Adaptation à la sécheresse du maïs, du tournesol et des prairies

Marc Ghesquière, Claude Welcker, Nicolas Langlade

▶ **To cite this version:**

Marc Ghesquière, Claude Welcker, Nicolas Langlade. Adaptation à la sécheresse du maïs, du tournesol et des prairies. 5. Rencontres de la recherche et du développement en Poitou-Charentes, Dec 2014, Rouillé, France. , 56 p., 2014, Vers une agriculture qui préserve la ressource en eau. hal-01207458

HAL Id: hal-01207458
https://hal.science/hal-01207458

Submitted on 30 Sep 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Adaptation à la sécheresse du maïs, du tournesol et des prairies

Marc GHESQUIERE[1], Claude WELCKER[2] et Nicolas LANGLADE[3]

[1]Inra/Unité de recherche pluridisciplinaire prairies et plantes fourragères 86600 Lusignan ; [2]Inra/Laboratoire d'écophysiologie des plantes sous stress environnementaux, 2 place Viala, 34060 Montpellier ; [3]Inra/Laboratoire des interactions plantes-microorganismes, UMR441, 31326 Castanet-Tolosan

Courriel : Marc.Ghesquiere@lusignan.inra.fr

Résumé

La sélection de variétés à la fois productives et tolérantes à la sécheresse est le moyen privilégié pour adapter les cultures dans un contexte de ressources en eau de plus en plus contraint. Des exemples empruntés aux espèces les plus concernées, soit parce qu'elles sont cultivées en été, maïs et tournesol, soit parce qu'elles traversent inévitablement des périodes sèches, les prairies, montrent que les phénomènes physiologiques entraînés par le manque d'eau sont tous partagés par ces espèces. En revanche, ce sont les combinaisons des caractères mis en jeu qui sont originales entre espèces, au sein desquelles il s'agit alors de sélectionner les meilleurs compromis possibles pour une zone de culture et des pratiques données. Depuis qu'elle existe, l'amélioration des plantes réalise un progrès régulier de la productivité des variétés en conditions sèches ; son efficacité entre espèces dépend surtout de caractéristiques biologiques qui ne sont pas directement dépendantes des ressources en eau mais plutôt de la maîtrise du régime de reproduction et du type de variétés qui en découle. Maïs et tournesol sont ainsi des espèces-modèles pour identifier les gènes et marqueurs moléculaires associés à la réponse au déficit hydrique et rendre plus efficace la sélection, ceci dans un cadre de variétés hybrides réalisant une identité génétique parfaite entre individus de la culture. Si cette approche reste un enjeu général en amélioration des plantes, les espèces fourragères et leurs variétés « synthétiques » constituent un autre champ de recherches pour évaluer en quoi la variabilité génétique de la prairie peut être aussi un levier d'action pour maintenir la productivité sous un climat de plus en plus variable.

Mots-clés : Déficit hydrique, Progrès génétique, Sélection, Variété synthétique, Hybride

1. Adaptation des espèces

L'alimentation en eau n'est que rarement optimum au cours de la vie des plantes alors qu'elles en ont un besoin vital. Avec les variations annuelles de température, mais souvent associées à celles des précipitations, et les caractéristiques physiques des sols, la ressource en eau utilisable par les plantes est ainsi un puissant mécanisme de distribution des espèces. A cette échelle, la diversité des espèces est remarquable au sens où l'évolution a retenu presque autant de compromis pour ajuster finement croissance et consommation d'eau que de contextes de disponibilité en eau à la surface de la planète.

Toutefois, la croissance détermine aussi directement la compétition entre plantes dans milieu donné. Cela explique que lorsque le déficit hydrique devient régulièrement sévère, abaissant

simultanément le niveau de productivité permis par le milieu et celui de la compétition, ce sont les mécanismes d'évitement qui sont les plus activement sélectionnés aux dépends de la dimension du système aérien et/ou de l'accumulation des produits de la photosynthèse dans des organes de réserves. Chez les espèces herbacées pérennes, l'évolution vers des écotypes réduisant leur potentiel de productivité ou raccourcissant leur cycle reproducteur jusqu'à devenir annuel, est caractéristique du milieu méditerranéen (Poirier et al 2011). C'est ce même mécanisme d'évitement qui est exploité chez les espèces cultivées par le choix des variétés les plus précoces pour les régions sèches et sans irrigation.

Pour autant, ces réponses de nature adaptative ne sont intéressantes en agriculture que pour des sécheresses sévères et notamment dans le cas d'espèces pérennes où toute consommation d'eau inadéquate peut devenir rapidement préjudiciable à la survie de la culture. Distribuée principalement entre espèces, la variabilité génétique de la réponse à la sécheresse peut néanmoins être exploitée par hybridation entre des espèces ayant développé des stratégies complémentaires et à condition qu'elles aient préservé suffisamment de compatibilité en croisement. C'est le cas de la fétuque et du ray-grass chez les espèces fourragères où profondeur d'enracinement et contrôle stomatique, respectivement, permettent de déplacer au travers de variétés de *Festulolium*, les points d'équilibre entre productivité et pérennité atteints par chaque espèce parentale indépendamment au cours de son évolution (Figure 1).

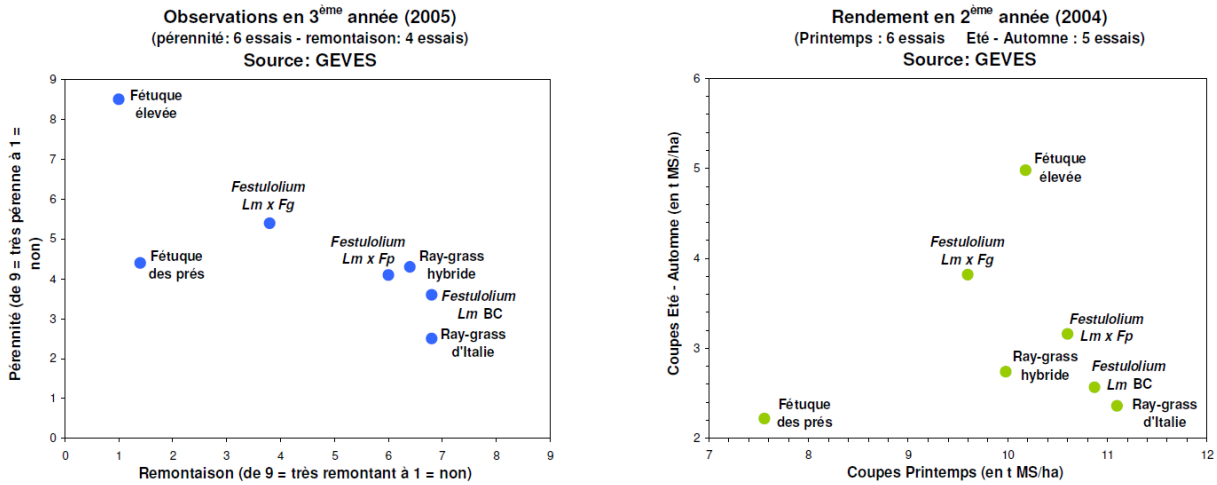

Figure 1 : Caractérisation de *Festulolium* parmi leurs espèces parentales pour des critères VATE d'inscription au catalogue français des variétés fourragères. *Lm* x *Fp* et *Lm* x *Fg* : *Festulolium* issus d'hybrides entre ray-grass d'Italie et fétuque des prés ou *Festuca glaucescens* (resp.) ; *F. glaucescens* est une espèce tétraploïde apparentée à la fétuque élevée mais non cultivée ; *Lm BC* : *Festulolium* issu de rétrocroisement d'hybrides *Lm* x *Fp* dans le ray-grass d'Italie (Ghesquière 2003, 2007).

Les variétés de *Festulolium* ne réalisent pas, ou du moins pas encore, de fortes transgressions ni pour tous les caractères par rapport à leurs espèces parentales – la recombinaison génétique, interspécifique ici, est loin d'avoir été totalement exploitée chez ces variétés encore très récentes – mais l'exemple montre que l'hybridation interspécifique peut être une solution pour sélectionner de nouveaux compromis d'utilisation de l'eau et maintenir, voire étendre, une production fourragère pour des régions où la sécheresse en été devient, ou va devenir, de plus en plus variable.

Pour des situations de sécheresse plus modérée, c'est au niveau intraspécifique que se concentrent, et depuis longtemps, les efforts de l'amélioration. Pour cela, de très nombreuses

descendances sont produites et évaluées chaque année dans de grands réseaux d'essais et une large variation de conditions climatiques. La sélection sur la productivité peut être alors réalisée sur la performance moyenne ou celle obtenue spécifiquement dans les localisations les plus limitantes ; la valeur des variétés incluant aussi des critères de résistance à des maladies et ravageurs ou de valeur alimentaire et technologique, c'est une sélection sur de multiples objectifs à la fois qui est pratiquée à chaque cycle, éventuellement au travers d'index prenant en compte l'héritabilité propre de chaque critère ou composante et leur corrélation génétique, entre eux et avec les objectifs d'amélioration.

2. Sélection de variétés

La comparaison dans les mêmes essais de variétés inscrites sur plusieurs dizaines d'années permet d'évaluer *a posteriori* le progrès génétique accompli et l'efficacité de la sélection pour un même objectif entre des espèces aussi différentes que maïs et ray-grass (Figure 2).

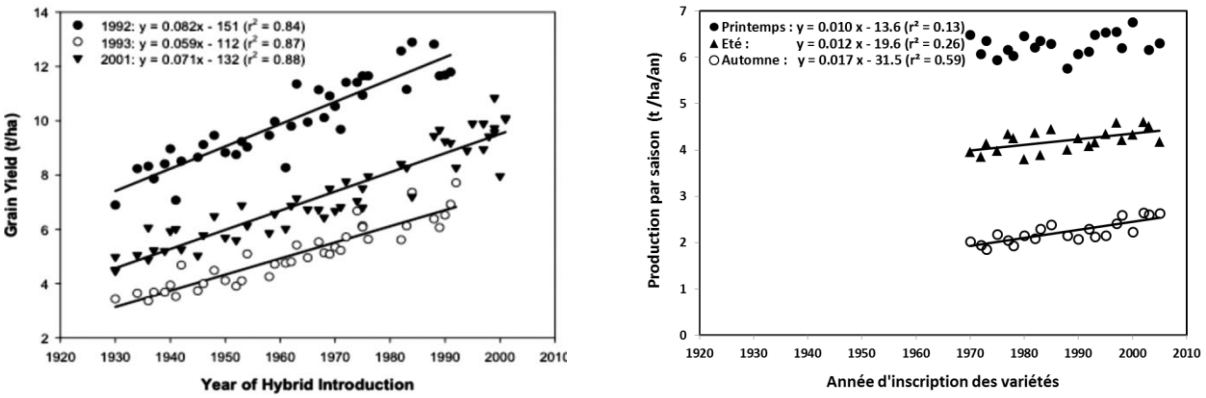

Figure 2 : Progrès génétique en productivité annuelle enregistré chez le maïs (gauche) et le ray-grass anglais (droite) : conditions de croissance très favorables (1992), froides et humides (1993) et chaudes et sèches (2001) pour le maïs (Duvick 2005) ; moyenne de 2 à 6 coupes par an sur 3 ans et 4 lieux d'essais chez 21 variétés de ray-grass anglais diploïdes et tardives, inscrites au catalogue français entre 1970 et 2005 ; rendements corrigés de la date d'épiaison des variétés (29 mai en moyenne) ; la régression est significative en été (P = 0.002) et en automne (P< 0.001), (Chosson et al 2009, Sampoux et al 2011).

Chez le ray-grass, la période de création variétale observée est plus courte car celle-ci n'a démarré réellement qu'avec la révolution fourragère, quarante ans après le maïs. La productivité est annuelle pour le maïs mais de fortes variations climatiques entre années permettent de la rapprocher de celle du ray-grass après fractionnement entre saisons sur plusieurs années et de comparer le gain génétique vis-à-vis de la ressource en eau entre les deux espèces.

On note immédiatement que le gain observé chez le ray-grass est inférieur d'un facteur quatre environ à celui du maïs, et ce pour différentes raisons : efficience de la photosynthèse, durée du cycle de sélection, pérennité de la culture, structure génétique des variétés, densité du peuplement… toutes en faveur du maïs. Mais ces données tiennent plus à la biologie de l'espèce et/ou de sa culture qu'à une sélection qui serait moins efficace en soi. Le différentiel de gain serait par exemple moins accusé entre tournesol et ray-grass par le simple fait que les

deux espèces partagent le même système photosynthétique (plante en C3) vis-à-vis du maïs (plante en C4), (Maury et al 2011).

Cependant, la comparaison éclaire sur la hiérarchie des caractères dont la variabilité génétique a été sollicitée pendant la sélection. L'accumulation de biomasse, la vitesse de croissance des organes, végétatifs et reproducteurs, restent ainsi des cibles de sélection les plus efficaces, et générales, de l'amélioration de la productivité, c'est-à-dire même lorsque le déficit hydrique s'accentue (Welcker 2012). La photosynthèse en particulier n'est pas aussi critique que l'on pensait devant l'ensemble des caractères contribuant à une meilleure efficience de la gestion des ressources en eau : croissance et architecture racinaire pour extraire plus d'eau ou plus profondément dans le sol, contrôle de la transpiration par les stomates pour l'utiliser parcimonieusement.

Cette approche rétrospective de l'amélioration atteint ses limites car elle ne permet pas d'identifier dans le détail quels caractères ont été exploités prioritairement, sachant d'autre part que nombre de ces caractères ont des variations antagonistes ; il est vraisemblable qu'une sélection directe et sur un caractère aussi intégratif que le rendement annuel atteigne aussi une limite pour des espèces sélectionnées intensivement et depuis longtemps comme le maïs.

3. Conclusion

La poursuite du progrès génétique passe donc par l'identification précise des caractères de l'efficience de l'eau sur lesquels l'intensité de la sélection pourra se renforcer en pleine connaissance des relations de cause à effet et non plus de façon seulement statistique.

L'intégration de plus en plus étroite de l'écophysiologie à la génétique au travers de la modélisation permet de mieux formaliser l'amélioration : évaluer *a posteriori* quelles sont les zones de cultures et les pratiques qui valoriseront le mieux le progrès génétique sortant du flux constant des variétés issues de la sélection conventionnelle, comme définir *a priori* les modèles de variétés, les idéotypes, à sélectionner pour l'avenir (Volaire et al 2013).

La vulgarisation des outils moléculaires ces dernières années est à ce sujet l'occasion d'un changement d'échelle sans précédent de l'amélioration des plantes dans la compréhension des mécanismes de la réponse à la sécheresse et l'appréhension de leur variabilité génétique. Caldeira et al (2014) montrent par exemple que la synthèse d'aquaporine dans les racines, protéine de la membrane plasmique augmentant la perméabilité à l'eau, permet d'ajuster à l'échelle de la journée la conductance hydraulique des racines et d'augmenter ainsi le prélèvement d'eau pour maintenir croissance et photosynthèse de toute la plante. C'est aussi à l'échelle des gènes ou de marqueurs génomiques associés aux caractères que la sélection des plantes est désormais envisagée, qu'elle dépassera les limites de la sélection phénotypique dont de nombreux exemples montrent qu'elle ne peut à elle seule, accumuler tous les gènes favorables (les allèles dans le cas présent) à l'expression maximum d'un caractère quantitatif, notamment quand celle-ci est limitée par un facteur du milieu comme l'eau.

Enfin, la prise de conscience du changement climatique et le gain en précision et généricité des modèles de prévision qu'elle a suscité, est également un contexte totalement nouveau pour une amélioration non seulement de plus en plus ajustée aux régions et systèmes de culture mais aussi anticipatrice.

Bibliographie

Caldeira C.F., L. Jeanguenin, F. Chaumont, F. Tardieu, 2014 Circadian rhythms of hydraulic conductance and growth are enhanced by drought and improve plant performance. *Nature Communications* 5, doi:10.1038/ncomms6365

Chosson J.C., V. Béguier, M. Ghesquière, M.C. Gras, J.P. Sampoux, 2009. Les progrès génétiques enregistrés depuis 50 ans dans le secteur des espèces fourragères pérennes, *Fourrages*, 200, 475-488

Duvick, D. N., 2005. Genetic progress in yield of United States maize (*Zea mays* L.). *Maydica*, 50, 193-202

Ghesquière, M., 2007 Note sur la diversité des variétés de *Festulolium*. *Fourrages*, 191, 377-379

Ghesquière, M., C. Mousset, 2003 *Festulolium* : définitions et perspectives. *Fourrages*, 176, 479-492

Maury P., N. Langlade, P. Grieu, D. Rengel, A. Sarrafi, P. Debaeke, P. Vincourt, 2011 Ecophysiologie et génétique de la tolérance à la sécheresse chez le tournesol. *Innovations Agronomiques*, 14, 123-138

Poirier M, J.L. Durand, F. Volaire, 2012. Persistence and production of perennial grasses under water deficits and extreme temperatures: importance of intraspecific vs. interspecific variability. *Glob Chang Biol*, 18, 3632–3646

Sampoux JP, P. Baudouin, B. Bayle, V. Béguier, P. Bourdon, J.F. Chosson, F. Deneufbourg, C. Galbrun, M. Ghesquière, D. Noël, W. Pietraszek, B. Tharel, A. Viguié 2011 Breeding perennial grasses for forage usage: An experimental assessment of trait changes in diploid perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) cultivars released in the last four decades. *Field and Crop Science*, 123, 117-129

Volaire F., P. Barre, V. Béguier, T. Bourgoin, J.L. Durand, M. Ghesquière J.P. Jaubertie, I. Litrico, D. Noël, 2013. Quels idéotypes de plantes fourragères pour des prairies adaptées au changement climatique ? *Fourrages*, 214, 119-126

Welcker C., 2012 Adaptation du maïs au déficit hydrique : défis et pistes pour la sélection. *Le sélectionneur français*, 63, 25-35