

Vers des systèmes de culture dédiés à la production de biomasse

Concilier productivité et environnement



Stéphane Cadoux – INRA Agro-Impact

Sommaire



- **Les changements globaux** : quelles conséquences pour le développement d'une stratégie « biomasse »
- **Cultures dédiées à la production de biomasse** : performances des systèmes candidats
- **Positionnement des cultures dans les exploitations et le territoire** : faire converger les objectifs

Les changements globaux : conséquences pour le développement d'une stratégie « biomasse »

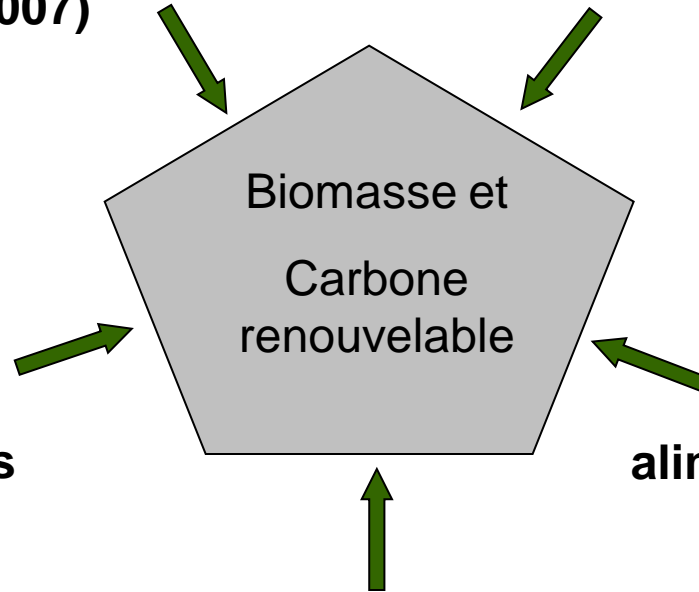


Le contexte global

**Défi climatique : +2°C à +6°C
en 2100 (IPCC 2007)**

**Diminution des réserves
fossiles**

**2050
9 M habitants**



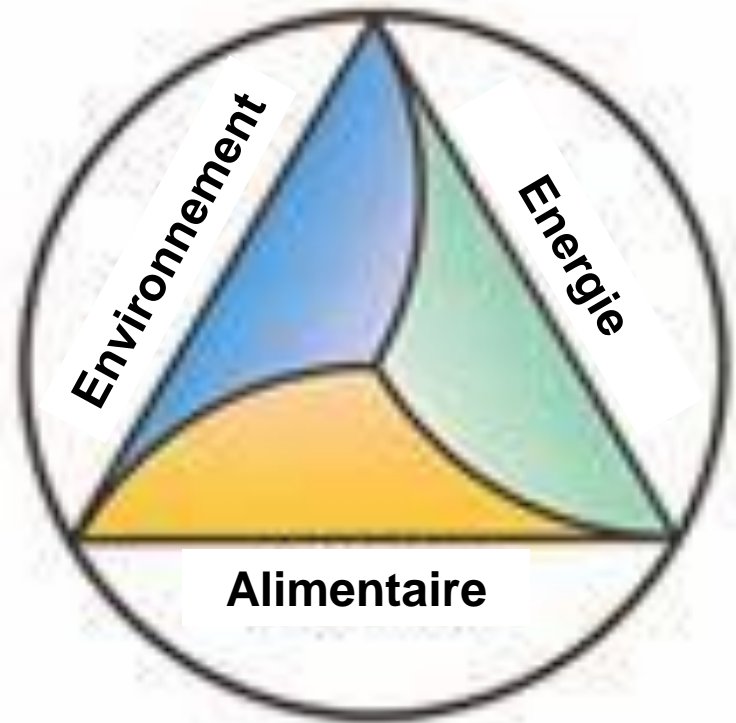
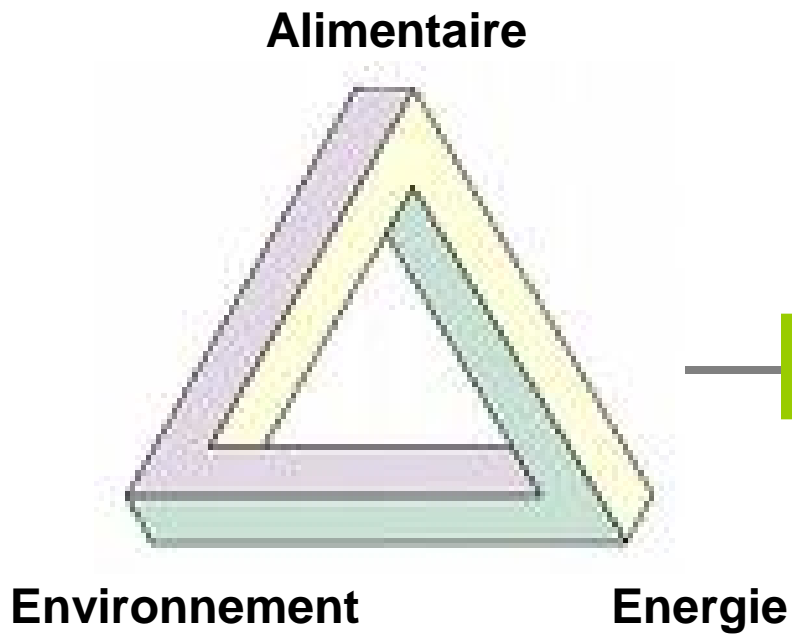
**Compétition
alimentaire / non alimentaire**

**Défi environnemental
(Impacts a l' échelle globale et locale)**

Les Enjeux pour l'agriculture

- L'agriculture a une part de responsabilité dans les émissions de Gaz à Effet de Serre
- L'agriculture pourrait particulièrement être affectée par les changements climatiques
- Nouveau débouché avec un contexte « favorable » à long terme et une image environnementale positive
- Diversifier les rotations avec de nouvelles cultures
- **L'agriculture, avec la forêt, est la seule source de carbone renouvelable**

Le défi pour l'agriculture



Un équilibre difficile à trouver...

... Des synergies nécessaires

Conséquences pour la production de biomasse

- Les surfaces disponibles seront limitées
 - ✓ Élargir l'assiette de la biomasse mobilisable : bois, résidus de culture ou forestiers, déchets urbains ou industriels
 - ✓ Augmenter le rendement à l'hectare (colza : 1,1 tep/ha ; betterave : 4,3 tep/ha)
 - ✓ Valoriser des terrains non utilisés / non utilisables (sites contaminés, bassins d'alimentation de captages d'eau, terrains improductifs...)
- La biomasse doit s'envisager comme contribution partielle au panel d'énergies renouvelables

Conséquences pour la production de biomasse

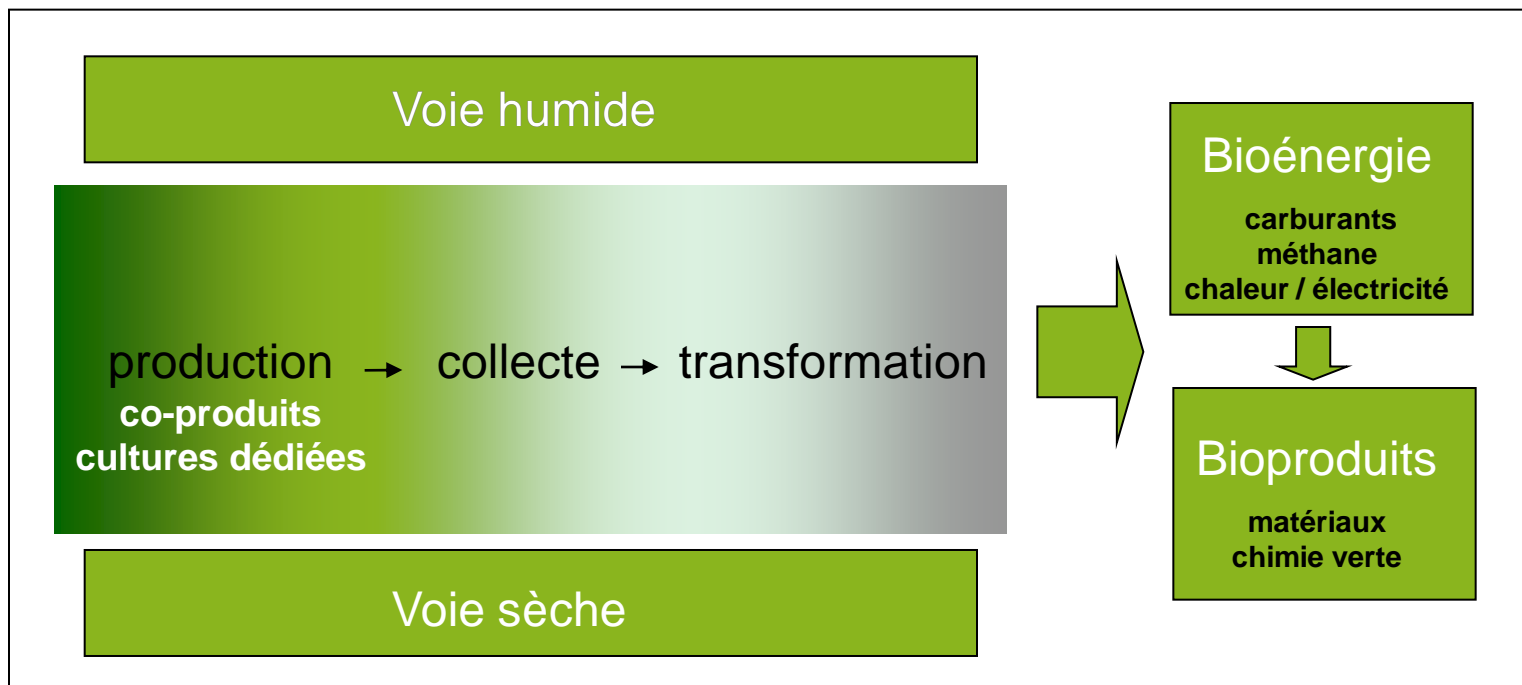
- Les filières n'émergeront que sous la condition de répondre à de fortes exigences environnementales, exemple de la directive ENR 2009 :
 - ✓ Bilans gaz à effet de serre (GES) des biocarburants positifs
Au moins 35 % de réduction en 2009, 50% en 2017, 60% au delà
 - ✓ Limitation des changements d'usage des sols
Pas de biomasse cultivée sur des terres présentant une grande diversité biologique et/ou un stock de carbone important
 - ✓ Faibles impacts environnementaux à l'échelle locale
Respect des directives environnementales appliquées à l'alimentaire

Vers de nouvelles filières agricoles de production de biomasse

- Transformer l'ensemble du végétal et/ou valoriser les co-produits : biocarburants 2G, bioraffinerie
 - ✓ Éthanol de canne à sucre sans valorisation des bagasses : 3,9 tCO₂ évitées ; avec valorisation des bagasses : 8,7 tCO₂ évitées
- Élargir le choix des plantes candidates :
 - ✓ Espèces productives en plante entière
 - ✓ Espèces permettant d'améliorer les bilans environnementaux
 - ✓ Espèces adaptées à différentes conditions de sol et de climat
 - ✓ Diversifier les rotations
- Optimiser les pratiques culturales en fonction du milieu pour concilier production et impacts environnementaux

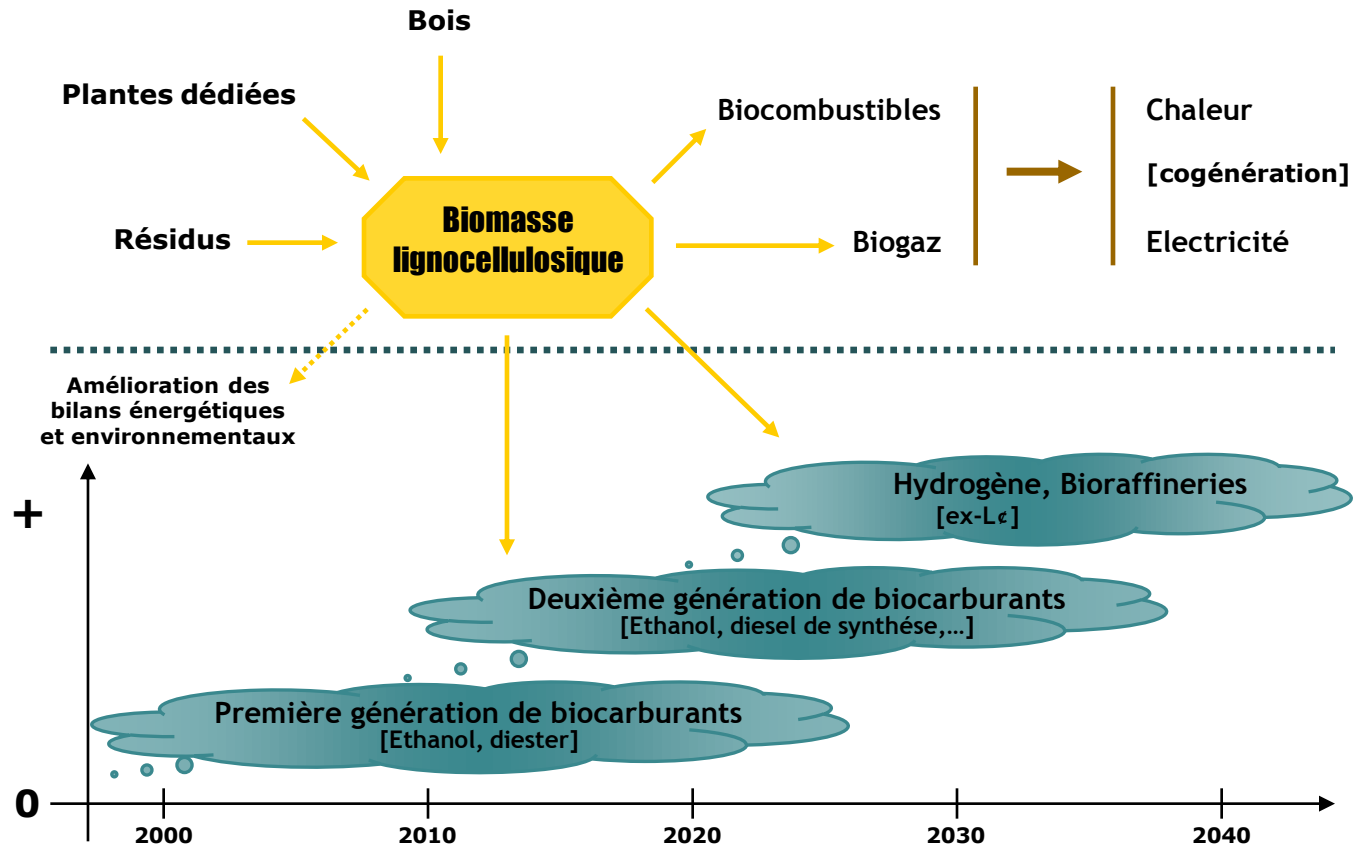
Le secteur « CARBIO »

Carbone Renouvelable et BIO-industries



Evaluation multi-critère territorialisée

Perspectives



© Inra / J. Cormeau

(Cormeau et Gosse 2006)



Cultures dédiées à la production de biomasse :

performances des systèmes candidats



Panorama des plantes candidates

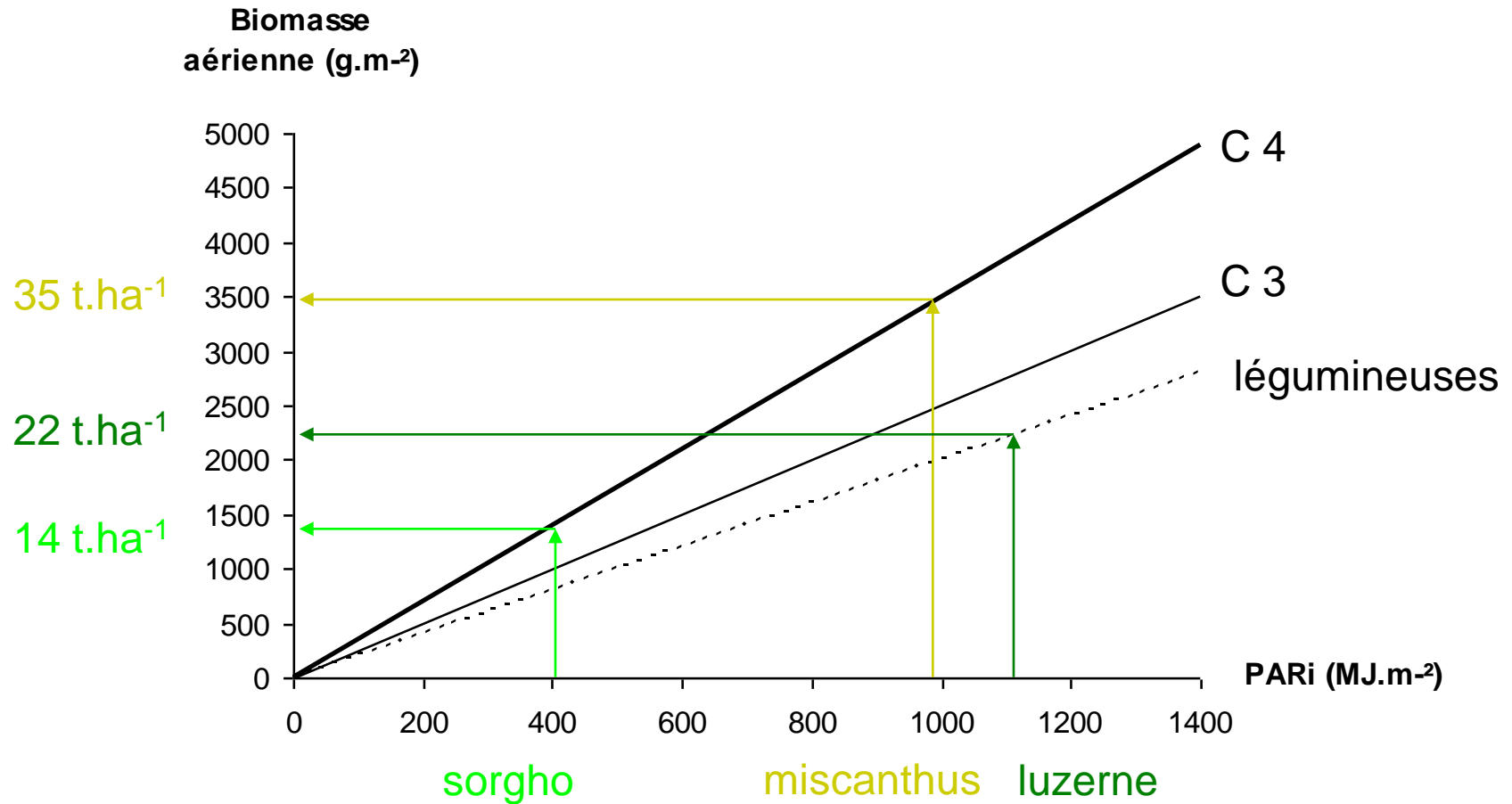
		C3	C4
Annuelles	1 fois / an	Céréales a paille : triticale, blé, seigle Plantes à fibre : chanvre, lin, kénaif	Annuelles d'été : sorghos, maïs
Pérennes	x fois / an	Graminées fourragères : fétuque, ray-grass Légumineuses : luzerne	
	1 fois par an	Roseaux : phalaris, phragmite Herbacées : canne de provence	Herbacées : miscanthus, switchgrass
	1 fois tous les x ans	Taillis à courte rotation : saule, peuplier, robinier	

Critères de choix des plantes

- Productivité à l'hectare
- Qualité vis-à-vis des procédés visés
- Réduction des impacts environnementaux (à l'échelle globale et locale)
- Bilan énergétique élevé
- Capacité d'insertion dans les systèmes de culture en place

Production maximale d'un couvert végétal

Production = Rayonnement * rendement de conversion

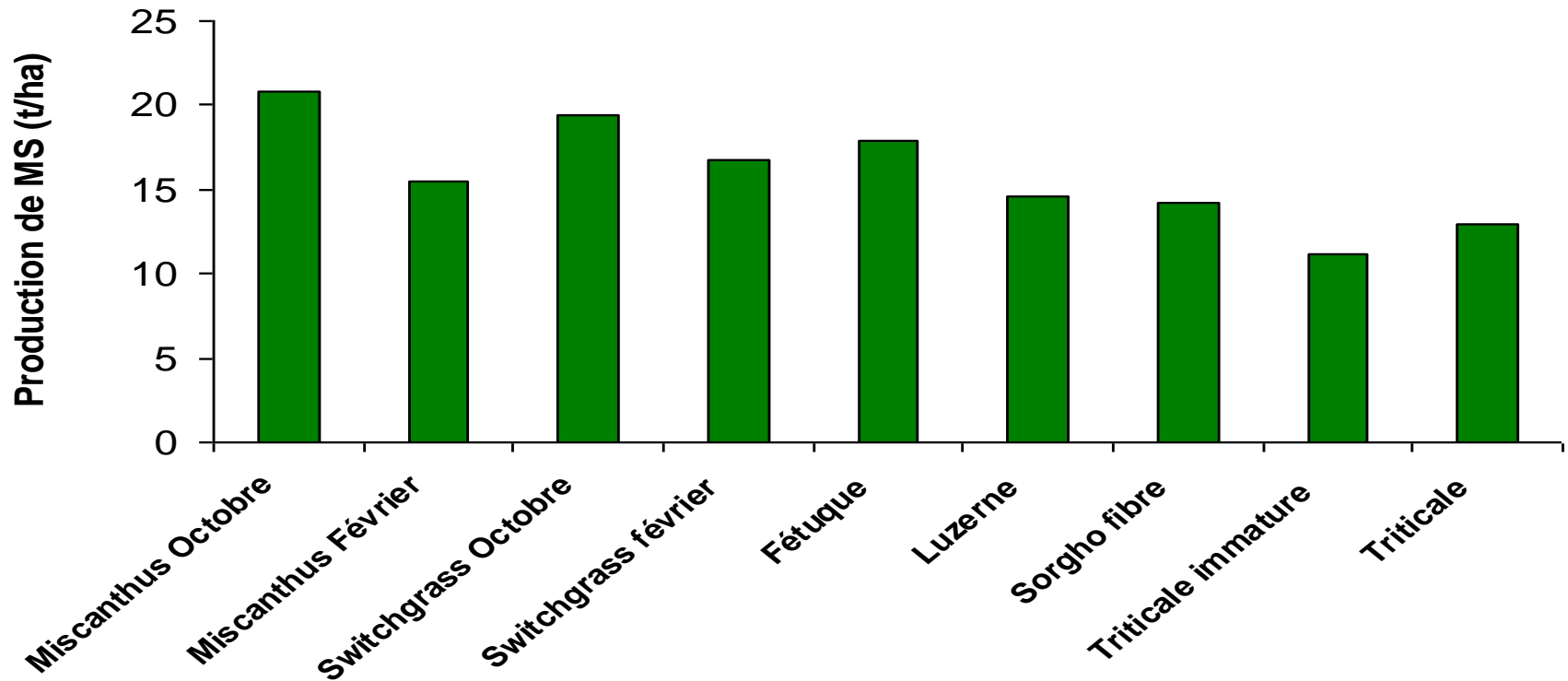


(D'après Gosse *et al.* 1986,

Adaptation au rayonnement absorbé à Estrées-Mons en 2007 et rendements potentiels associés)



Productions observées en 2007 sur le dispositif B&E d'Estrées-Mons



(Source : rapport REGIX 2007)

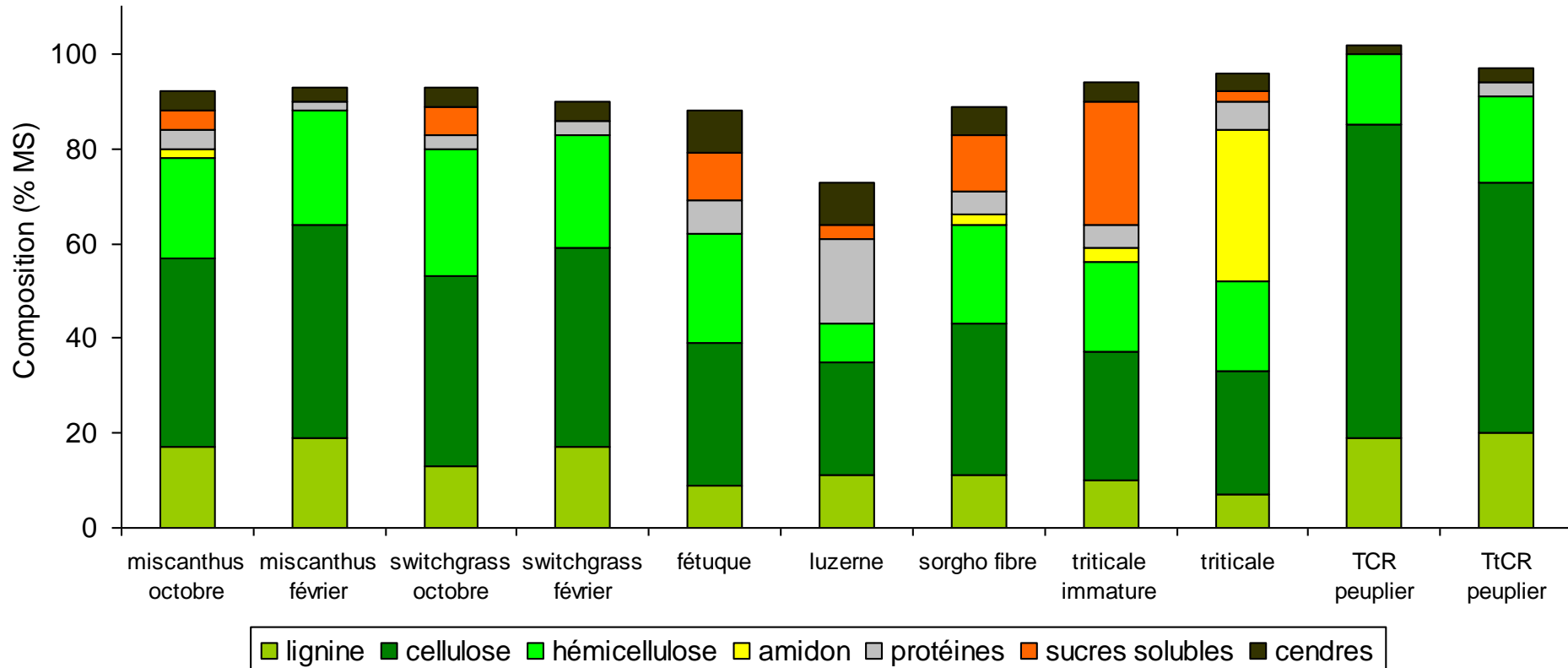
Sensibilité aux facteurs limitant

	Facteur limitant eau	Facteur limitant azote
Miscanthus	+++	-/+
Switchgrass	+ / ++	+
Fétuque	++	+++
Luzerne	++	--
Sorgho	+ / ++	+
Maïs	+++	++
Triticale	++	++

(D'après Cherney *et al.* 1991 et Heaton *et al.* 2004)

Caractéristiques de la biomasse produite

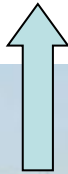
composition biochimique
réseau expérimental REGIX 2007



(projet REGIX, 2007, non publié)

Les impacts environnementaux

Air : N2O



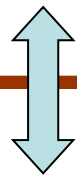
Bilan
énergétique
et GES



Biodiversité,
Erosion, etc.



Sol : évolution
stock MO



Eau : qualité
(NO3, pesticides)

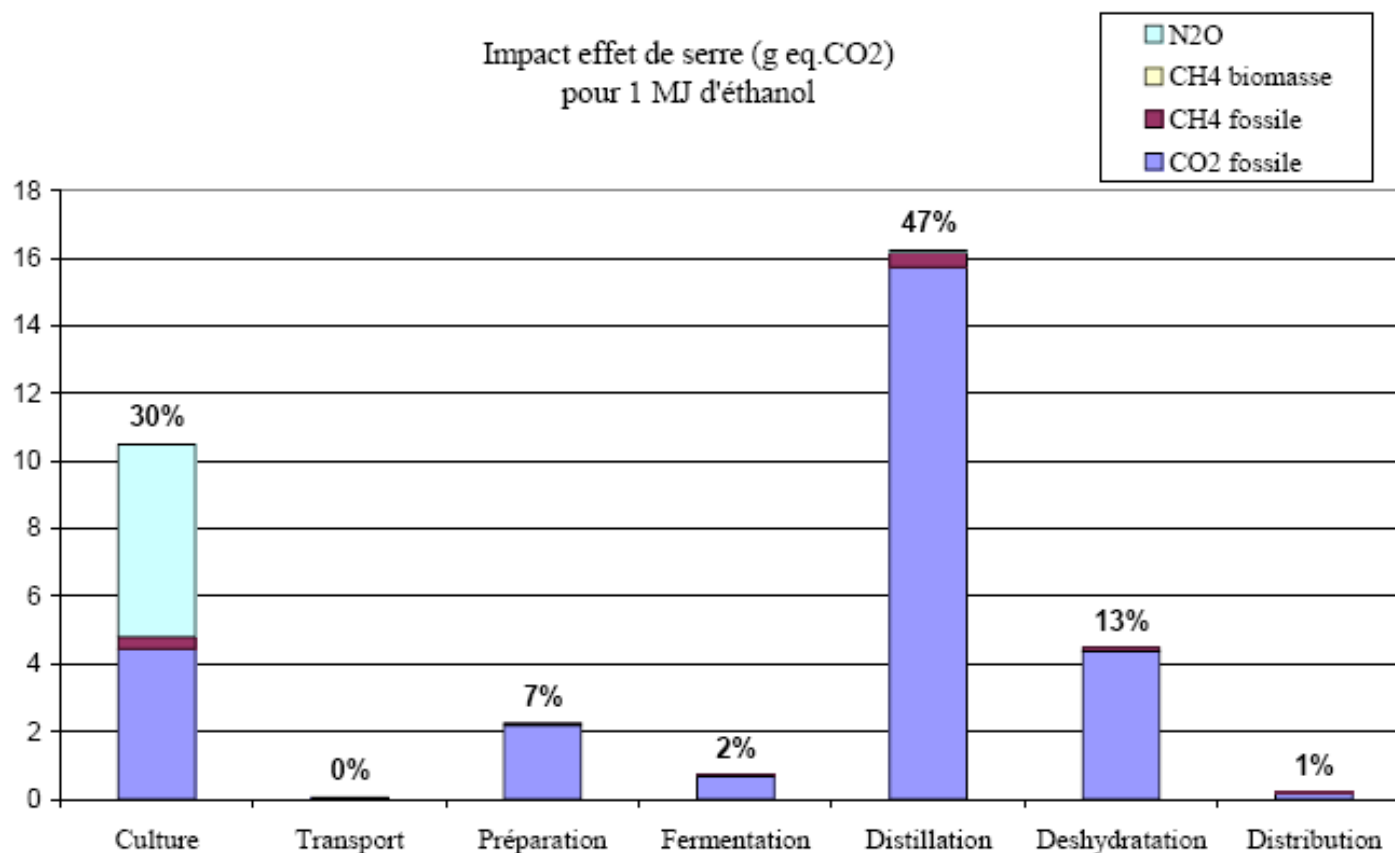


Eau : quantité



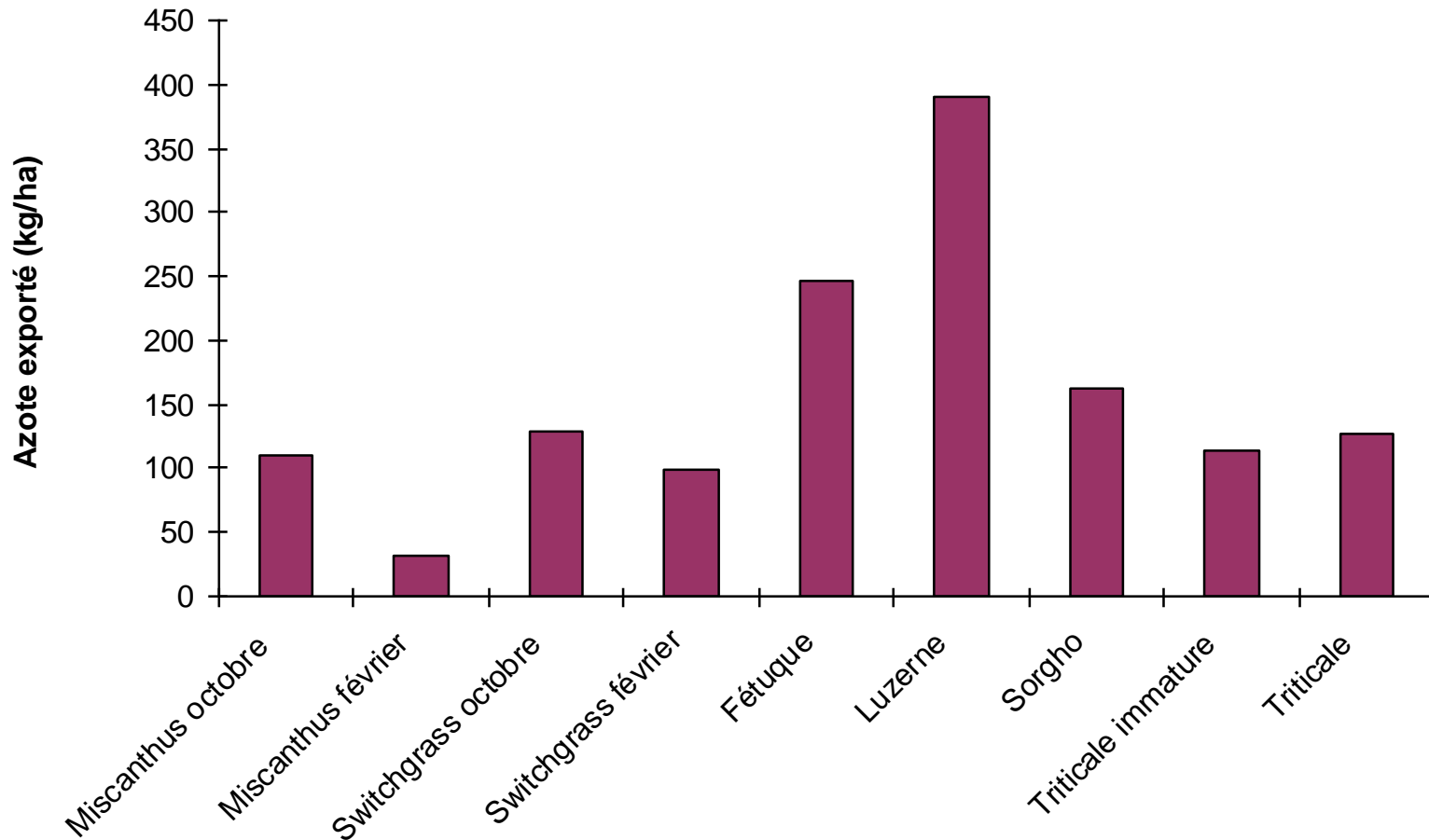
Emissions de GES

Impact de la fertilisation azotée sur le bilan de la filière éthanol betterave



(Source : Rapport ADEME/DIREME 2002)

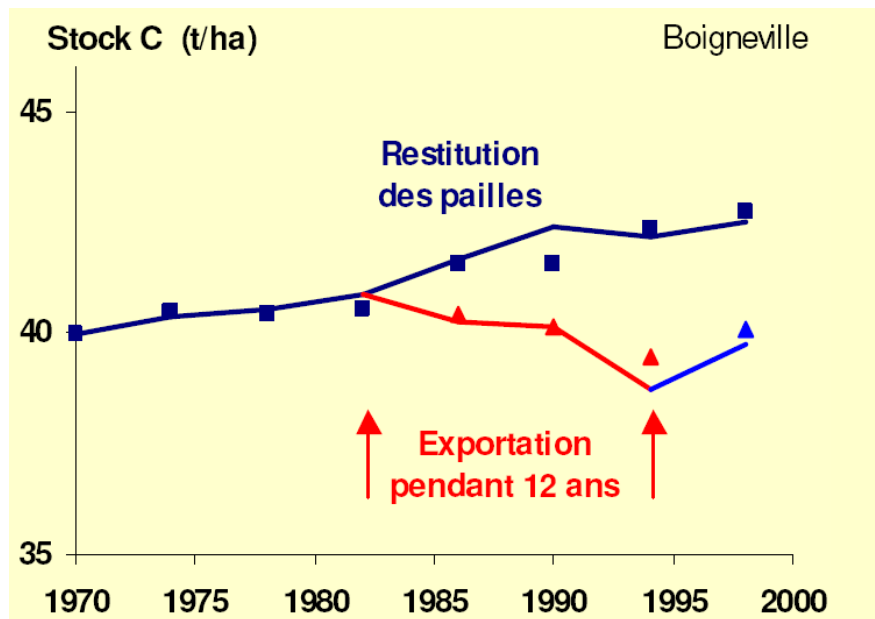
Azote exporté en 2007 sur le dispositif B&E d'Estrées-Mons



(Source : rapport REGIX 2007)

Stockage/déstockage du carbone dans les sols

Cas de l'implantation d'espèces annuelles



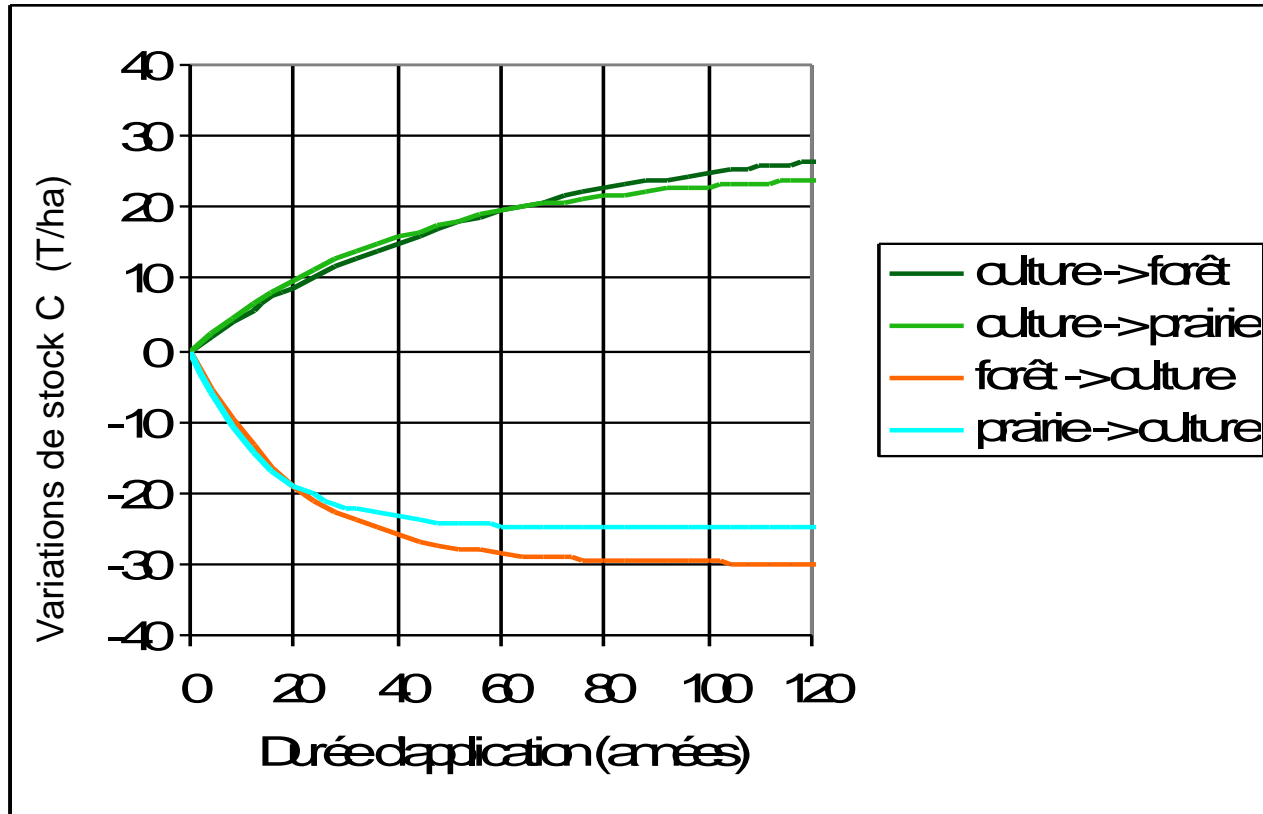
Succession maïs-blé

Pailles = pailles de blé et cannes de maïs

Évolution du stock de carbone au cours du temps avec ou sans exportation des pailles.
Expérimentation à long terme sur le site de Boigneville (France) :

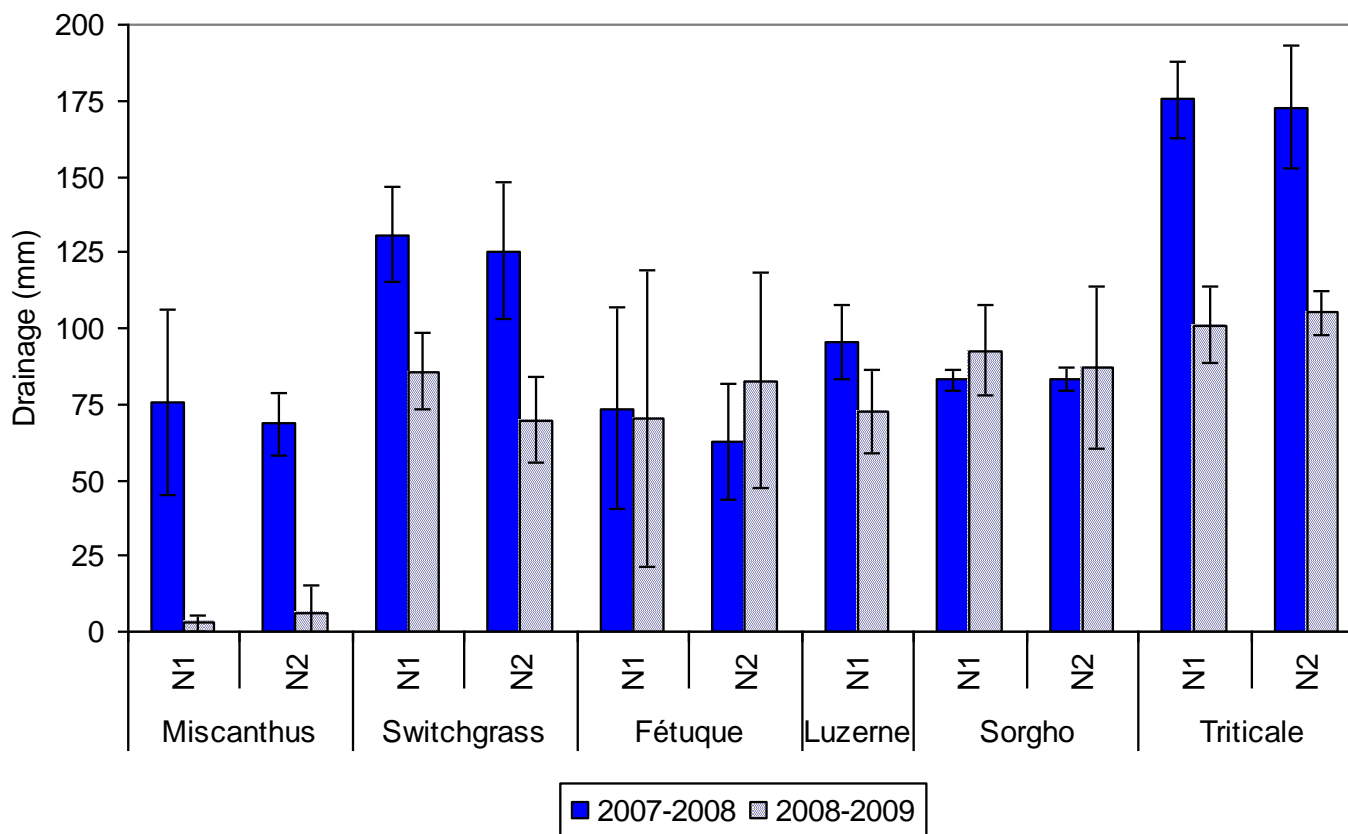
Stockage/déstockage du carbone du sol

Impact du changement d'usage des sols



(Arrouays *et al.*, 2002)

Drainage en 2007-08 et 2008-09 (mm)



2007-08 : Mis, Fet, Luz, Sor < Swi < Tri

2008-09 : Mis < Swi, Fet, Luz, Sor, Tri

(Source : dispositif B&E Estrées-Mons, non publié)

Bilans énergétiques

Comparaison des cultures annuelles et pérennes

Table 8. Energy budgets for four crops delivered to the plant gate (GJ/ha/year). From Jørgensen & Kristensen (1996).

	Willow	Miscanthus	Winter rye	Winter rape
Yield (tonne dry matter/ha/y)	9	9	10	3 seed 2.6 straw
Dry matter %	50	85	85	91 seed 85 straw
Seeds, fertilisers, pesticides	5.3	4.9	11.2	11.5
Soil tillage, crop care	0.2	0.2	1.7	2.6
Harvest, storage and delivery	3.0	2.1	2.1	1.5
Indirect energy (machines, buildings etc.)	1.7	1.6	3.1	3.8
Fossil input total	10.3	8.8	18.1	19.4
Energy output (lower heating value)	147	161	171	116 (whole crop)
Output/input	14	18	10	6

(Jørgensen & Kristensen 1996)



Synthèse sur les cultures candidates

- Production de biomasse plus élevée des cultures en C4 à condition d'être adaptées aux conditions locales
- La composition de la biomasse varie assez fortement et doit donc être prise en compte dans le choix des plantes
- Intérêt potentiel des cultures pérennes en C4 pour les bilan de GES, d'énergie et la plupart des impacts environnementaux (sauf consommation d'eau)
- Intérêt potentiel des systèmes à faibles intrants azotés (bilan énergétique, N₂O, nitrates)
- L'évaluation des systèmes doit tenir compte des conditions locales de production et des changements d'usage des sols

Positionnement des cultures dans l'exploitation et le territoire : faire converger les objectifs



L'échelle du systèmes de culture

- La contrainte de la pérennité :
 - ✓ difficulté d'insertion dans le système d'exploitation
 - ✓ moins de flexibilité vis-à-vis des évolutions à moyen terme
- La mise en place de systèmes innovants peut faciliter le compromis productivité/environnement :
 - ✓ mélanges variétaux, mélanges d'espèces
 - ✓ agroforesterie

© C Dupraz - INRA



L'échelle du système d'exploitation

- Le débouché biomasse plante entière permet d'envisager la culture de nouvelles espèces :
 - ✓ Opportunité de diversifier les systèmes de culture en place
- Le débouché biomasse plante entière offre un large panel de cultures candidates :
 - ✓ Opportunité pour valoriser le maximum de terrains possibles en choisissant des espèces adaptées aux différents sols-climats
 - ✓ Faciliter l'insertion dans les systèmes en place
 - ✓ S'adapter aux débouchés développés localement

L'échelle du territoire

Systeme de culture en place

**dessin des bassins
d'approvisionnement**

biodiversité



© C Maître - INRA



**aménagement
du territoire /
acceptabilité**

L'échelle du territoire

- Nécessité d'anticiper le positionnement des cultures :
 - ✓ Contribuer à la diversification des paysages
 - ✓ S'assurer de l'acceptabilité de leur mise en place
 - ✓ Faciliter la valorisation des zones sensibles (Bassins d'alimentation de captage, sols contaminés, sols en déprise) pour limiter les concurrences avec l'alimentaire
 - ✓ Anticiper les futures restrictions



© CEH – RELU Biomass project



© UEA – RELU Biomass project



© S Cadoux - INRA

En guise de conclusion

- L'agriculture a un rôle important à jouer dans un secteur amené à se développer
- Pérennes/annuelles : quels modes d'insertion dans les systèmes agricoles actuels ?
- Nécessité de définir des systèmes de culture innovants optimisés pour répondre aux différentes exigences
- Le débouché biomasse et les nouvelles plantes candidates sont une opportunité pour diversifier les systèmes en place
- Nécessité d'anticiper le choix du positionnement des cultures dans le territoire pour limiter les concurrences alimentaire/non alimentaire et organiser les bassins de production en intégrant les impacts environnementaux et les aspects paysagers



Merci de votre attention !