



Photo : C. WEBER - INRA

Des fourrages de qualité pour des élevages à hautes performances économiques et environnementales

Journées AFPF 25-26 mars 2009 – Paris

Amélioration génétique de la valeur alimentaire des espèces fourragères pérennes et innovation variétale

C. Huyghe, C. Tabel

Inra Lusignan
R2n, Rodez

Introduction

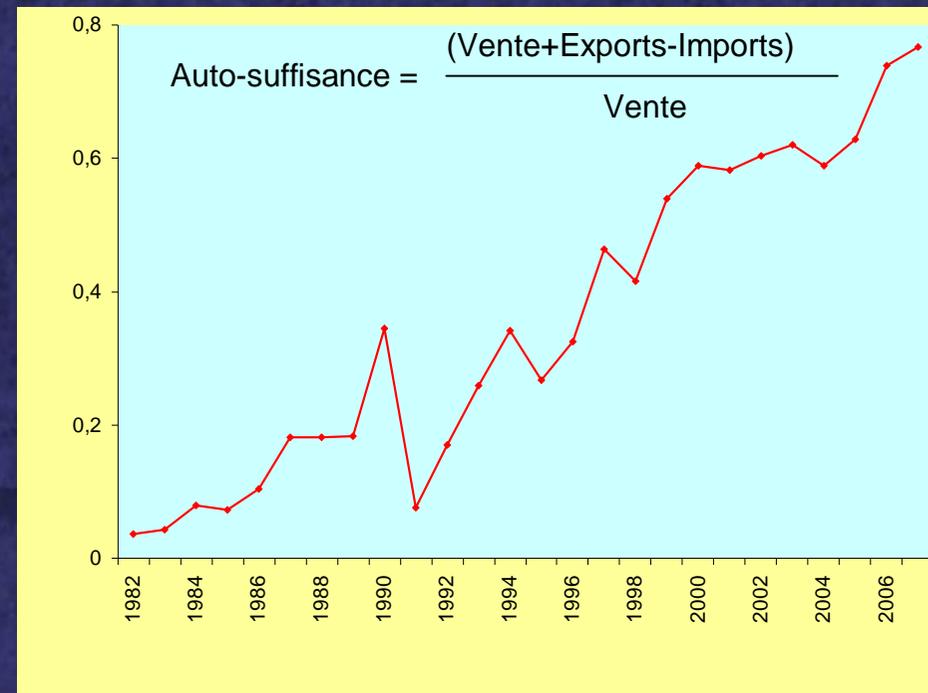
- La création variétale en espèces fourragères est une activité récente en France
 - Ceci a permis le développement d'une filière économique nationale semencière nationale

Exemple de l'auto-suffisance en semences de ray-grass anglais

- L'amélioration génétique a surtout porté sur la production de MS et la résistance aux maladies
- Nécessité d'intégrer l'utilisation croissante en mélanges et en association
- Cet exposé:

-Valeur énergétique et valeur protéique

-Diversité/bases génétiques/progrès effectifs



Valeur protéique

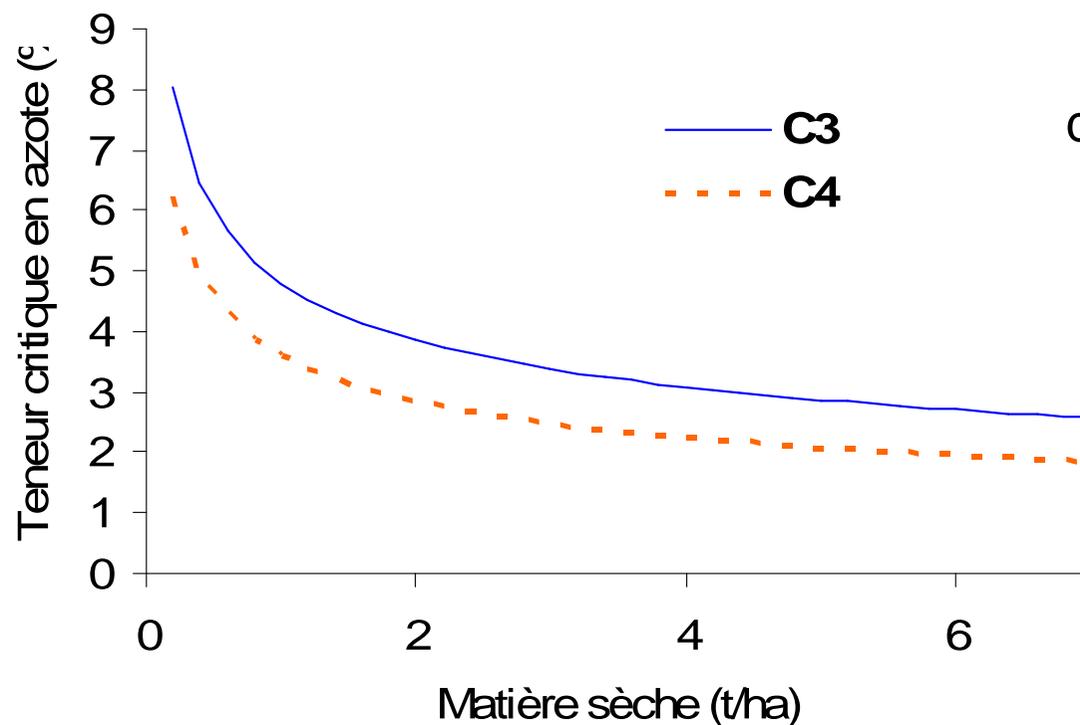
- Teneur en protéines: caractère très travaillé chez la luzerne
- Dégradabilité des protéines
- Composition des protéines

Teneur en protéines

- Caractère difficile à modifier pour une production de biomasse donnée et une fertilisation azotée donnée
 - Loi de dilution

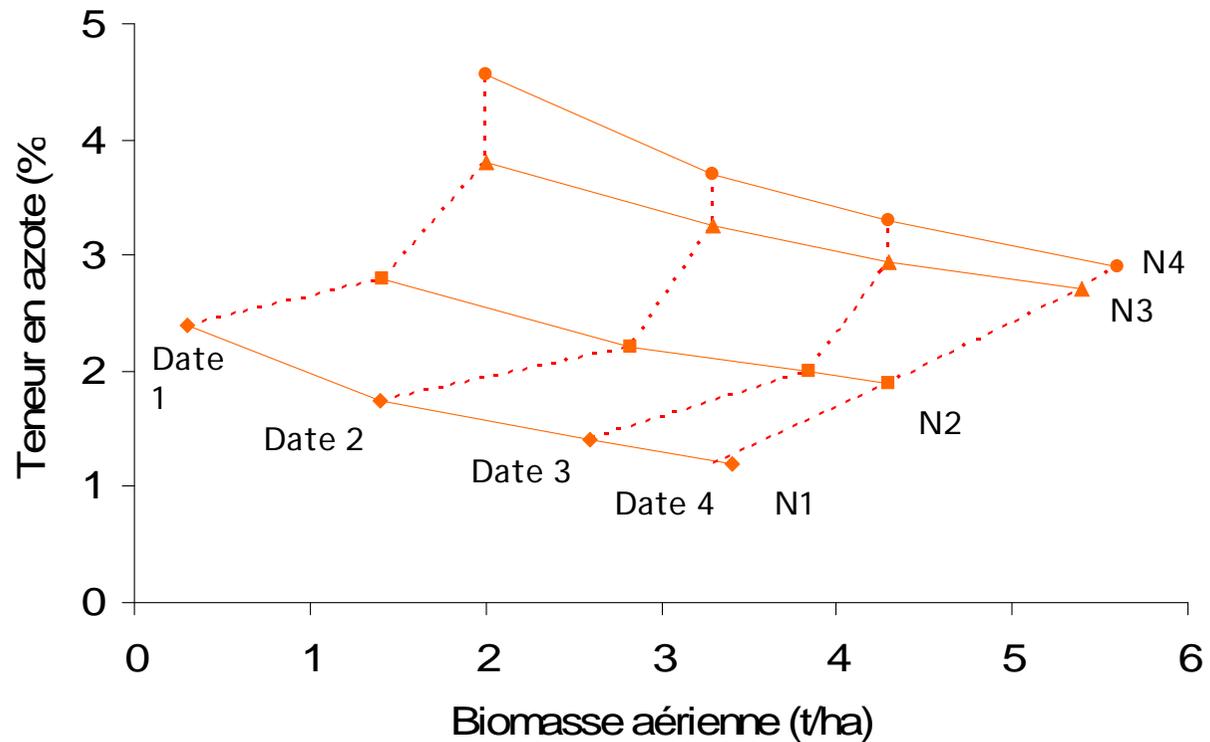
Quelques données écophysiological

Une loi générale de dilution



En situation d'alimentation azotée optimale, la teneur en MAT diminue au cours de la croissance du couvert végétal

Effet de la fertilisation azotée sur la relation biomasse – teneur en azote

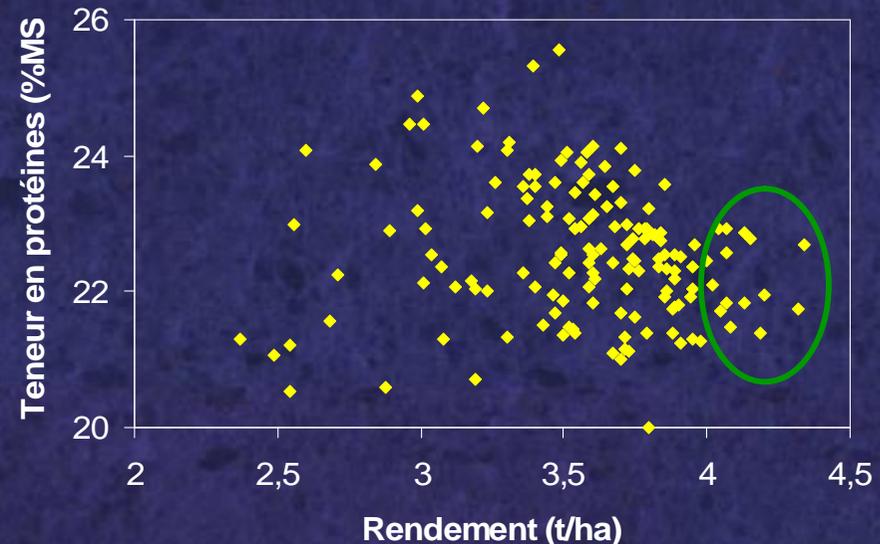


La sous-alimentation azotée des graminées fourragères réduit la production de biomasse et la teneur en MAT

Teneur en protéines

- Caractère difficile à modifier pour une production de biomasse donnée et une fertilisation azotée donnée
 - Loi de dilution
 - Les associations graminées – légumineuses, par le transfert 'horizontal' de l'azote, permettent aux graminées de s'approcher régulièrement de la courbe optimale
- Quelle variabilité génétique?

Exemple de la
variabilité génétique
chez la luzerne



Teneur en protéines: les bases génétiques

- Analyse des zones du génome impliquées:
 - Chez le ray-grass anglais: Un QTL majeur sur le chromosome 2
 - Est-ce un QTL pour la teneur en protéines ou un effet indirect d'une modification de la croissance ?
- Analyse de mutants
 - Les mutants stay-green:
 - Peu de remobilisation des protéines dans les tissus foliaires sénescents
 - Aucun effet sur la teneur en protéines sous différents régimes d'exploitation
 - Ceci pourrait avoir un intérêt dans le cas de reports sur pied: beaucoup de tissus sénescents.

Dégradabilité des protéines

- Les protéines fourragères sont des protéines fonctionnelles, essentiellement intra-cellulaires, donc solubles en milieu aqueux
- La dégradabilité diminue avec le vieillissement des tissus: simultanément à la diminution de la digestibilité
- Réduire la solubilité des protéines = réduire les risques de météorisation
- Un caractère particulièrement important pour les espèces à forte teneur: les légumineuses
 - La diversité génétique pour la quantité de protéines non dégradées dans le rumen
 - Faible chez la luzerne: 171-212 g/kg de protéines
 - Forte chez les lotiers
 - Forte chez le trèfle violet: 287-409 g/kg de protéines

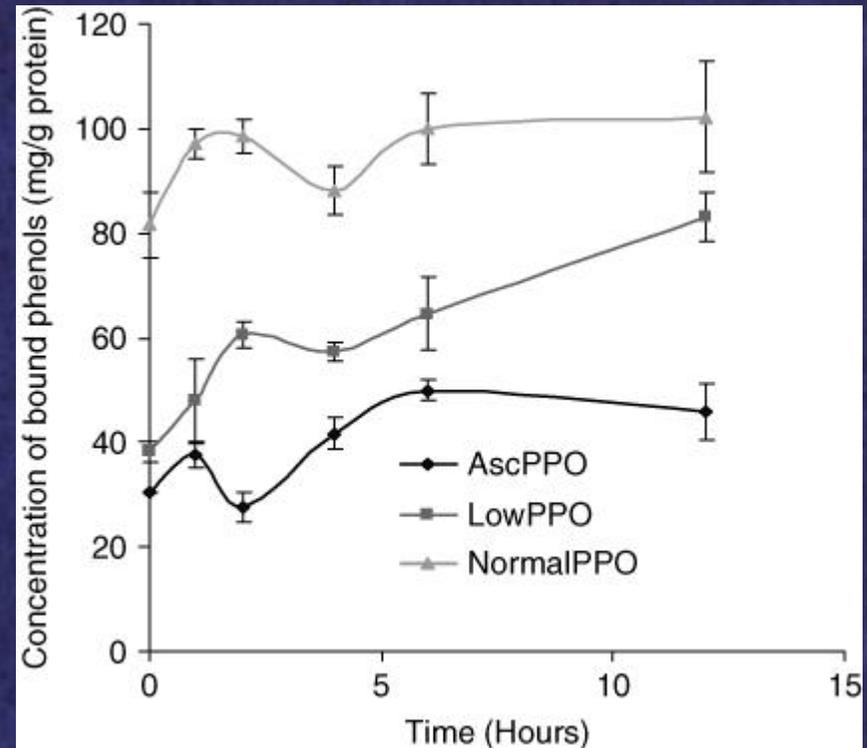
Dégradabilité des protéines: mécanismes

- **Lotier: les tannins**
 - Liaison réversible protéines – tanins en fonction du pH
 - Possibilité de tannage croisé entre différentes espèces au sein d'un couvert
- **Trèfle violet: la PolyPhenol Oxydase (PPO)**
 - Enzyme responsable des phénomènes de brunissement sur tissus broyés
 - Réagit avec les protéines en présence de phénol
 - Grande diversité génétique entre et au sein des populations et variétés
 - 3 gènes identifiés chez le trèfle violet codant pour la PPO



Effet de la concentration en PPO sur la dégradation des protéines chez le trèfle violet

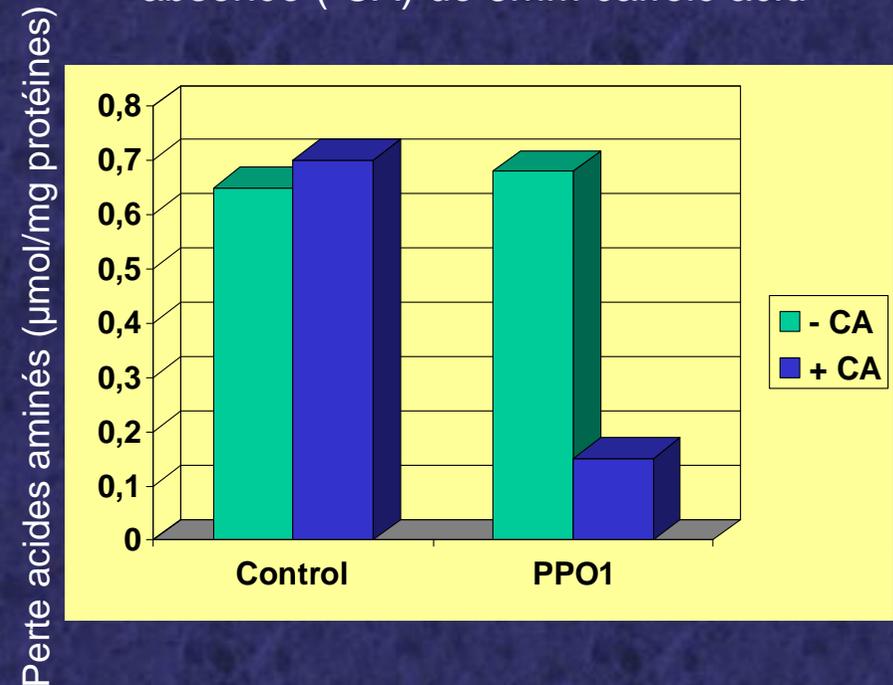
- Un génotype (clone) avec une plus faible concentration en PPO montre une plus forte dégradation des protéines
- L'addition d'acide ascorbique (inhibiteur PPO) augmente la dégradabilité des protéines



Utiliser ces mécanismes

- Création de luzerne transgénique avec un gène issu du trèfle
- Exploiter la diversité existant chez certaines espèces: par exemple le dactyle
- Peut-on valoriser l'activité PPO dans des mélanges complexes ?

Perte d'acides aminés pour mesurer la protéolyse en présence (+CA) ou absence (-CA) de 3mM caffeic acid



Composition en acides aminés

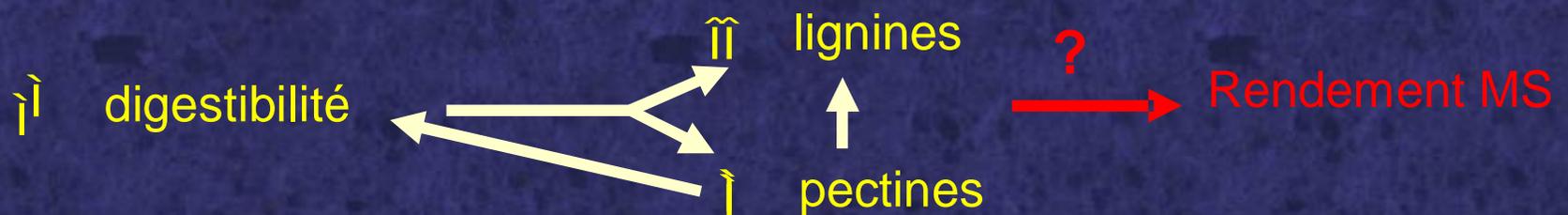
- Parmi la variation spontanée: études sur la luzerne
 - Pas de variation génétique
 - Pas de variation significative avec le stade de développement
- Parmi la variation induite
 - Possibilité de rechercher une sur-expression du gène de la SFA8, protéines riches en méthionine et cystéine
 - Résultats de Tabe et al, 1994 sur la luzerne: modification effective de la composition des protéines. Programme qui est resté sans suite.

La valeur énergétique

- Digestibilité de la matière sèche et teneur en parois cellulaires
- Teneur en sucres solubles

Digestibilité de la matière sèche

- De nombreuses études génétiques chez la luzerne
 - Forte relation entre digestibilité de la matière sèche et teneur en parois (corrélation phénotypique et génétique)
 - Existence d'une diversité génétique significative
 - Relativement indépendante de la production de MS
 - Indépendante de la résistance à la verse
 - Sélection divergente



Jung et al, 2006

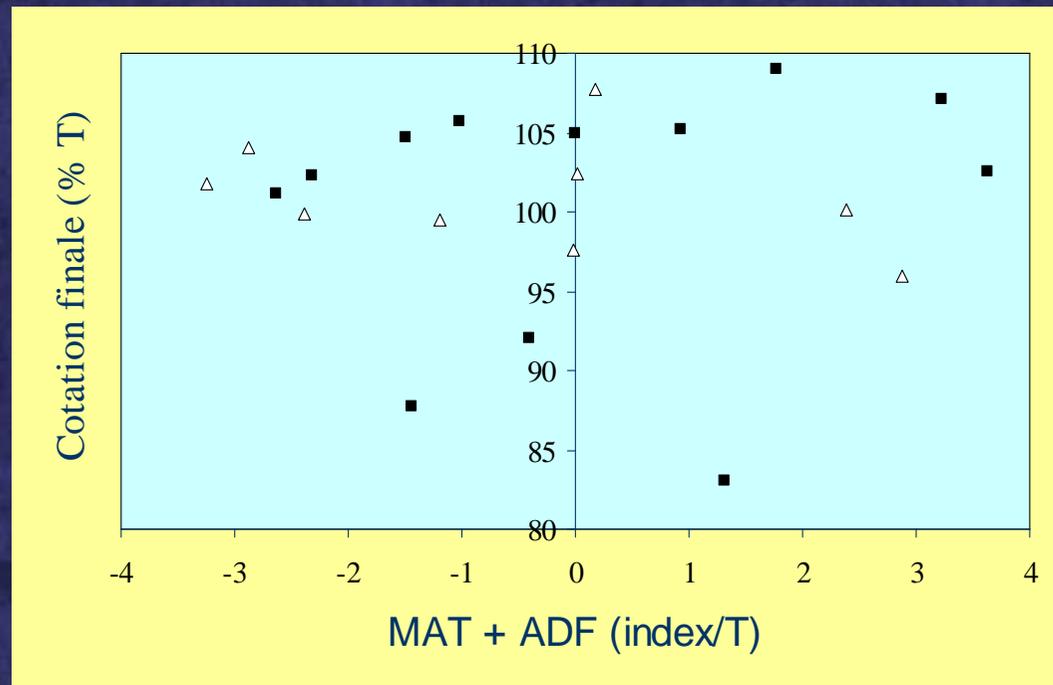
Teclé et al, 2006

Bases génétiques de la digestibilité

- Identification des zones du génome impliquées
 - Luzerne et *Medicago truncatula*
 - Ray-grass anglais
 - Fétuque élevée
- Etapes suivantes
 - Identification des gènes candidats
 - Validation
- Travail par transgénèse sur les gènes de la voie de synthèse de la lignine
 - Mutants naturels très digestibles (brown midrib) du maïs
 - Transgénèse chez la fétuque élevée (travaux à R2n)
 - Impossibilité d'expérimenter au champ pour valider l'ensemble de la démarche agronomique

La création de variétés à digestibilité

- Critères d'inscription chez la luzerne depuis 2007



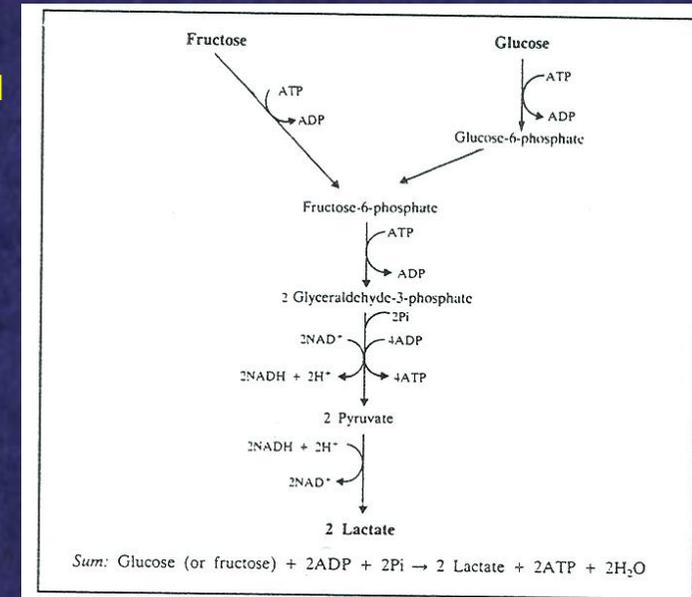
i : Variétés candidates

r : Témoins

- Réflexion similaire en cours sur les graminées fourragères

Les sucres solubles

- Chaînes simples à base de fructose
- Rapidement disponibles pour les fermentations au niveau du rumen ou au cours de la fermentation lactique dans les ensilages
- Variations très rapides dans le végétal
 - Au long de la journée (maximum en fin de journée)
 - Au long de la saison (maximum en fin d'été)
 - Après une coupe (sucres métabolisés durant le séchage, si celui-ci est lent)
- Abondant dans les collets des graminées
 - Jouent un rôle important dans le redémarrage après une coupe
 - Contribuent à la survie des plantes: implication dans les dynamiques de végétation



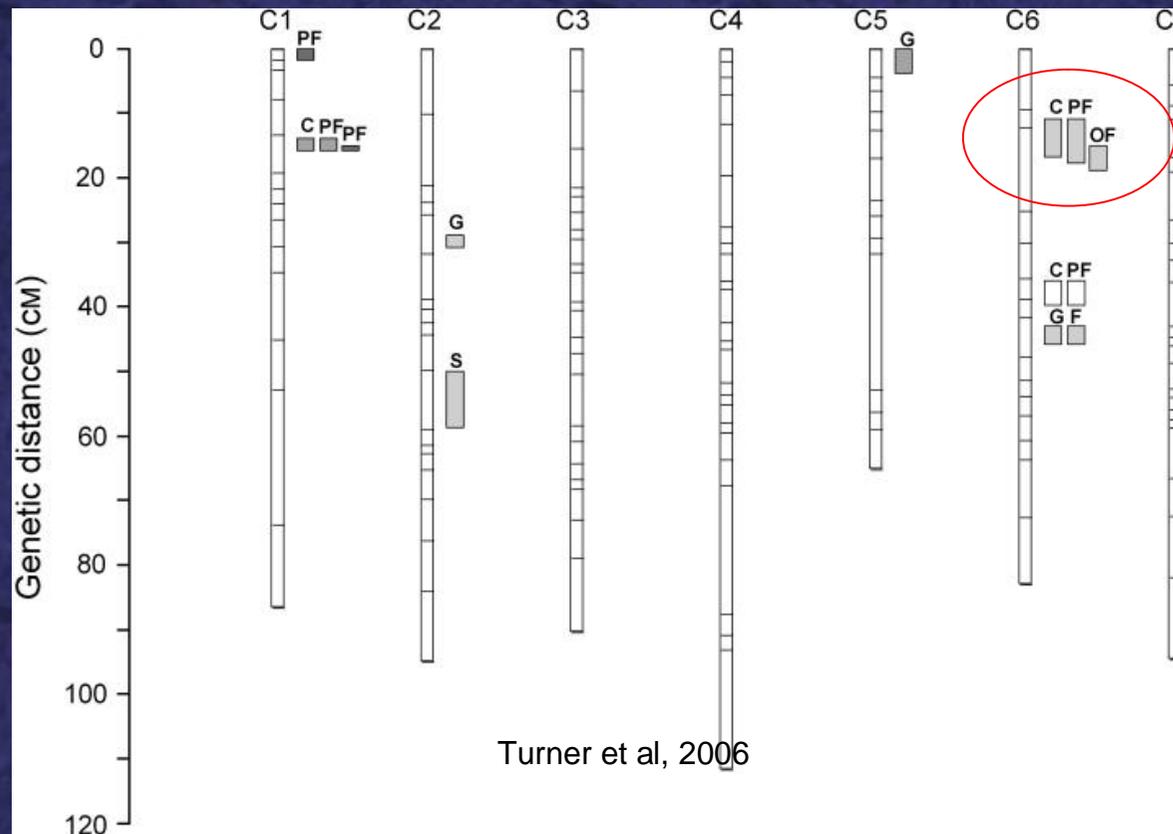
Conséquences de l'augmentation de la teneur en sucres sur les performances animales

- Amélioration de la performance animale par un apport énergétique accru
 - Etude en UK avec RGA sur ovins et bovins
- Augmentation du ratio énergie rapidement disponible/énergie : meilleure valorisation de l'azote disponible
 - Etude en Australie avec RGI
 - Etude en UK sur RGA
- Modification de la cinétique de dégradation de la matière organique et accélération des synthèses protéiques microbiennes
- Amélioration de l'ingestibilité
 - Etude aux Pays-Bas sur bovins

Peut-on facilement accroître la teneur en sucres solubles par sélection?

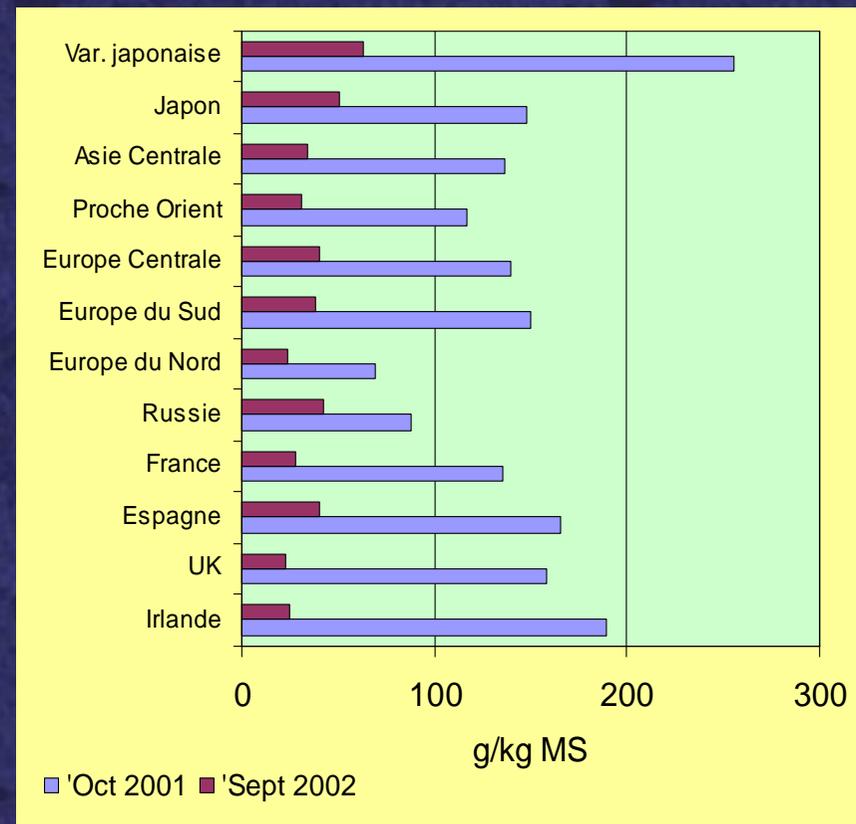
- Sur RGA

- Une sélection efficace à l'IGER (UK)
- Détection de quelques zones du génome impliquées: 1 QTL explique jusqu'à 38% de la variation observée



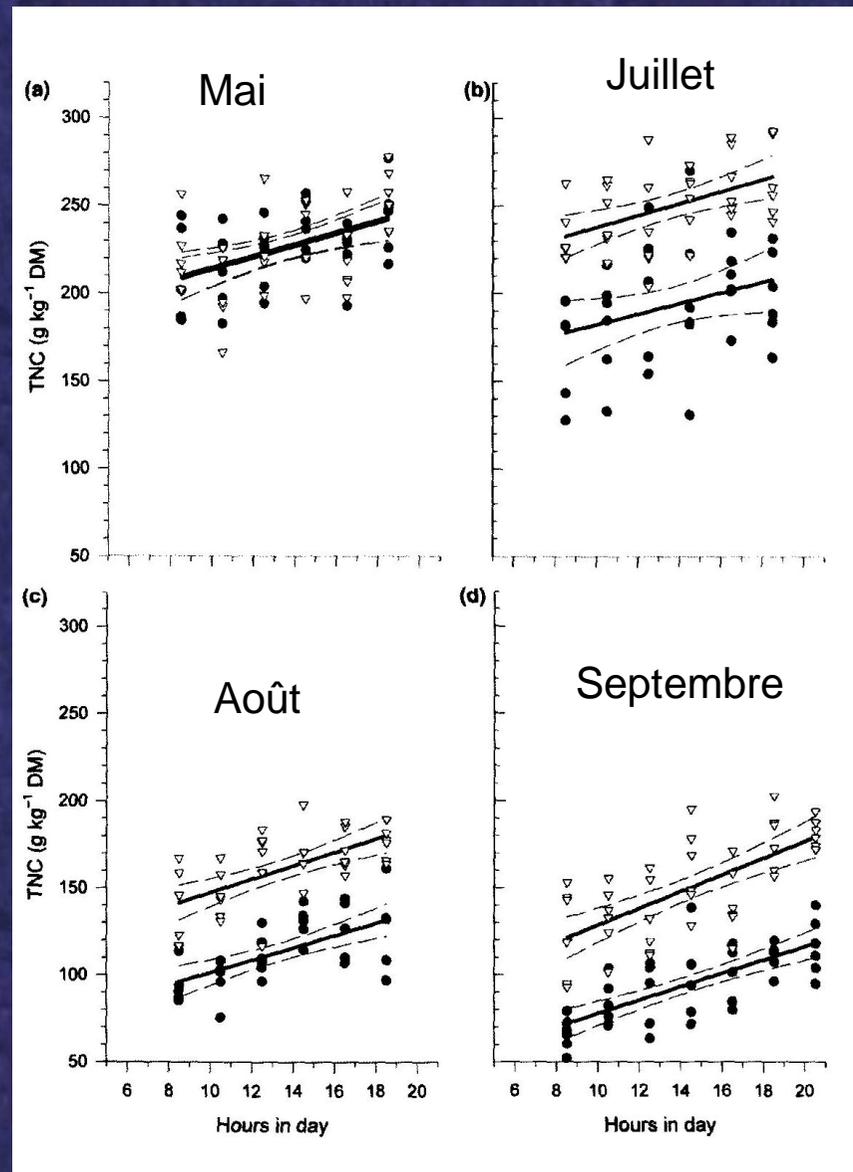
La sélection pour la teneur en sucres solubles est-elle utile ?

- Sans doute peu utile chez les RG: teneur déjà très élevée
- Sur d'autres graminées à teneur faible ou modérée (dactyle et fétuque élevée): sans doute des progrès importants possibles
 - Exemple du dactyle



Sucres solubles chez la fétuque élevée

Les différences entre une variété à teneur faible (–: Mozark) et une variété à teneur plus élevée (S: Henry) sont détectées presque à chaque saison et tout au long du jour



Conclusions

- De nouvelles pistes intéressantes à explorer
 - PPO chez légumineuses et graminées
 - Sucres solubles chez dactyle et fétuque
- Des démarches à poursuivre
 - Critères de composition biochimique pour l'inscription des variétés
- Un contexte nouveau permettant une valorisation forte de la qualité
 - Mélanges et associations: exploiter les interactions alimentaires
- Quid de la transgénèse ?
 - Acceptabilité sociale et risques environnementaux
 - Réponse monogénique pour modifier des caractères souvent complexes