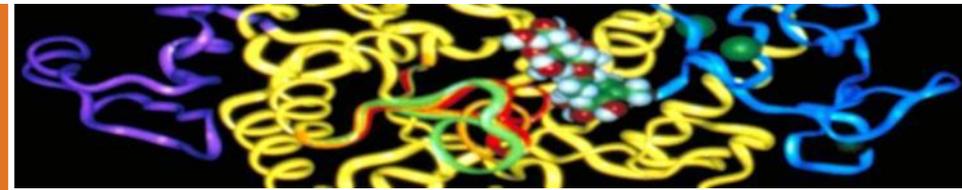


L'amélioration des cultures dédiées à la production de biomasse lignocellulosique

Herman Höfte
IJPB, INRA–AgroParisTech Versailles



Jeudi 18 avril 2013



Résumé

- Intérêt des graminées C4 pour la production de biomasse
- La domestication de ces cultures
- Le programme « Biomass for the future »
- Exemple, ingénierie du potentiel de saccharification de la biomasse

Résumé

- Intérêt des graminées C4 pour la production de biomasse
- La domestication de ces cultures
- Le programme « Biomass for the future »
- Exemple, ingénierie du potentiel de saccharification de la biomasse

Contexte français : sources de biomasse

Grenelle de l'environnement, objectif 2020 : 10 millions de tonnes d'équivalent pétrole (Mtep) de biomasse supplémentaire

Résidus agricoles : 4,3Mtep/an

Forêts : 6,2 - 10,2Mtep/an

Cultures dédiées : 1 - 5Mtep/an, équivalent de 0,23 - 1,2 Mha (0,75 - 4% de la surface agricole utile).



Quelles cultures dédiées ?

Arbres



Plantation d'Eucalyptus Brésil
Courtesy Big Lands, Brazil

Graminées pérennes



Miscanthus

Graminées annuelles



Sorghum
CIRAD

Quelles cultures dédiées ?

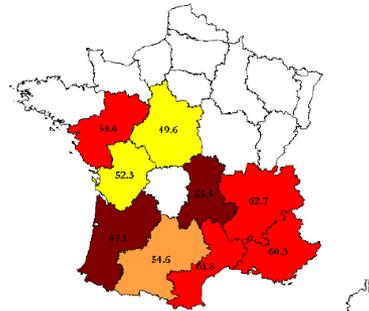
- Les graminées à métabolisme « C4 » ?
 - Fixation de CO₂ efficace tout en économisant l'eau
 - Ex. maïs, canne à sucre, sorgho, miscanthus

Sorgho fibre

- Culture annuelle
- Rendement important, 20-30 t ms/ha
- Résistance à la sécheresse, à la chaleur
- Utilisation d'eau efficace
- Adaptée au sud de la France



Rendements du sorgho en 2009



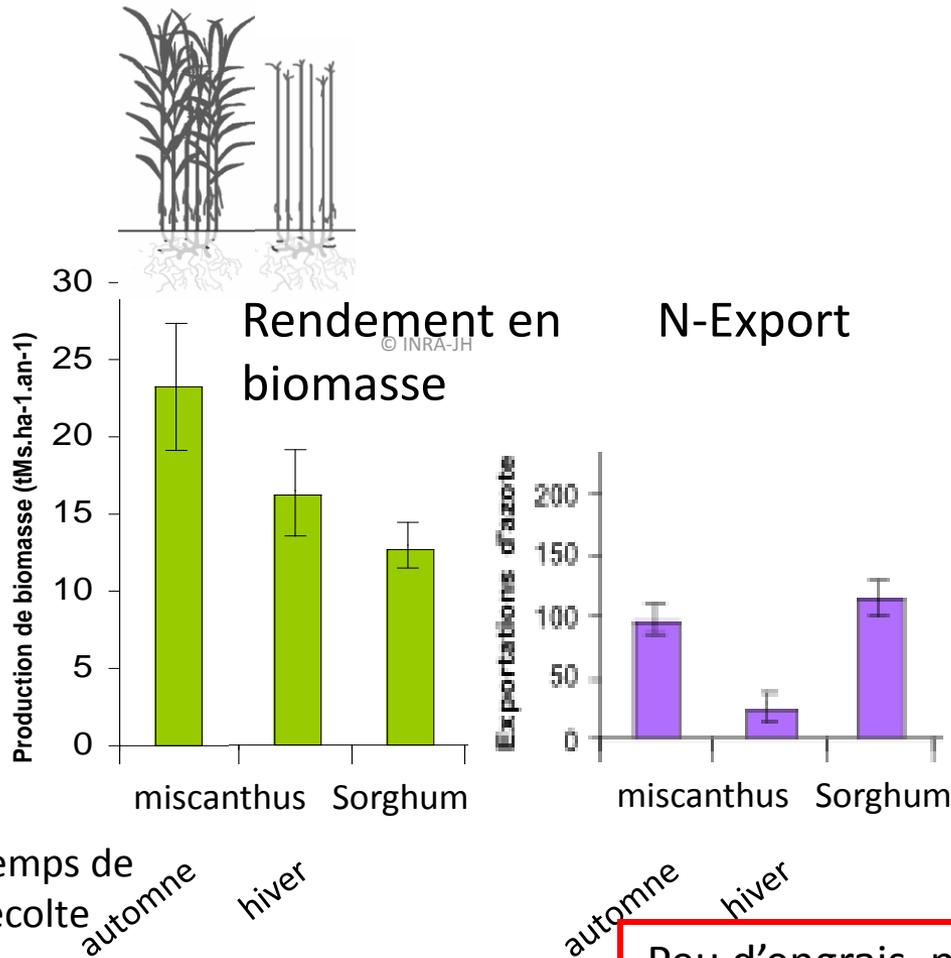
Espèce cultivée mais pas optimisée pour la production de biomasse ligno-cellulosique

miscanthus



- Culture pérenne (~15 ans)
- Rendement important : 10-30 t ms/ha
- Faible teneur en eau après récolte
- Culture « durable » :
 - ✓ Cultivable sur terres « marginales » ou polluées.
 - ✓ Stockage C dans le sol
 - ✓ Peu d'intrants

Miscanthus: recyclage de l'azote



Peu d'engrais, peu d'émission N₂O miscanthus, hiver

Stephane Cadoux, INRA Mons-Estree

miscanthus



- Culture pérenne (~15 ans)
- Rendement important : 10-30 t ms/ha
- Faible teneur en eau après récolte
- Culture « durable » :
 - ✓ Cultivable sur terres « marginales » ou polluées.
 - ✓ Stockage C dans le sol
 - ✓ Peu d'intrants

- Espèce quasiment sauvage
- Un seul clone commercialisé
- Multiplication végétative coûteuse
- Peu de recul au niveau agronomique

Résumé

- Intérêt des graminées C4 pour la production de biomasse
- **La domestication de ces cultures**
- Le programme « Biomass for the future »
- Exemple, ingénierie du potentiel de saccharification de la biomasse

La domestication des plantes



Teosinte
Ancêtre sauvage
du maïs

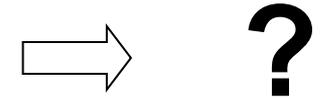
Maïs
primitifs

Variétés
modernes
de maïs

9000 ans de domestication ciblant la production de graines

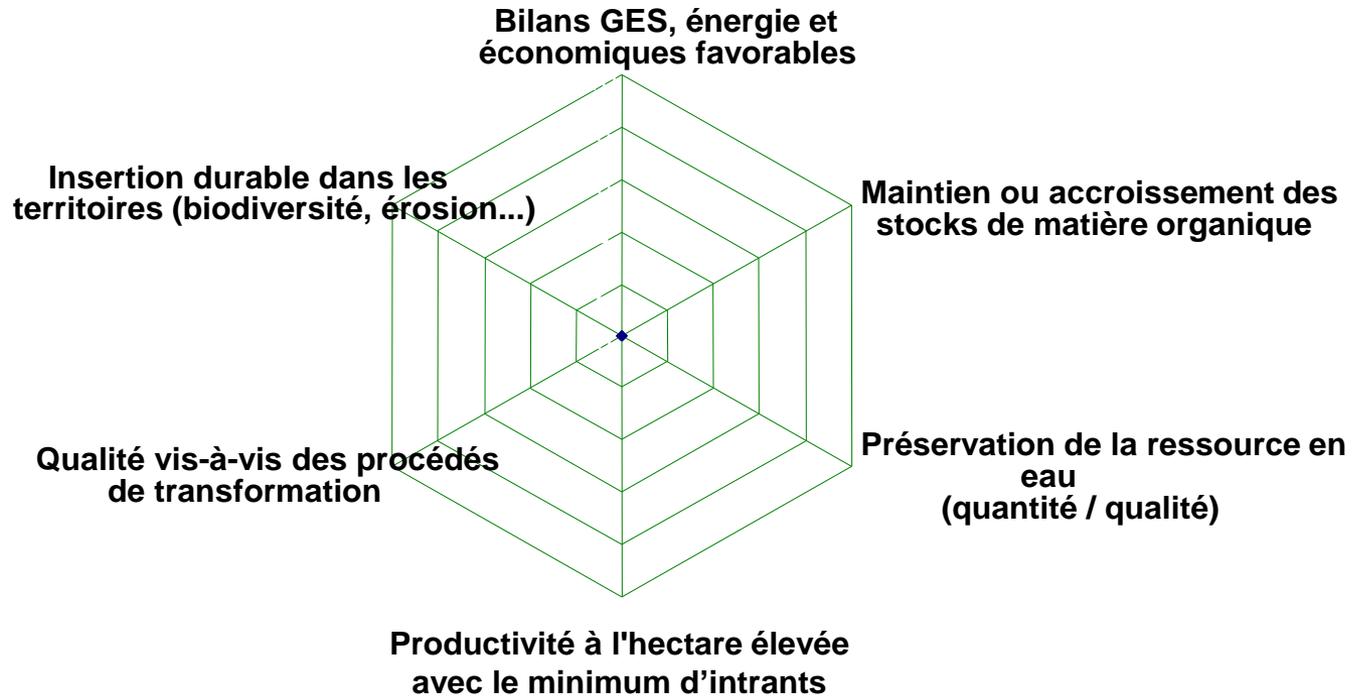


Espèces sauvages de
miscanthus



Une domestication accélérée ciblant la production de biomasse

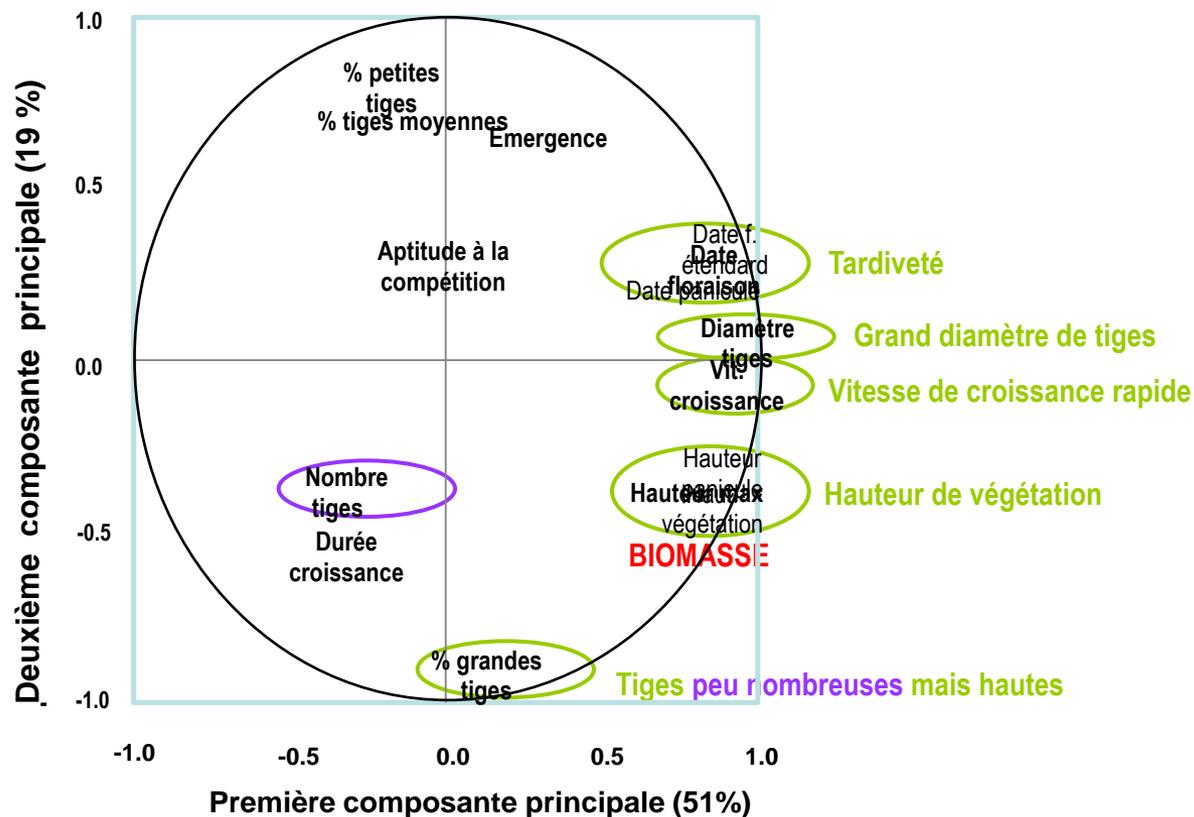
La sélection doit concilier production / qualité / impacts



⇒ Intégration multicritère pour l'évaluation/conception de systèmes

⇒ Leviers **agronomiques, génétiques et technologiques**

Rendement en biomasse : paramètres critiques

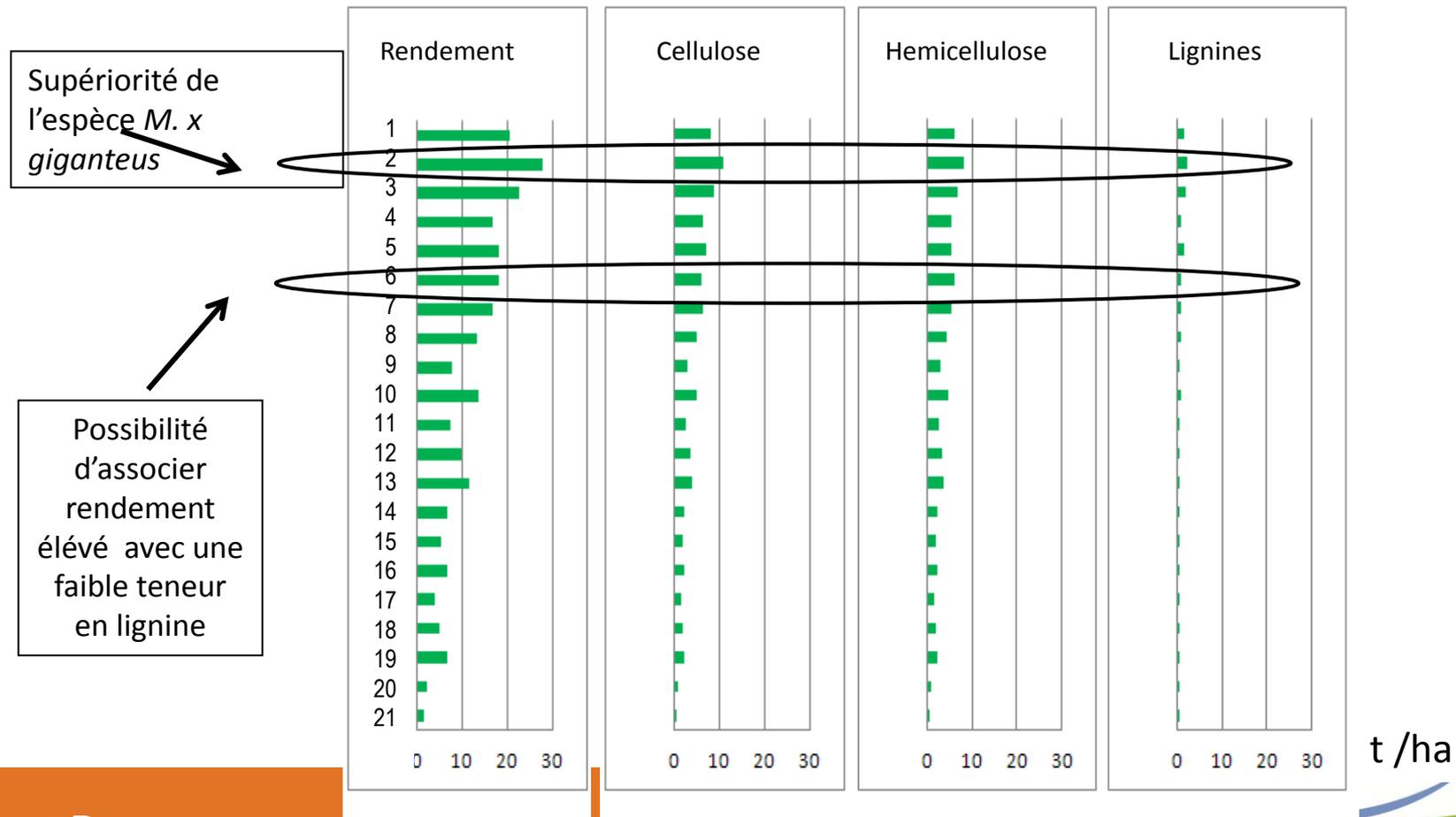


Zub et al, 2011

Production biomasse aérienne favorisée par la tardiveté, la hauteur de plante, des tiges peu nombreuses mais grosses et une croissance rapide

Composition de la biomasse: leviers génétiques

Rendements en biomasse aérienne et composition biochimique de plusieurs clones de miscanthus cultivés dans le Nord de la France



Résumé

- Intérêt des graminées C4 pour la production de biomasse
- La domestication de ces cultures
- **Le programme « Biomass for the future »**
- Exemple, ingénierie du potentiel de saccharification de la biomasse

Programme investissements d'avenir: « Biomass for the future »



Objectifs:

- Promouvoir des **filières locales** basées sur la biomasse ligno-cellulosique à partir du **miscanthus** et du **sorgho**, visant la **combustion**, la **méthanisation**, les **bio-matériaux** et les **bio-plastiques**
- Développer de **nouvelles variétés** et de **systèmes de culture**, améliorés pour le **rendement**, une **qualité** adaptée aux applications industrielles (biocarburants et chimie verte inclus) et un **faible impact environnemental**
- Période : Sept 2012 – Déc 2019
- Budget : 28 M€ dont 10 M€ de subvention

BFF, le partenariat



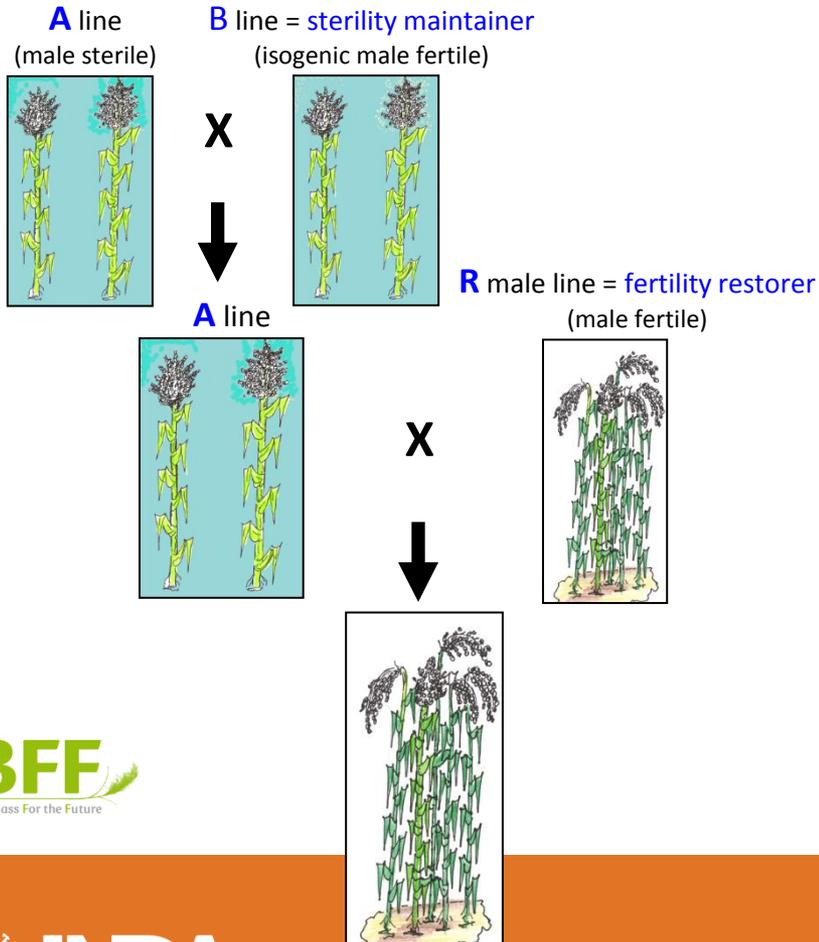
Cultures

Utilisations industrielles



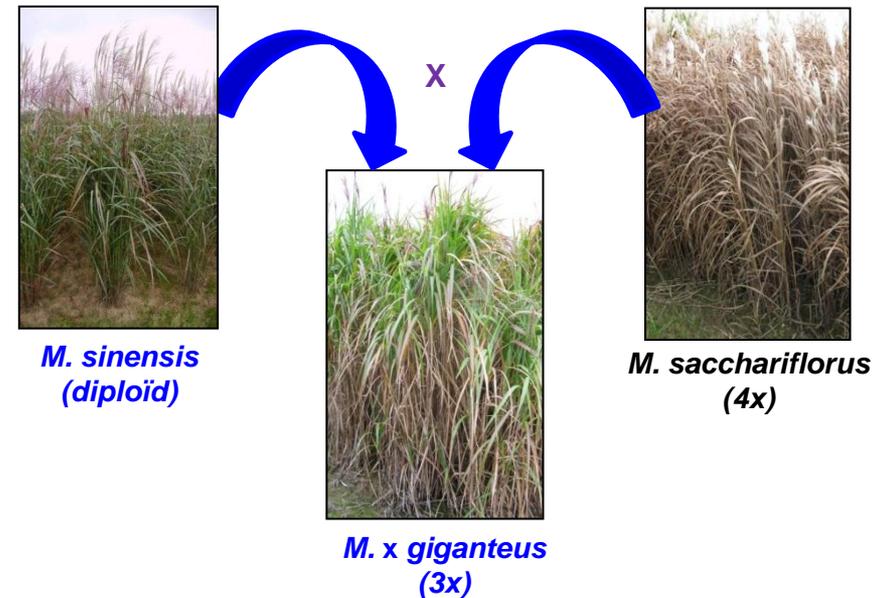
Sorghum et miscanthus: amélioration

Sorghum bicolor hybrides



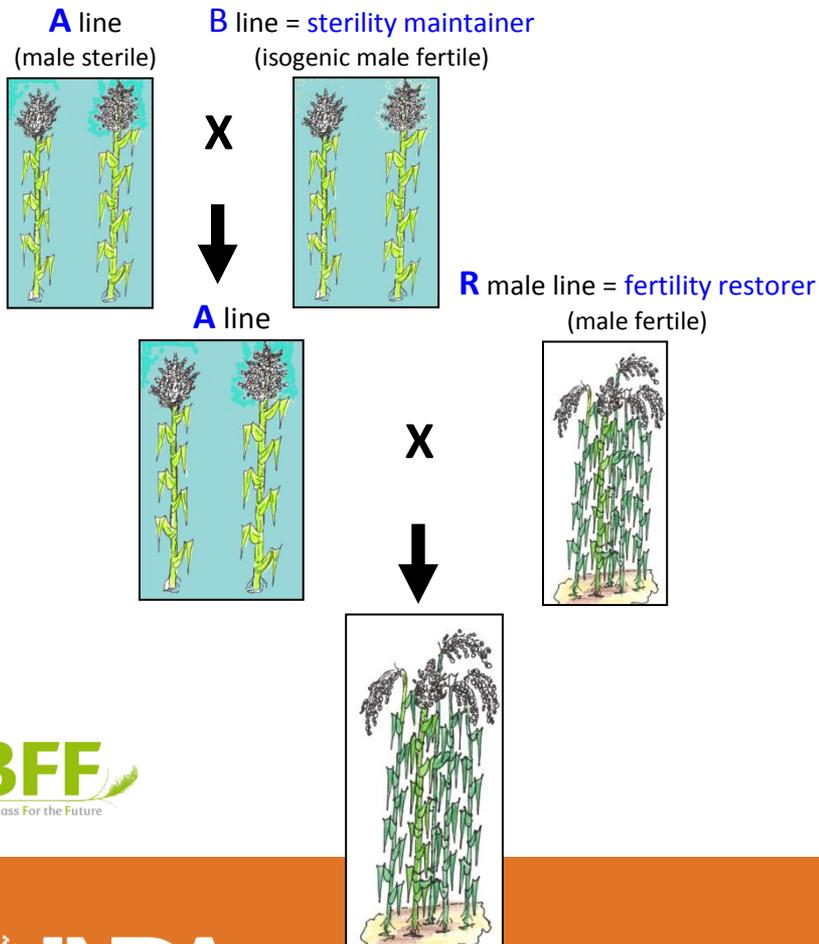
Miscanthus clones

Miscanthus x giganteus: hybride interspécifique,



Sorghum et miscanthus: amélioration

Sorghum bicolor hybrides

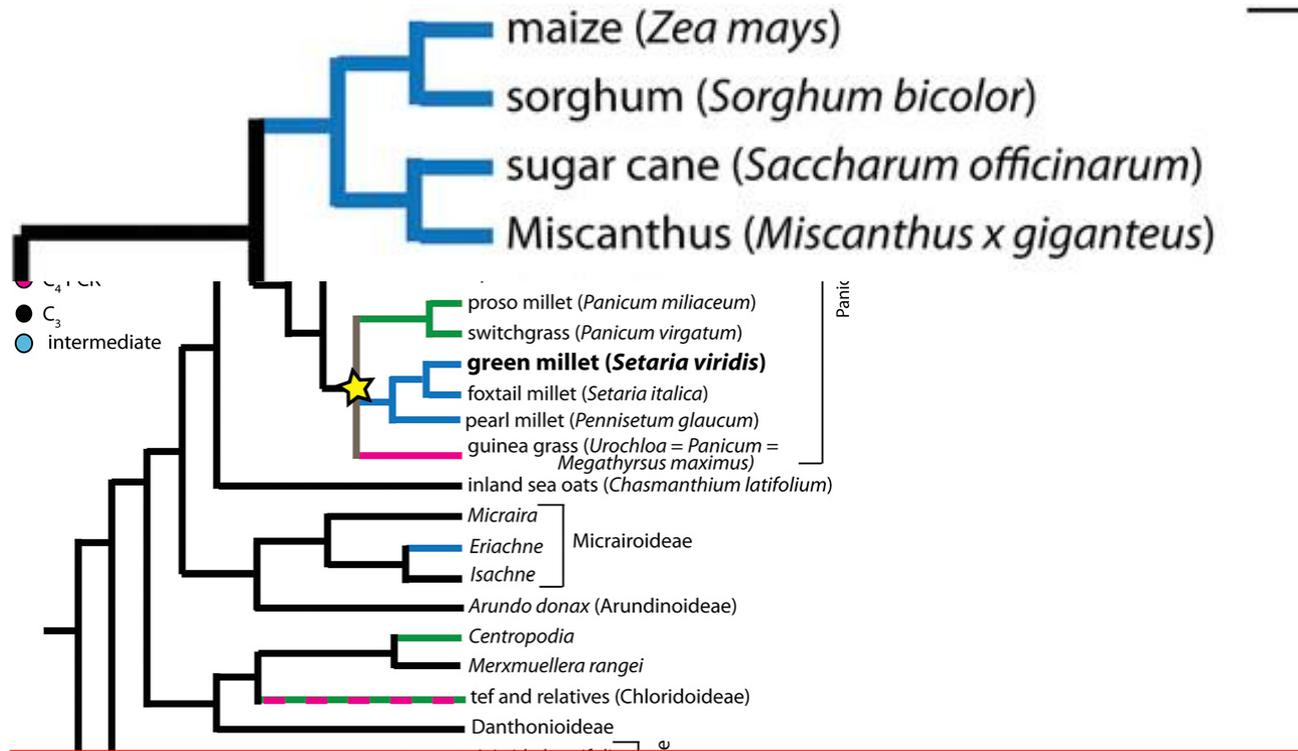


Miscanthus objectives

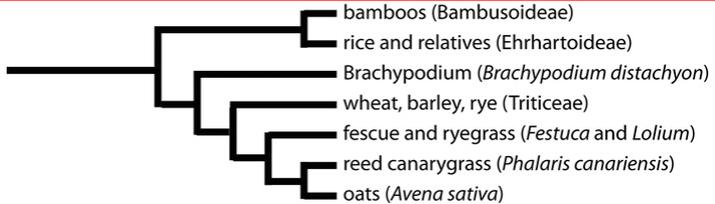
Nouveaux hybrides inter-spécifiques, propagation clonale

Hybrides intra-spécifiques (*M. sinensis*) stériles, propagation par graines

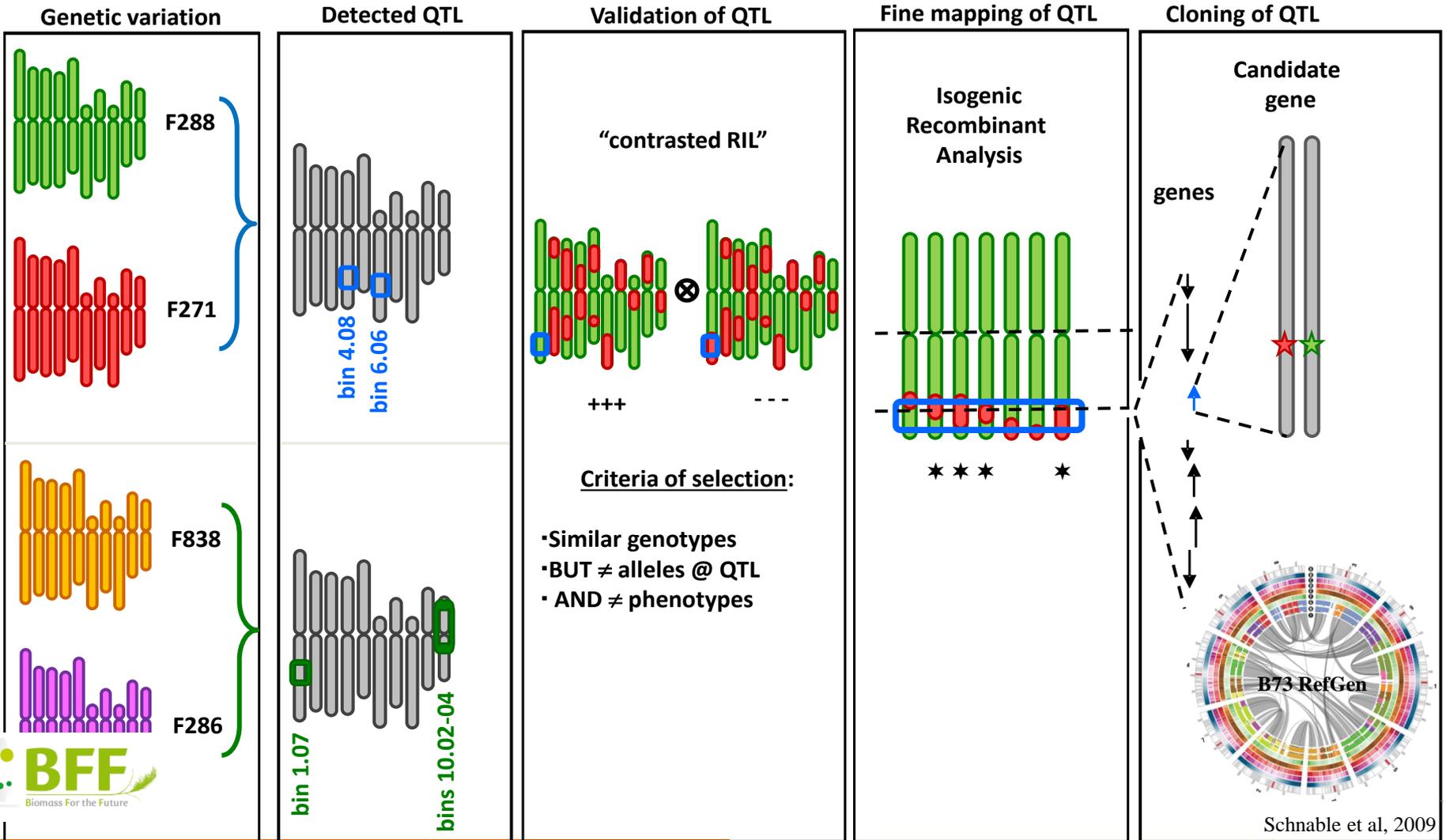
Génomique comparative



Proximité évolutive du maïs, sorgho et miscanthus



Maïs: QTLs de digestibilité de la biomasse



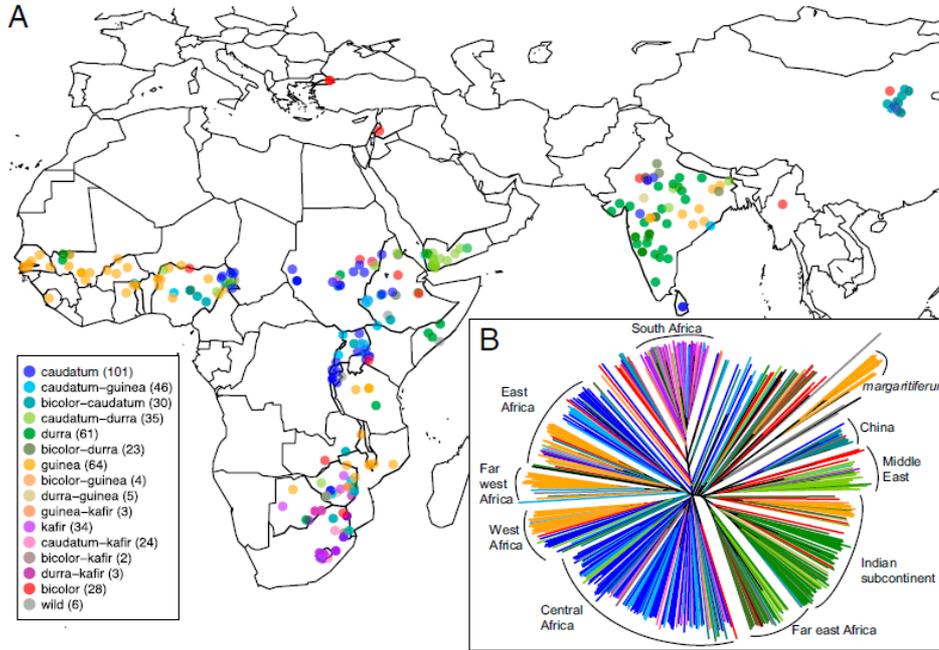
M. Reymond, V. Méchin, Y Barrière, INRA Versailles



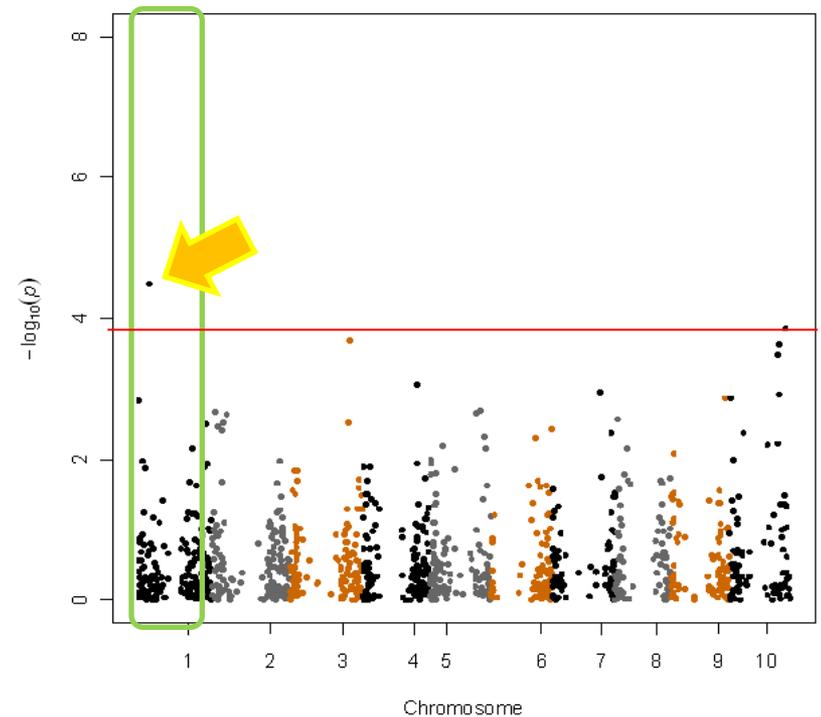
DE L'INNOVATION AGRONOMIQUE

Génomique comparative

Sorghum bicolor: diversité naturelle

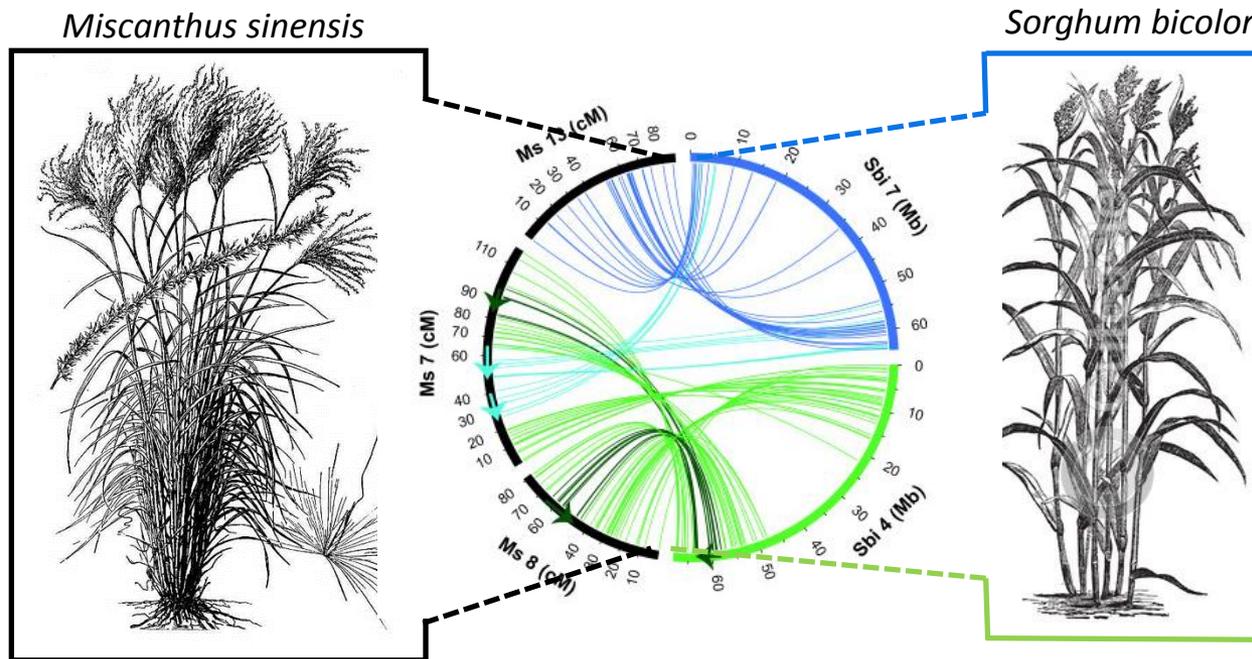


Genome-wide association mapping



Génomique comparative

Colinéarité des génomes maïs, sorgho et miscanthus: identification des gènes d'intérêt chez miscanthus

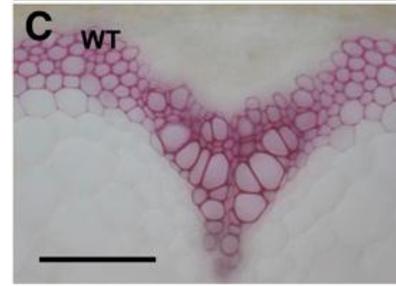
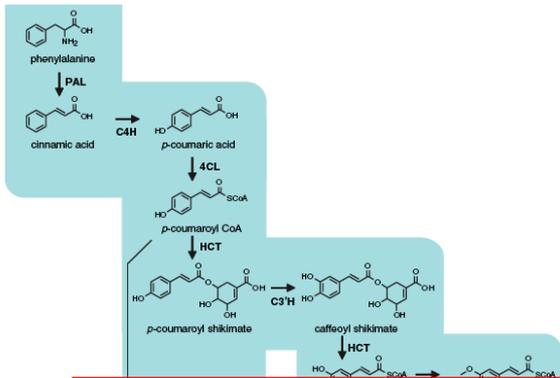


Résumé

- Intérêt des graminées C4 pour la production de biomasse
- La domestication de ces cultures
- Le programme « Biomass for the future »
- **Exemple, ingénierie du potentiel de saccharification de la biomasse**

L'ingéniérie du potentiel de saccharification

Arabidopsis thaliana

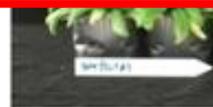


Les lignines sont nécessaires pour l'intégrité des vaisseaux conducteurs



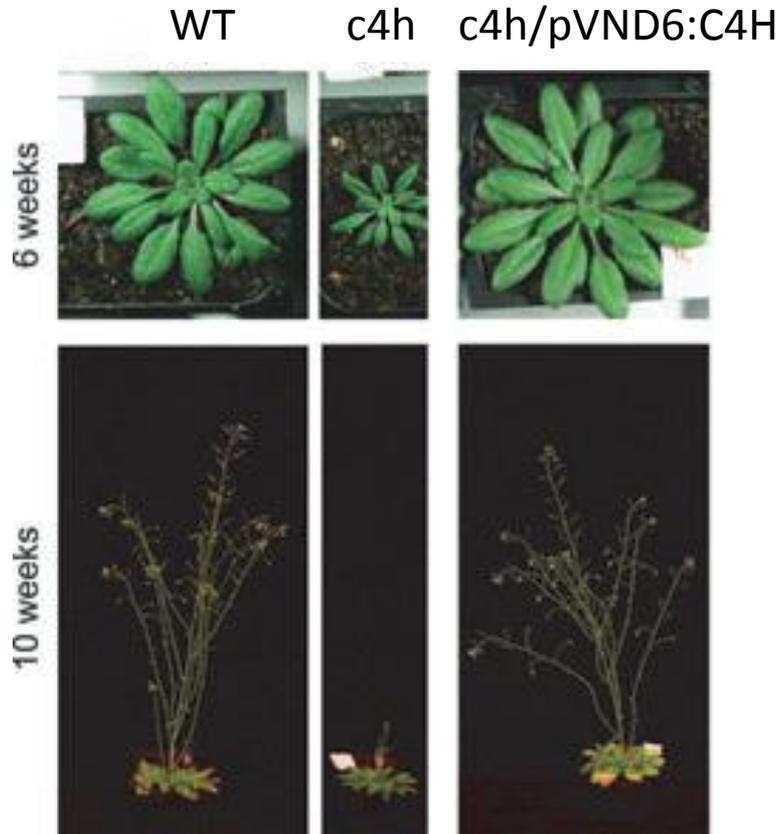
Les laccases catalysent la polymerisation oxidative des lignines

Mutant lac4/lac17:
Moins de lignine,
Saccharification + 50%,
Mais xylème collapsé



Berthet et al 2011

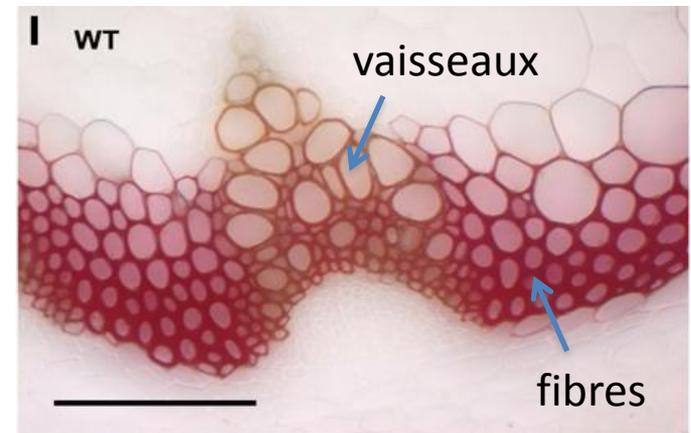
La biologie synthétique à la rescousse



Mutant (*c4h*) avec peu de lignine est nain

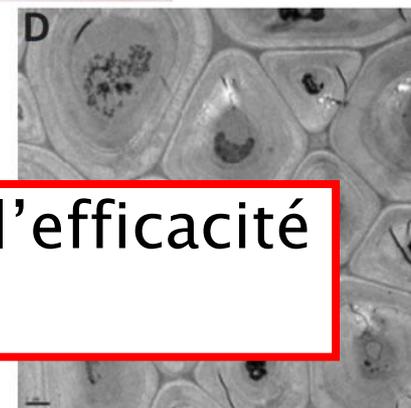
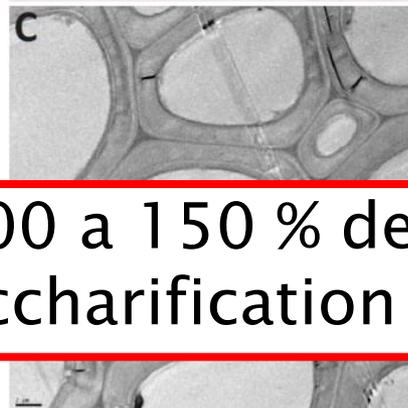
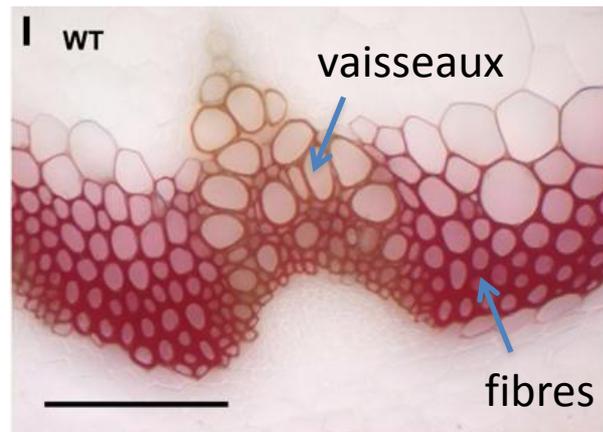
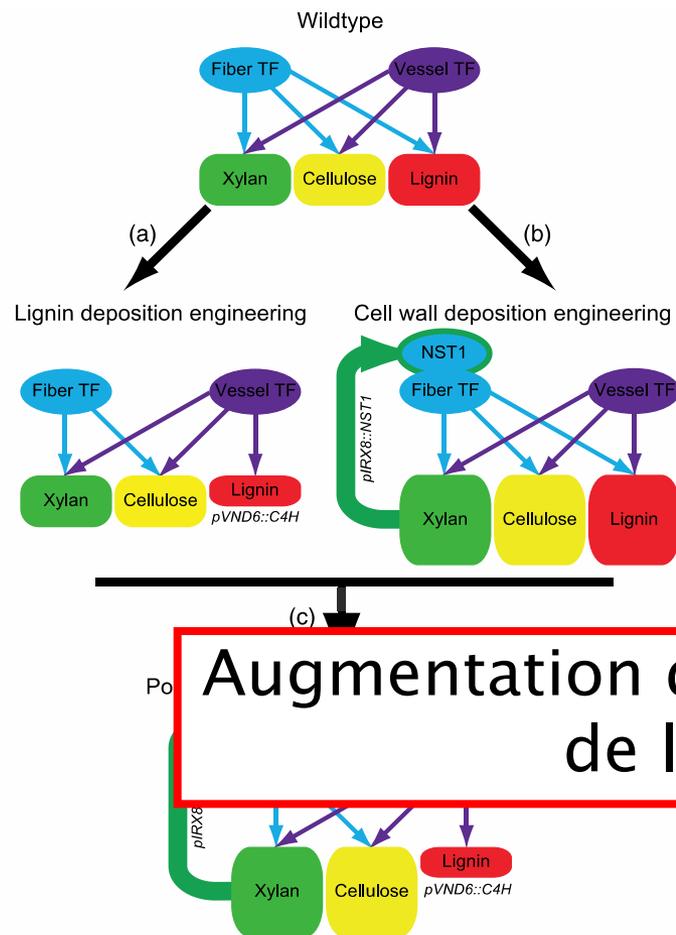
Complémentation du mutant avec le gène *C4H* sous contrôle d'un promoteur vaisseau-spécifique (pVND6:C4H).

- Quantité de lignine normale dans les vaisseaux, peu de lignine dans les fibres,
- Croissance de la plante normale



Yang et al. 2012 Plant Biotechn J.

Densification des tissus



Plante témoin

Plante modifiée

Fibres

Yang et al. 2012 Plant Biotechnol J.

Conclusions

- Miscanthus and sorgho: des bons candidats pour des cultures dédiées
- L'amélioration vise le rendement, l'impact sur l'environnement et l'adéquation de la biomasse aux usages
- Les avancées en séquençage (NGS) et en génomique comparative permettent l'accélération de la domestication
- La biologie synthétique permet de cibler certains types cellulaires pour la modification de la paroi

Remerciements

- Maryse Brancourt, Hubert Boizard, INRA (Mons–Estrée)
- Matthieu Reymond, Valérie Méchin, Yves Barrière, Richard Sibout, Lise Jouanin, Catherine Lapierre INRA (Versailles, Lusignan)
- David Pot, CIRAD
- Dominique Loqué, JBEI, Berkeley.

