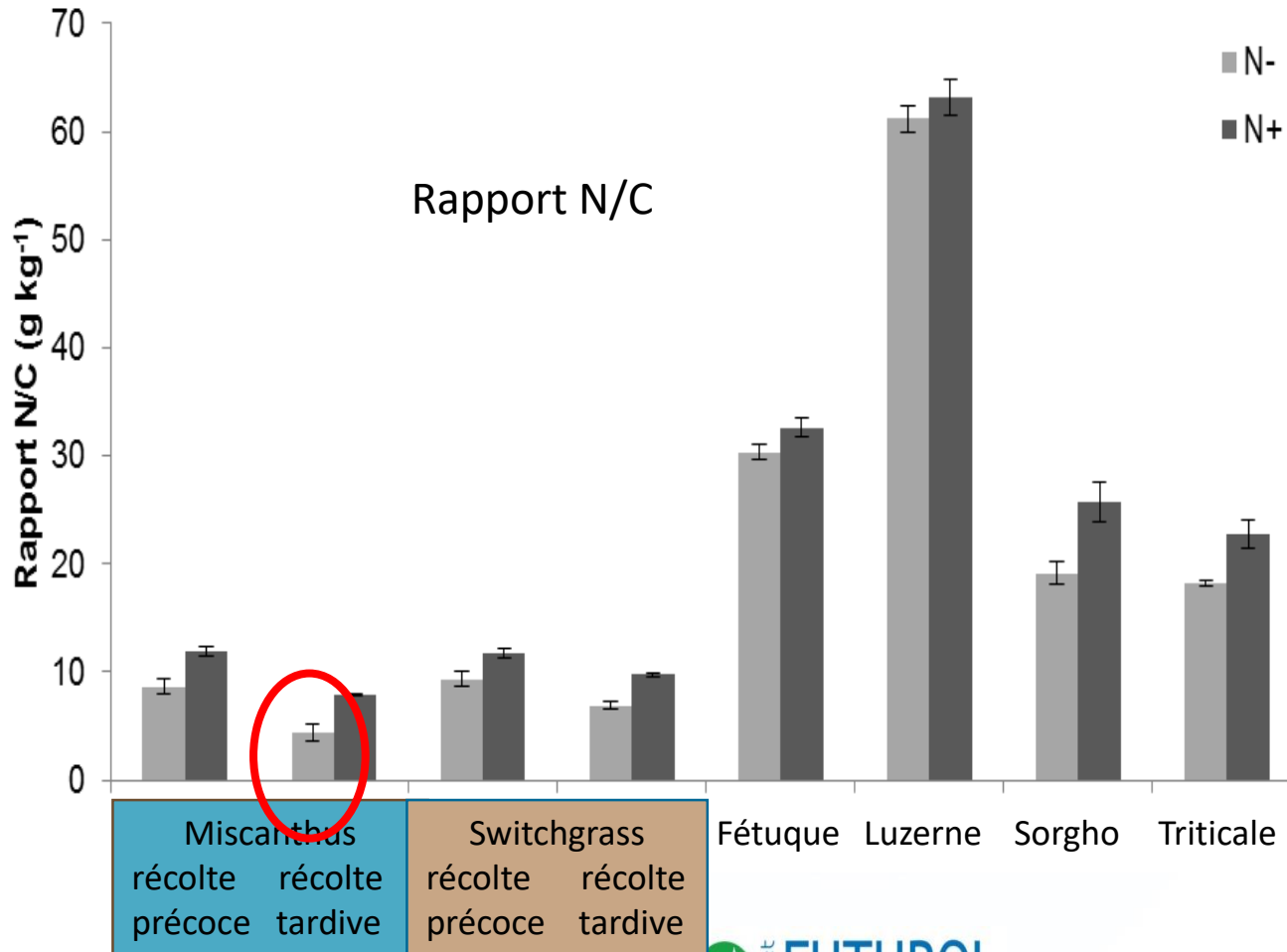
Précoce (Sept) Tardif (Mars)
Miscanthus

INRA AgrolImpact
Cadoux et al. 2014



Cultures à biomasse: comparaison des performances

Dispositif Biomasse & Environnement 2007-2012 (INRA Estrées-Mons)



Précoce (Sept) Tardif (Mars)
Miscanthus

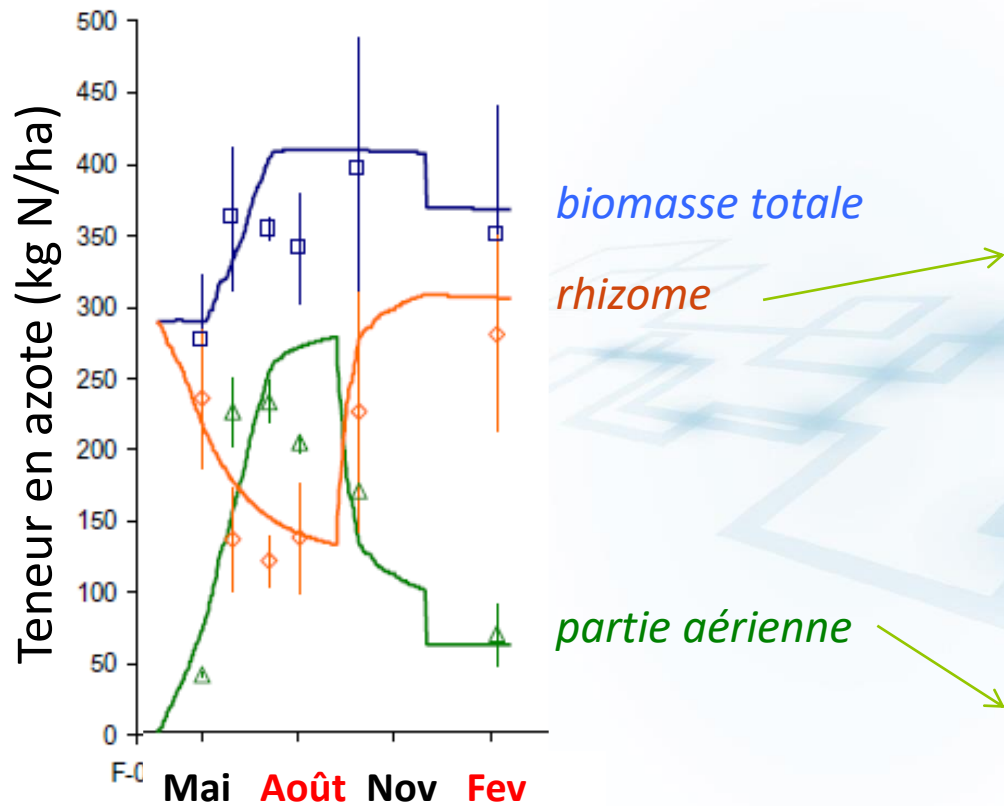
INRA AgrolImpact
Cadoux et al. 2014



Résumé

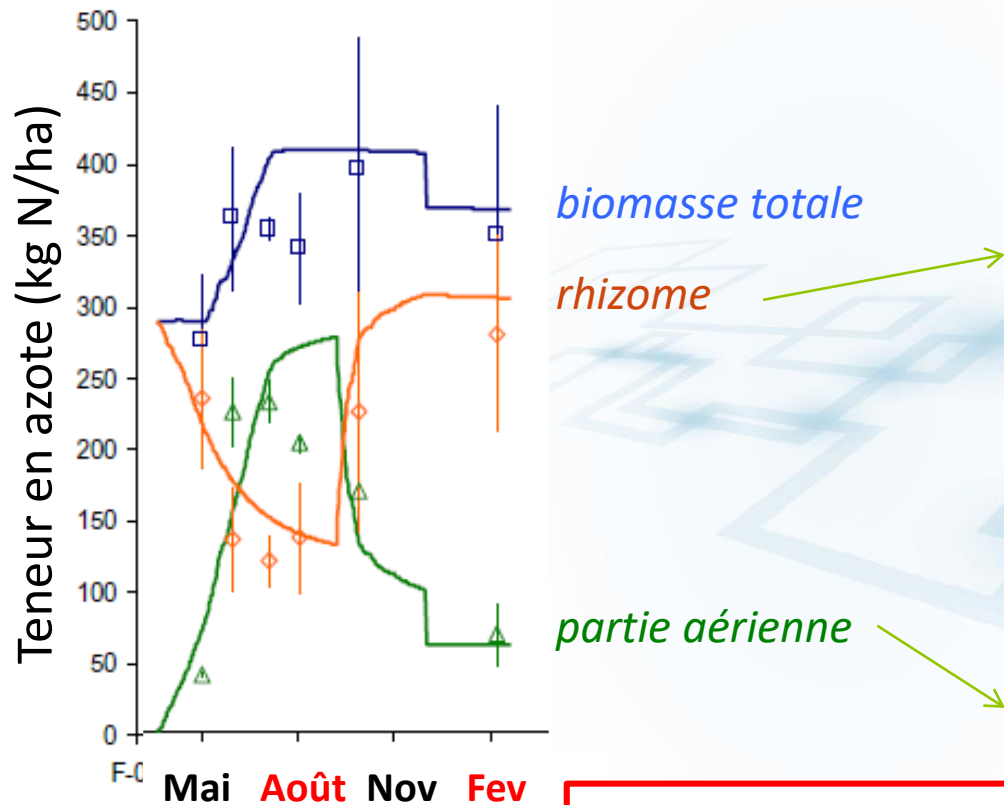
- Comparaison des performances des cultures pour la production de biomasse lignocellulosique
- **Miscanthus**
- Sorgho
- Projet IA « Biomass For the Future »
- Contribution de la création variétale à l'amélioration de la production durable de la biomasse

Recyclage de l'azote chez *Miscanthus giganteus*



Essai : Récoltes tardives (Mars) et sans apport d’N :

Recyclage de l'azote chez *Miscanthus giganteus*



Essai : Récoltes tardives (Mars) et s

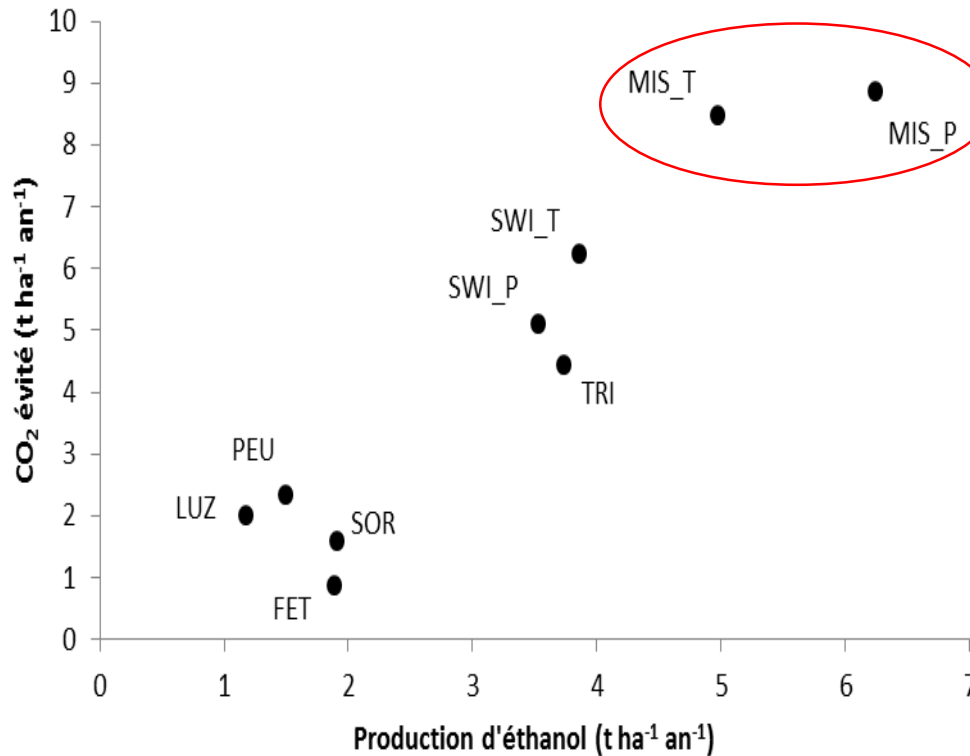
Apport en azote faible:
 Miscanthus ≤ 40 kg N / ha
 Maïs: > 200 kg N / ha

Bilan énergétique : cultures pérennes vs annuelles

Culture	Energie input (MJ/ha)	Energie output (MJ/ha)	Rapport out/in
Miscanthus	9224	300 000	32.5
Saule (TCR)	6003	180 000	30.0
Chanvre (paille)	13 298	112 500	8.5
Blé (grain)	21 465	189 338	8.8
Colza	19 390	72 000	3.8

Source: ADAS Consultancy Ltd working for ETSU/UK Department of Trade and Industry

Production d'éthanol et Gaz à Effet de Serre (GES)



Projet
FUTUROL
PROCETHOL 2G

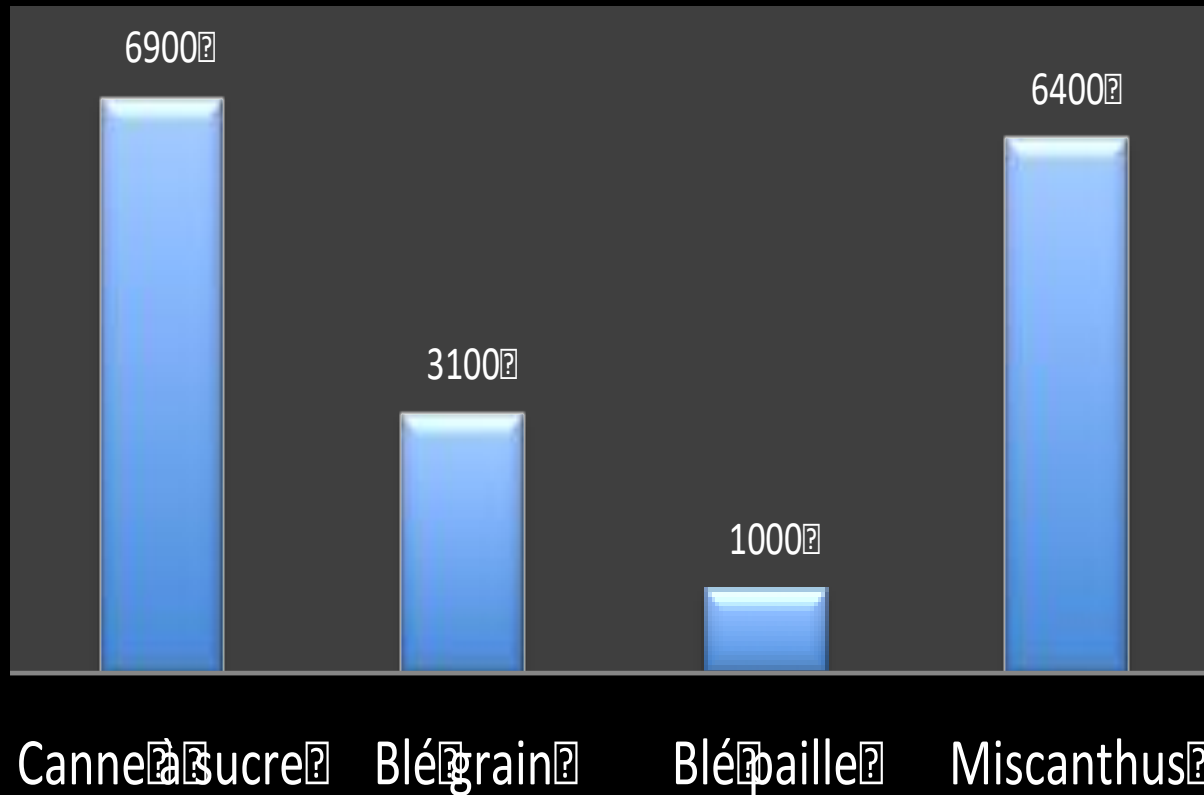
CO_2 évité = coût – bénéfice

= émission totale de GES liée à la fertilisation – CO₂ fossile économisé

INRA AgrolImpact
d'après Cadoux et al. 2014

1G vs 2G ethanol

Rendement Ethanol (L/ha)



Projet
FUTUROL
PROCETHOL 2G

Rendement Miscanthus à Estrées-Mons

Miscanthus : S. Arnoult 2014
Autres cultures : F Martel comm. pers.

Miscanthus x giganteus



- Bilan énergétique favorable:
 - plantes géantes, rendement important
 - photosynthèse C4 efficace, aussi pendant stress hydrique
 - peu d'interventions en champs (un passage/an, après établissement)
- Gestion hydrique favorable:
 - période de croissance tôt dans l'année, moins sensible au stress hydrique pendant l'été
 - système racinaire développé, meilleure exploration du sol
- Récolte tardive (Mars):
 - recyclage efficace de nutriments, ex. azote.
 - biomasse avec faible teneur en eau (15-25%)
 - décalage avec d'autres cultures
- services écosystémiques : réduire l'érosion, teneur en carbone et biodiversité dans le sol, refuge gibier, ...

Miscanthus x giganteus



- Peu de recul agronomique (env 5000 ha en France)
- Filières: manque de convergence offre-demande
 - agriculteur: manque de débouchés
 - industriel: manque de sécurité d'approvisionnement
- Faible diversité : un seul clone cultivé actuellement
- Multiplication végétative coûteuse



Résumé

- Comparaison des performances des cultures pour la production de biomasse lignocellulosique
- Miscanthus
- Sorgho
- Projet IA « Biomass For the Future »
- Contribution de la création variétale à l'amélioration de la production durable de la biomasse

Sorgho



Sorgho



Europe : 250 -400 kha
France : 50 kha
Majoritairement aliments
animaux



Nouveaux usages



méthane



énergie



matériaux

Propriétés sorgho:



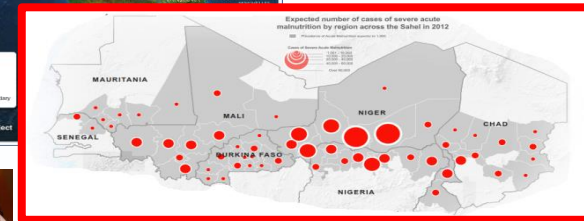
Rendement (efficacité eau, azote)
Variétés systèmes de culture
Diversité dans la composition de
la biomasse



Tolérance au froid
Gestion adventices
Variétés « biomasse »

Sorgho: sécurité alimentaire

- Production graines
- 5^e culture (63 Mt/an)
- Pilier pour la sécurité alimentaire
 - Culture de base pour 100-aines de millions
 - Produits divers



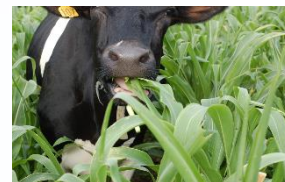
- Alimentation
 - Afrique/Asie : alimentation humaine et animale, forage
 - Pays développés et émergents : alimentation animale



Grain



Ensilage



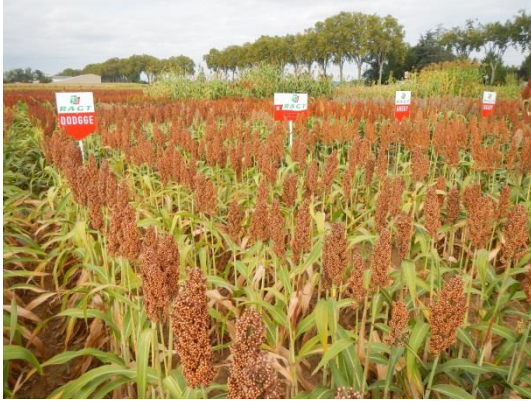
Prairies



Forage

Sorgho: « idéotypes » cibles

GRAIN



FORAGE coupes multiples (Sudan an grain x sudan types)



FORAGE, coupe simple



Type « industriel »

Faible digestibilité, teneur en fibre élevée, sans grain, rdt en biomasse élevé

Type « double utilisation » :

Digestibilité intermédiaire, peu de grains, rdt biomasse élevé, teneur en sucre élevé



Type « ensilage » :

Bonne digestibilité, + grain, rdt biomasse plus faible

Sorgho: « idéotype » cibles



Sorgho: 2 mois

© Mélodie Brut

Type « culture dérobée »

Croissance rapide

« Puits » d'azote

Adaptée à la méthanisation

Optimisation de l'utilisation
des terres

Résumé








- Comparaison des performances des cultures pour la production de biomasse lignocellulosique
- Miscanthus
- Sorgho
- **Projet IA « Biomass For the Future »**
- Contribution de la création variétale à l'amélioration de la production durable de la biomasse

- **Long terme : Cultures optimisées (sorgho et miscanthus, maïs comme modèle) dédiées à la production d'énergie, produits chimiques et matériaux**

Cibles:

- ✓ Rendement élevé
- ✓ Faible empreinte environnementale
- ✓ Qualité de la biomasse adaptée aux usages industriels

- **Moyen terme: Création de chaînes de valeurs biomasse**

				
Heating	Construction materials	Polymer composites	Anaerobic digestion	2G bio-fuel
				

Résumé

- Comparaison des performances des cultures pour la production de biomasse lignocellulosique
- Miscanthus
- Sorgho
- Projet IA « Biomass For the Future »
- Contribution de la création variétale à l'amélioration de la production durable de la biomasse

Domestication



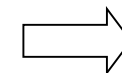
Téosinte Maïs primitif Maïs actuel

10000 ans de domestication

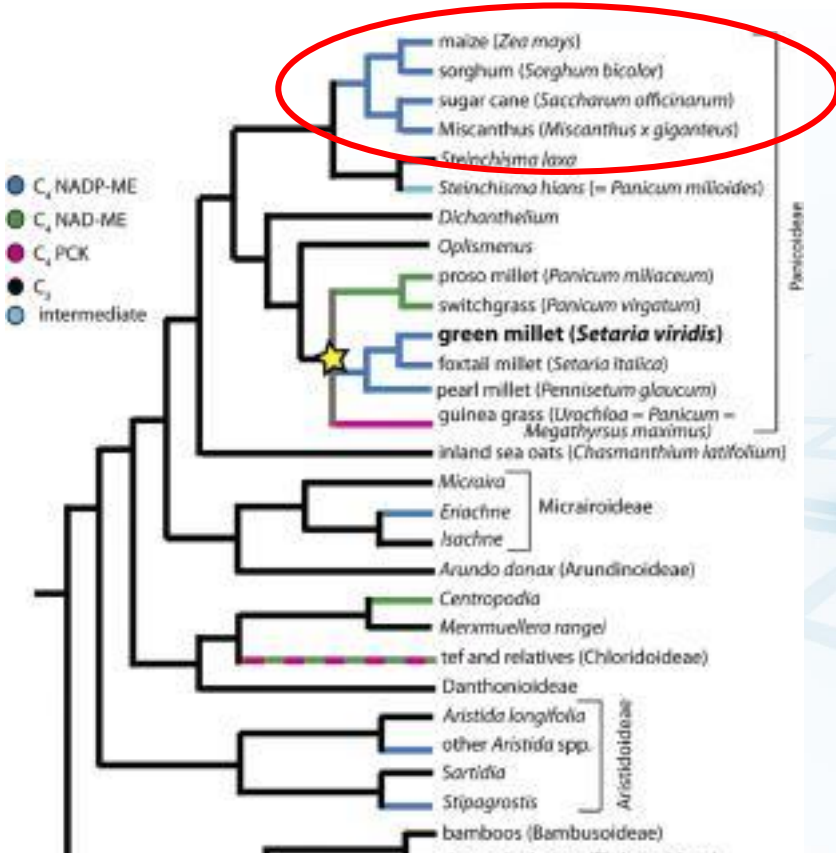


Miscanthus sauvage

domestication accélérée



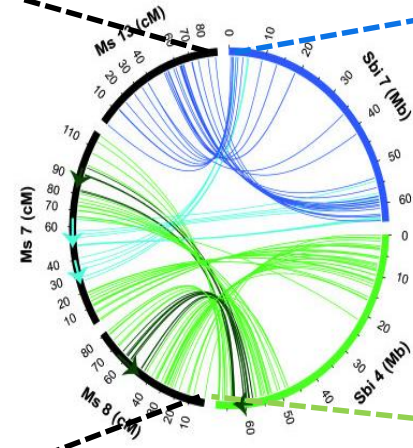
Génomique comparative



Miscanthus sinensis



Sorghum bicolor



Miscanthus, maïs, sorgho et canne à sucre: espèces très

L'identification de gènes contrôlant des caractères d'intérêt chez des espèces cultivées (maïs, sorgho) permet de sélectionner les mêmes caractères chez des espèces « sauvages » (miscanthus) à l'aide d'outils moléculaires

Domestication



Critères de sélection:

- ✓ Performance agronomique
- ✓ Impact sur l'environnement
- ✓ Qualité de la biomasse

Domestication



Critères de sélection:

- ✓ Performance agronomique
- ✓ Impact sur l'environnement
- ✓ Qualité de la biomasse

Performances agronomiques et impact sur l'environnement : enjeux pour miscanthus

- Elargir les bases génétiques
- Réduire les couts d'implantation: remplacer la multiplication végétative par semences
- Améliorer la stabilité du rendement en maintenant les performances environnementales
- Variétés adaptées aux terres « marginales »

Performances agronomiques et impact sur l'environnement : enjeux pour miscanthus

- Elargir les bases génétiques
- Réduire les couts d'implantation: remplacer la multiplication végétative par semences
- Améliorer la stabilité du rendement en maintenant les performances environnementales
- Variétés adaptées aux terres « marginales »

Origines de miscanthus



Plusieurs espèces:

Ex.

M. sinensis

M. sacchariflorus

M. x giganteus:

Hybride stérile (triploïde)
spontanée entre les deux
espèces



Miscanthus : variation naturelle
(INRA Estrées-Mons)

Photo: Maryse Brancourt

Performances agronomiques et impact sur l'environnement : enjeux pour miscanthus

- Elargir les bases génétiques
- Réduire les couts d'implantation: remplacer la multiplication végétative par semences
- Améliorer la stabilité du rendement en maintenant les performances environnementales
- Variétés adaptées aux terres « marginales »

Vers la multiplication par graines



Remplacer la multiplication végétative:

- 3000 €/ha, 8 x plus cher que multiplication par graines
- Logistique complexe
- Facteur de multiplication faible, pas adapté aux grandes surfaces
- Solution: **variétés multipliées par graines,**
- Nouveau problème: risque potentiel de l'invasivité
- Solution:
 - Floraison tardive ou absente. Problème : recyclage nutriments incomplet
 - **Production de graines triploïdes**

Production de graines triploïdes (3 copies du génome)

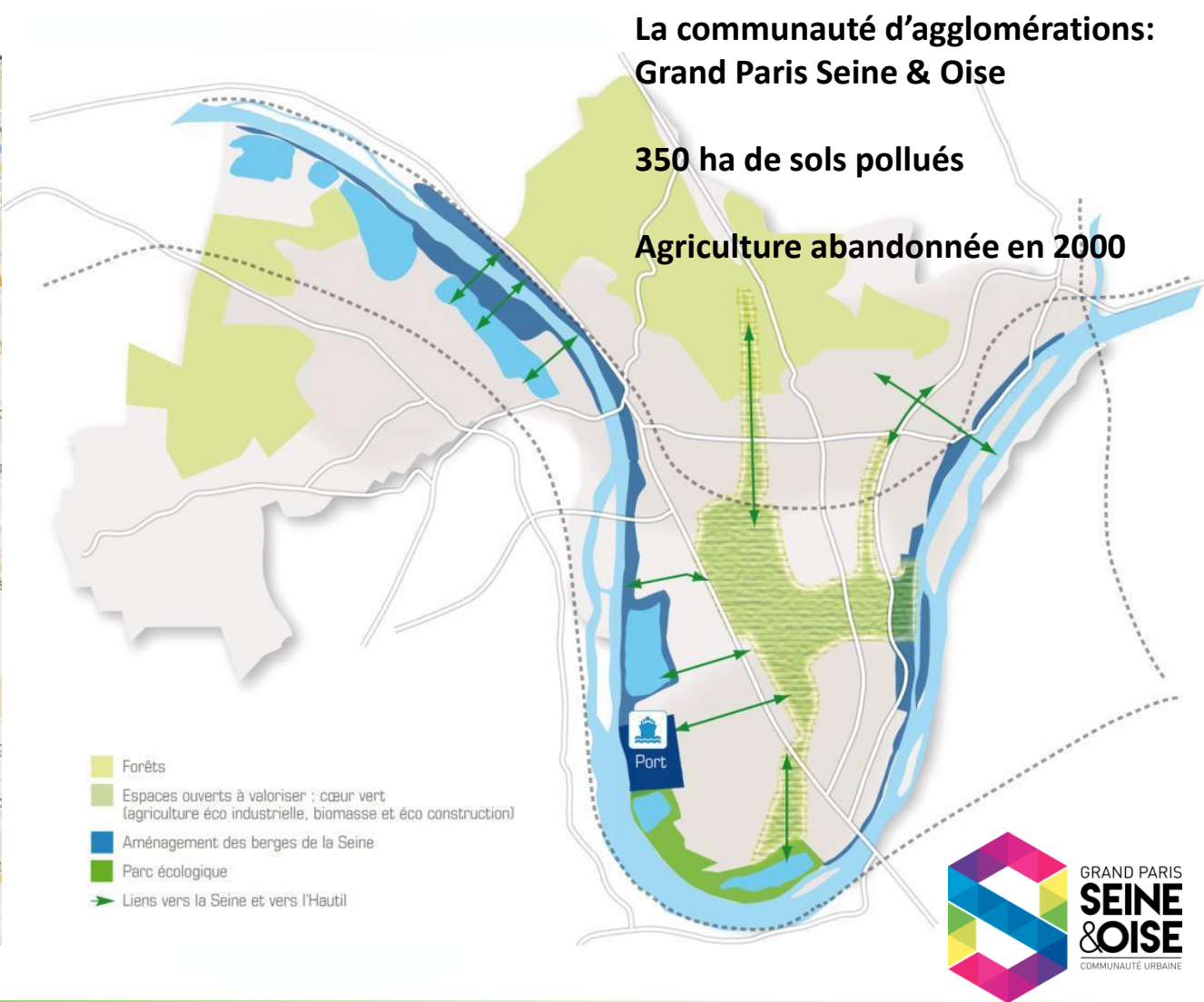
- Générer des tétraploïdes et croisement avec diploïdes
- Plantes triploïdes sont stériles
 - Ex. Melon sans graines (« seedless »)



Performances agronomiques et impact sur l'environnement : enjeux pour miscanthus

- Elargir les bases génétiques
- Réduire les couts d'implantation: remplacer la multiplication végétative par semences
- Améliorer la stabilité du rendement en maintenant les performances environnementales
- Variétés adaptées aux terres « marginales »

Exemple: reconquête de sols pollués



Exemple: reconquête de sols pollués



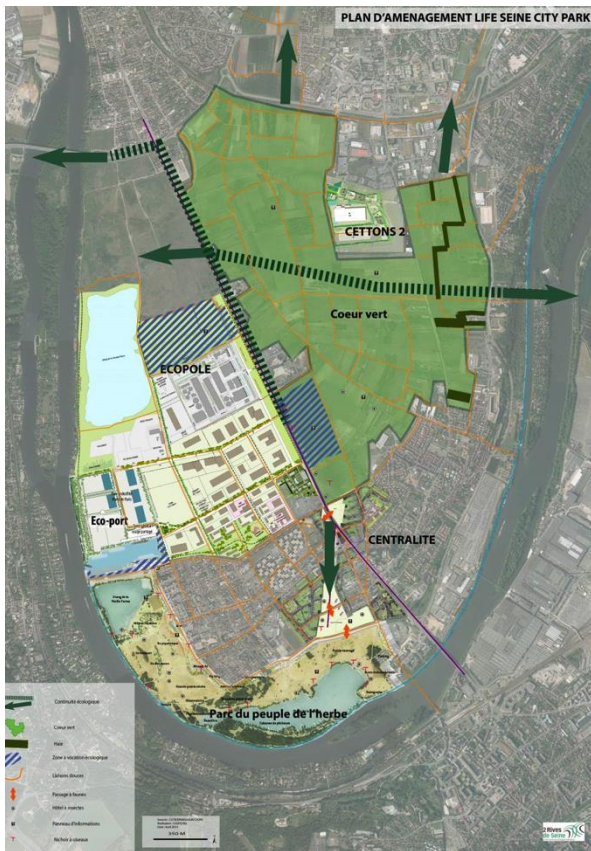
Aujourd'hui :
terrains délaissés...



Projet « Cœur Vert »

Réhabilitation des terres
Culture de miscanthus sur 150-200 ha

Développement de filières locales : chauffage, matériaux de construction, composites



Chauffage



Matériaux de construction



Composites polymères



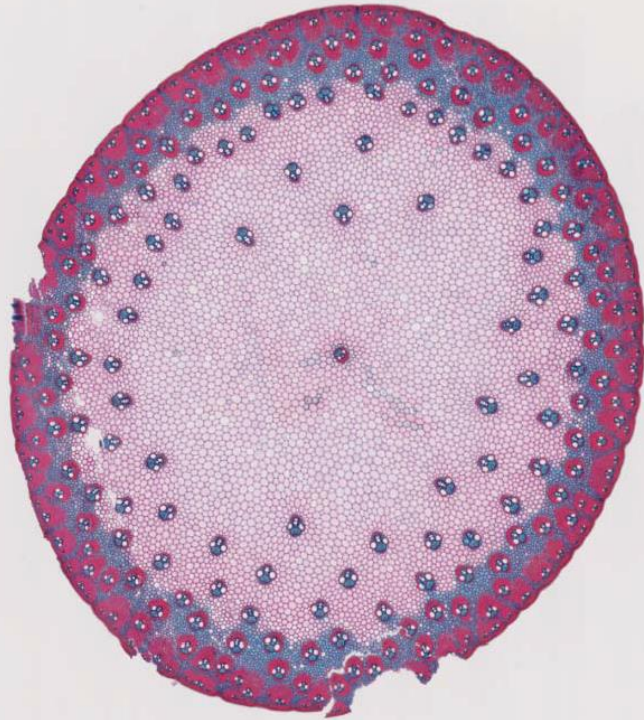
Domestication



Critères de sélection:

- ✓ Performance agronomique
- ✓ Impact sur l'environnement
- ✓ Qualité de la biomasse

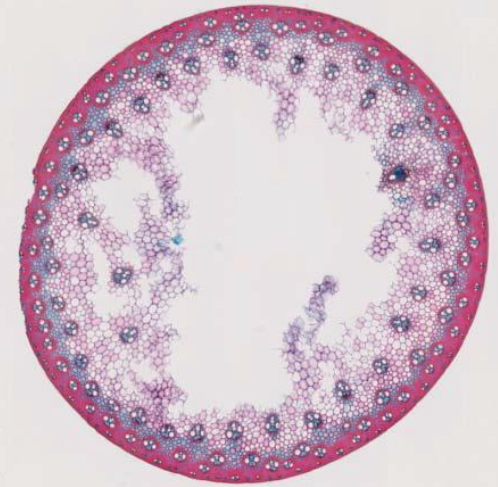
Anatomie et densité de la tige, variation naturelle



M x giganteus



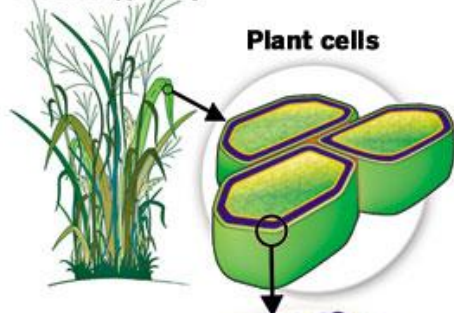
M sin. malepertus



M sin. goliath

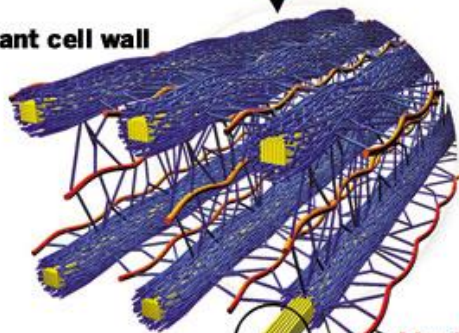
Coupes transversales de tiges

Bioenergy crop



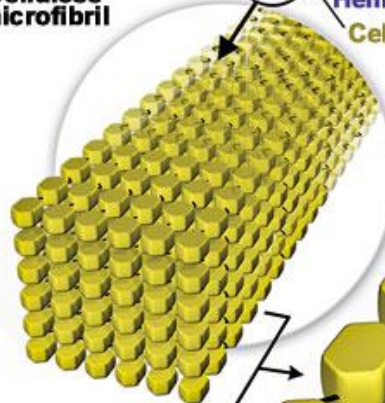
Plant cells

Plant cell wall

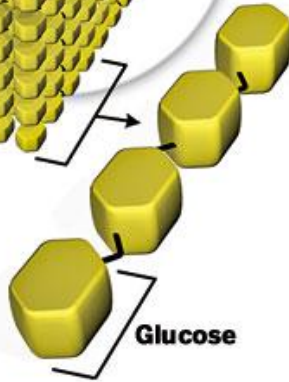


Lignin
Hemicellulose
Cellulose

Cellulose microfibril

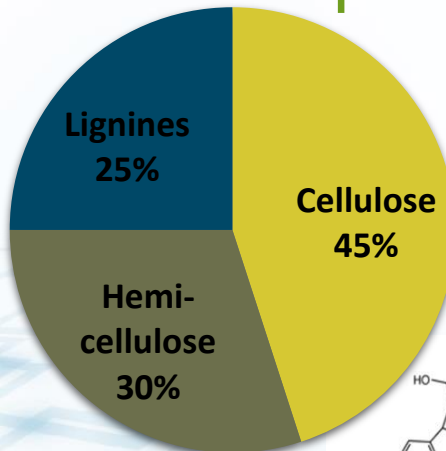


Sugar molecules

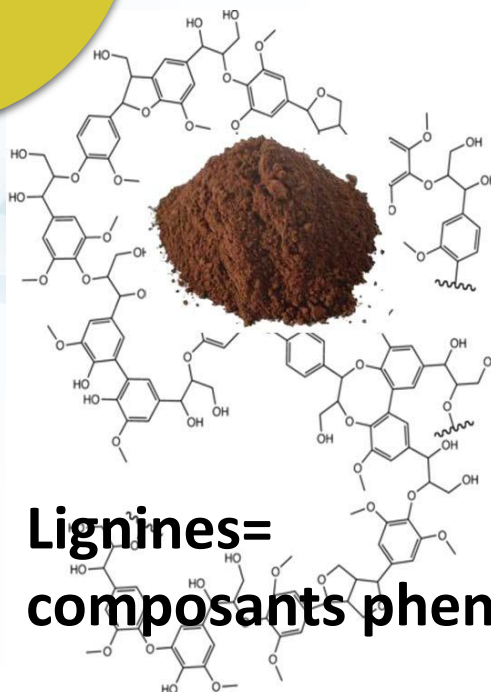


Glucose

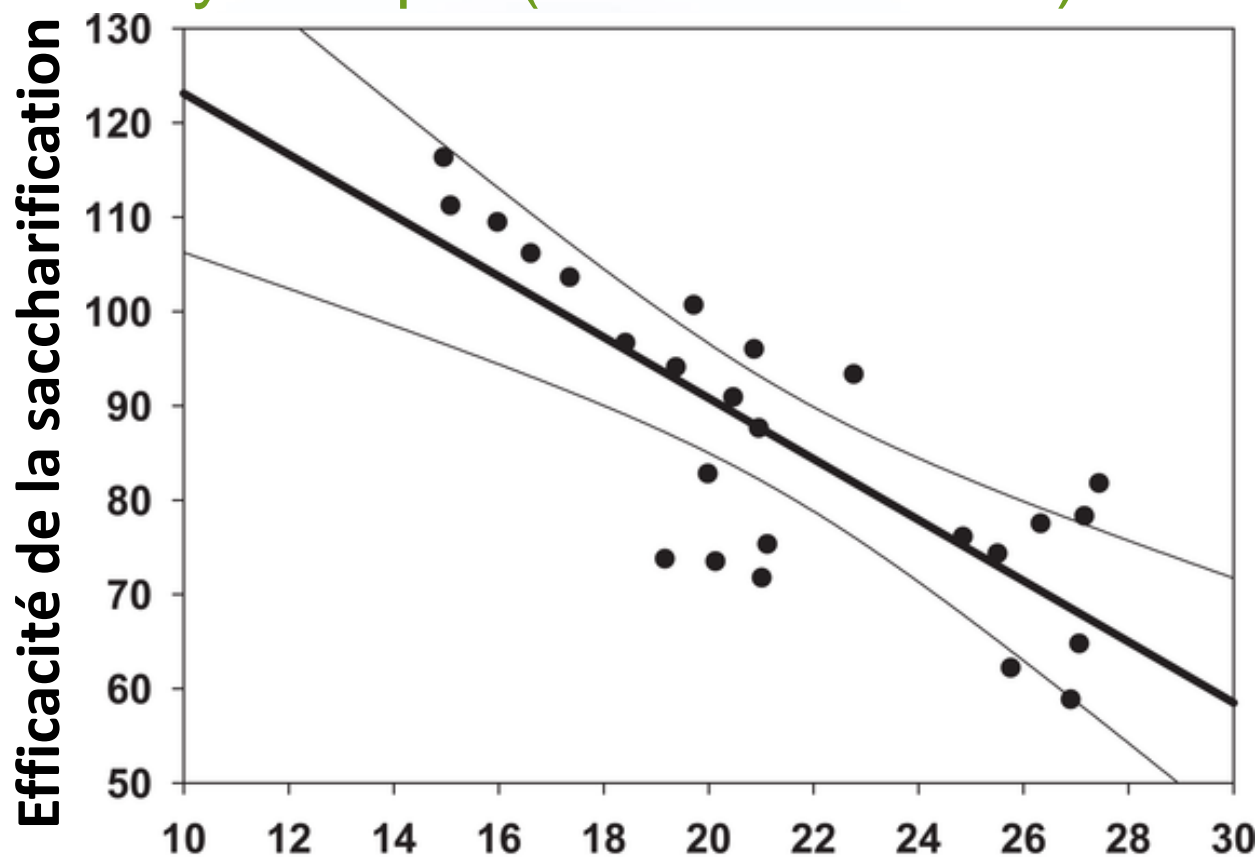
Carburants 2G: Biomasse lignocellulosique, structure hierarchique



Cellulose=sucre



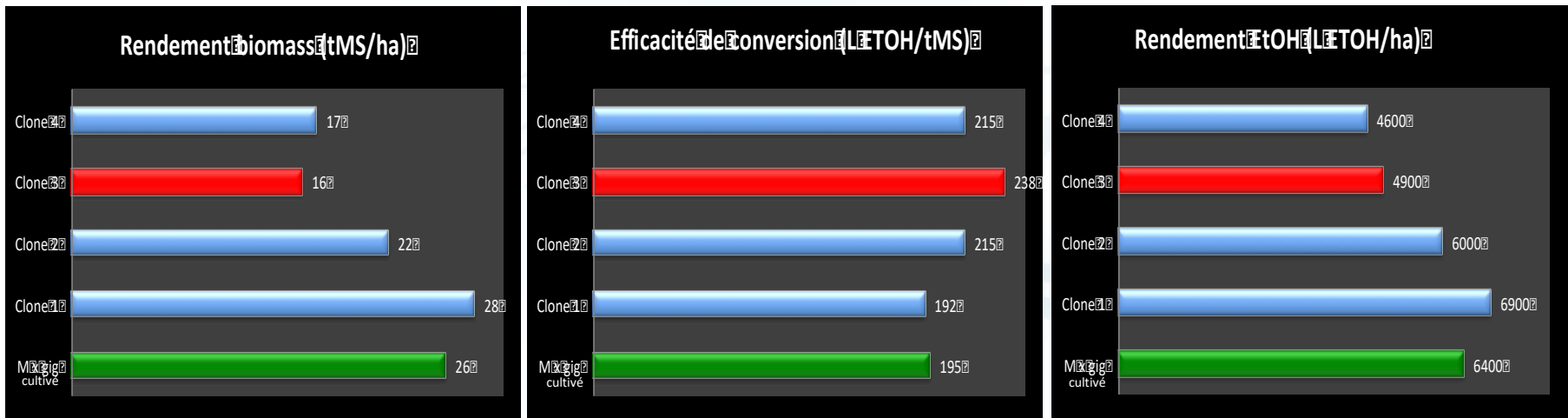
Faible teneur en lignines facilite la conversion enzymatique (saccharification)



**Teneur en lignines (% de la biomasse)
chez différentes variétés (riz)**

Ethanol 2G: efficacité de la saccharification

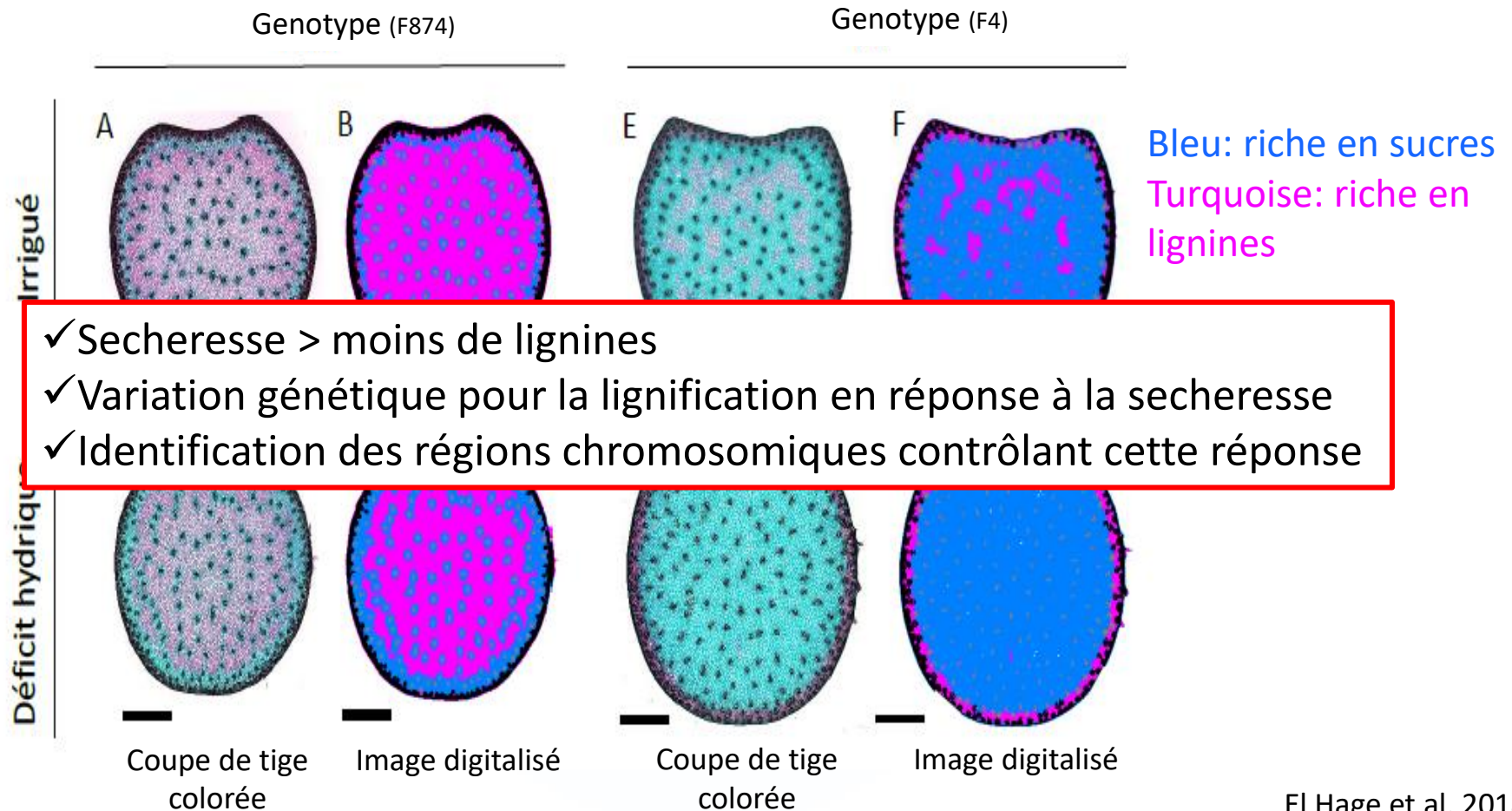
Expérience Pilote procédé FUTUROL
(70 kg de matière végétale sèche)



Variation génétique pour le potentiel de saccharification (>20%):
Optimiser rendement en biomasse et qualité

Interaction genotype-environnement affecte la qualité de la biomasse

○ Lignification des tiges de maïs: impact de la secheresse



El Hage et al. 2018

Méthanisation: variation naturelle pour l'efficacité



Tests de méthanisation au laboratoire (INRA Narbonne)



Conclusions

- Disponibilité de la biomasse, un élément clé pour les filières énergétiques
- L'apport des cultures dédiées varie en fonction des conditions locales
- Graminées C4 pérennes favorables pour la production durable de biomasse lignocellulosique
- Sorgho intéressant dans des climats méridionaux
- Besoin de création de variétés adaptées aux conditions de culture et à l'usage de la biomasse
- Miscanthus: élargir les bases génétiques, réduire les coûts d'implantation, améliorer la qualité (saccharification, densité), adaptation aux terres polluées
- Sorgho: développer des variétés adaptées à l'alimentation humaine ou animale, à la culture dérobée et aux carburants 2G, méthanisation et matériaux

Merci pour votre attention