



HAL
open science

Les progrès génétiques enregistrés depuis 50 ans dans le secteur des espèces fourragères pérennes

J.F. Chosson, Vincent Beguier, Marc M. Ghesquière, Jean Paul J. P. Sampoux, M.C. Gras

► **To cite this version:**

J.F. Chosson, Vincent Beguier, Marc M. Ghesquière, Jean Paul J. P. Sampoux, M.C. Gras. Les progrès génétiques enregistrés depuis 50 ans dans le secteur des espèces fourragères pérennes. Fourrages, 2009, 200, pp.475-488. hal-02654112

HAL Id: hal-02654112

<https://hal.inrae.fr/hal-02654112>

Submitted on 29 May 2020

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.

Copyright

Les progrès génétiques enregistrés depuis 50 ans dans le secteur des espèces fourragères pérennes

J.-F. Chosson¹, V. Béguier², M. Ghesquière³, J.-P. Sampoux³, M.-C. Gras⁴

La sélection fourragère a débuté en France il y a seulement 50 ans et a accompagné la modernisation et l'intensification de l'élevage. Grâce à un contexte favorable, les progrès ont été considérables et sont ici présentés.

RÉSUMÉ

Outre l'émulation entre les différentes équipes de recherche et la complémentarité entre recherches publiques et privées, l'organisation particulière du secteur (structure paritaire du CTPS et associative de l'ACVF) a permis de mettre en place un Catalogue national qui évalue et garantit le progrès apporté par chaque variété. La sélection récurrente individuelle et familiale portant simultanément sur plusieurs caractères a permis de progresser pour le rendement fourrager (avec un progrès de 0,36 t MS/ha par période de 10 ans pour le ray-grass diploïde), la résistance à diverses maladies et la qualité du fourrage. D'autres voies de progrès sont également mentionnées (tétraploïdisation, croisements interspécifiques qui ont abouti aux Festulolium, stérilité mâle, génie génétique...) ; l'utilisation du marquage moléculaire ouvre également de nouvelles perspectives.

MOTS CLÉS

Cultivar, évolution, fourrage, histoire, prairie temporaire, progrès génétique, ray-grass anglais, sélection variétale.

KEY-WORDS

Change in time, cultivar, cultivar breeding, forage, History, ley, genetic progress, perennial ryegrass.

AUTEURS

1 : Sélectionneur R2n retraité ; jfchosson@wanadoo.fr

2 : Directeur de Recherche Jouffray-Drillaud et GIE GRASS, Secrétaire de la section Graminées Fourragères de l'ACVF

3 : INRA, Centre Poitou-Charentes, UR4 (Unité de Recherche Pluridisciplinaire Prairies et Plantes Fourragères), F-86600 Lusignan

4 : Responsable recherche fourragère R2n et Secrétaire de la section Luzerne de l'ACVF

1. Préambule : historique de la sélection fourragère

Tout d'abord, il convient de faire un retour en arrière pour retracer rapidement l'historique de cette sélection finalement assez récente puisqu'elle n'a véritablement démarré qu'au milieu du 20^e siècle.

Avant l'apparition de la motorisation agricole, les terres labourées par traction animale étaient consacrées essentiellement aux cultures maraîchères et céréalières. La prairie naturelle, les parcours, les estives, les sous-bois subvenaient en grande partie aux besoins fourragers des troupeaux.

Parallèlement à la rationalisation des élevages, au développement de la génétique animale, à la commercialisation des engrais minéraux, une large réflexion s'est organisée avec pour objet la meilleure valorisation et l'intensification des surfaces fourragères dans le but de mieux répondre à la forte demande alimentaire de l'après-guerre, aux exigences de productivité et de rentabilité des élevages dont les surfaces étaient à l'époque limitées. L'ère de la cueillette était révolue ; le mot d'ordre était de "Cultiver l'herbe" et de la récolter au bon stade pour profiter de la meilleure qualité nutritionnelle.

A cette époque, les rares graines fourragères semées provenaient des récoltes sur "planchers de granges" ou de quelques échanges de populations de pays de luzerne et de ray-grass d'Italie. **Les toutes premières variétés de ray-grass sélectionnées sont apparues dans les années cinquante** chez nos voisins d'Europe du nord-ouest (Pays-Bas, Danemark, Grande Bretagne...).

En France, les premiers programmes de sélection ont été initiés plus tardivement par la recherche publique (en particulier les stations INRA de Versailles, Lusignan, Clermont-Ferrand, Dijon, Montpellier) et quelques sélectionneurs privés (Etablissements Desprez, Tourneur, Clause, Vilmorin-Andrieu...). Le travail de sélection concerna une large gamme d'espèces de légumineuses et de graminées afin de répondre aux exigences pédoclimatiques variées de nos zones d'élevages. **Aujourd'hui, une dizaine d'espèces font encore l'objet de travaux de sélection continus et significatifs** ; pour les autres espèces, les efforts de sélection ont été réduits ou stoppés à cause de la faible taille du marché (bromes) ou de la difficulté de produire des semences (lotier, coronille...).

Autrefois, un seul cycle de sélection massale dans une population naturelle locale suffisait pour créer une variété. On peut citer quelques exemples choisis parmi les premières inscriptions au Catalogue officiel français :

- Manade (1957), synthétique de féтуque élevée à 71 constituants issus d'une population naturelle du sud-est de la France ;
- Floreal (1957), synthétique de dactyle à 16 constituants issus d'une population naturelle de la région parisienne ;
- Fat (1957), synthétique de ray-grass d'Italie à 85 constituants issus d'une population scandinave ;

- Du Puits (1950), synthétique de luzerne à 12 constituants tirés d'une population de type flamand Ormelong.

En fait, **la base génétique de départ des programmes de sélection des plantes fourragères a été constituée par de nombreuses populations naturelles** collectées sur le territoire français voire européen (prospection privée ou associative, appel aux banques de gènes). Si l'on veut aujourd'hui mesurer ou estimer le progrès génétique réalisé depuis une cinquantaine d'années, il convient de considérer que le niveau agronomique de départ était proche de celui des écotypes.

Quand on est sélectionneur et que l'on compare en permanence les performances de nombreux génotypes, à la fois anciens et nouveaux, il est évident que **le matériel le plus récent possède un niveau agronomique global supérieur. Cependant, certains éleveurs, utilisateurs de variétés fourragères, ne sont pas encore convaincus** que la sélection a fait régulièrement progresser les performances agronomiques des variétés.

2. Les raisons du succès

Avant de rentrer dans le détail des principales avancées, il nous semble important de rappeler les principales raisons qui ont permis ce progrès génétique :

- Un travail mené depuis une cinquantaine d'années, ce qui représente 10 à 12 cycles de sélection, nombre largement suffisant pour réaliser des avancées significatives.

- Des méthodes de sélection de plus en plus efficaces, adaptées aux espèces fourragères en général allogames : sélection récurrente individuelle et familiale portant simultanément sur plusieurs caractères.

- La compétition entre les équipes de sélection françaises et européennes : cette concurrence a créé une émulation très favorable au dynamisme de ce secteur d'activité, permettant le développement puis le maintien des efforts de sélection, l'exploration de voies nouvelles, une meilleure prise en compte des adaptations régionales.

- La complémentarité entre le secteur public et le privé : en France comme en Europe, la recherche publique a joué un rôle essentiel dans une première phase en initiant des programmes d'amélioration sur les plantes fourragères et en mettant au point des méthodes de sélection adaptées aux espèces allogames souvent polyploïdes. Rappelons ici les travaux déterminants de MM. DEMARLY, GALLAIS (1992) et CHARMET. La sélection privée a ensuite pris le relais en sélection conventionnelle tandis que le secteur public se recentrait sur la recherche fondamentale dont les retombées profitent encore aujourd'hui à la recherche privée.

- Le travail associatif (ACVF, Association des Créateurs de Variétés Fourragères) qui a regroupé privé et public sur des thèmes et projets novateurs ; la mise en commun de nos moyens et de nos compétences a permis d'aborder avec succès de nombreux sujets ambitieux. Des aides publiques incitatives ont souvent été attribuées pour financer partiellement ces programmes.

- La mise en place déjà ancienne d'une réglementation nationale et européenne encadrant la commercialisation des semences fourragères : l'obligation d'évaluer la valeur agronomique associée à la création d'un catalogue variétal a été déterminante. Ce système a en effet permis de n'inscrire que des nouveautés plus performantes que les témoins, ce qui représente une vraie garantie pour les utilisateurs. La particularité du système français est de reposer sur une structure paritaire, le Comité Technique Permanent de la Sélection (CTPS) où les représentants des obtenteurs et des utilisateurs sont présents aux côtés de l'administration et de la recherche publique. Ceci permet une cohérence entre l'évolution des critères d'inscription et les gains possibles en sélection, et assure également une coexistence entre programmes de sélection de différentes entreprises, gage de l'émulation et d'un progrès rapide.

- La longue tradition française de commercialiser les variétés en pur a longtemps permis une communication technique individualisée mettant en avant les progrès agronomiques et permettant un choix plus ciblé des utilisateurs. L'obligation de s'aligner sur les règles de commercialisation européennes (autorisation de vendre les semences fourragères en mélange) n'a pas encore changé fondamentalement les habitudes de notre marché.

3. Du progrès génétique, certainement ! mais pour quels caractères ?

■ Le rendement fourrager

C'est le premier caractère qui vient à l'esprit et qui concerne toutes les espèces fourragères sélectionnées. Encore aujourd'hui, c'est **un critère très important pour l'inscription** dans les principaux catalogues européens : un rendement insuffisant est presque toujours synonyme de refus. Ces exigences officielles ont imposé et imposent encore aux sélectionneurs de ne déposer à l'inscription que des variétés de plus en plus productives.

Derrière le terme de rendement fourrager se cachent aussi des notions plus précises comme la teneur en matière sèche et la répartition de la production selon les coupes, les saisons ou les années. Tous ces aspects ont été pris en compte afin de produire plus durant les périodes favorables et en fonction des modes d'utilisation : certaines variétés sont donc plus adaptées à la pâture (ray-grass anglais très tardif Argoal, 2004) ; d'autres sont typées "ensilage" (ray-grass d'Italie Lascar, 2005) ; d'autres poussent plus facilement en été-automne (dactyle Accord, 1996)...

Une des principales avancées est certainement le **meilleur étalement de la production** : les variétés actuelles démarrent leur croissance tôt dès la sortie de l'hiver et poussent tard à l'automne, ce qui représente un gain d'au moins un mois de croissance supplémentaire valorisable par du pâturage (dactyle Ludovic, 1998 ; fétuque élevée Dulcia, 1999).

Tout ce travail autour du rendement fourrager a été largement **facilité grâce à la mécanisation des chantiers de récolte des essais fourragers**. Dans les années 1970-80, la motofaucheuse a été remplacée avantageusement par la récolteuse à fourrage pour exploiter les microparcelles. Cette mécanisation a permis d'augmenter très significativement les volumes d'expérimentation, donc de comparer plus de génotypes ce qui est bénéfique pour améliorer l'efficacité de la sélection. La mécanisation a donné également la possibilité de développer l'expérimentation multi-locale nécessaire pour mieux comprendre les interactions génotype-milieu et identifier les variétés qui ont une plus large adaptabilité ou qui se comportent mieux en conditions de stress climatique (sécheresse ou hiver rigoureux).

Les **outils informatiques et statistiques** de plus en plus performants sont venus en appui de la mécanisation pour recueillir, stocker et analyser toutes ces informations ce qui représente une aide considérable à la sélection.

■ La tolérance aux maladies

L'amélioration pour la tolérance aux maladies a été certainement **l'une des principales préoccupations des sélectionneurs et les progrès accomplis sont à la mesure des efforts entrepris**.

Toutes les espèces fourragères sont en effet naturellement sensibles à de nombreuses maladies foliaires ou racinaires ; rappelons aussi que, dans la pratique agricole, on ne traite pas chimiquement les prairies afin que le fourrage consommé par les animaux soit indemne de résidus de pesticides. La prise en compte en sélection des principaux pathogènes **permet** en général **de gagner sur plusieurs tableaux à la fois** car une meilleure tolérance aux maladies signifie généralement en période d'attaque une moindre réduction de la production fourragère, une pérennité non pénalisée et un fourrage resté sain et appétable ce qui garantit le maintien d'une bonne valeur alimentaire.

Au niveau français, nous nous sommes tout particulièrement préoccupés de la rouille couronnée (*Puccinia coronata*) (WILKINS, 1975) et du flétrissement bactérien (*Xanthomonas campestris* pathovar *graminis*) des ray-grass, de la verticilliose (*Verticillium albo-atrum*), de l'anthracnose (*Colletotrichum trifolii*) et du nématode des tiges (*Ditylinchus dipsaci*) de la luzerne, de la rouille jaune (*Puccinia striiformis*) du dactyle. Afin d'éviter les aléas des attaques en milieu naturel, des tests d'inoculation artificielle conduits en chambre de culture ou en serre, réalisés au stade plantule, ont été mis au point. Ceci a permis d'enchaîner des cycles réguliers d'amélioration (en général un cycle de sélection récurrente par an afin d'optimiser le progrès génétique). La difficulté pour le sélectionneur est de réussir à rassembler dans une même variété les gènes de résistance à plusieurs pathogènes.

Un travail plus conventionnel au champ a concerné les autres maladies, si possible dans un milieu favorable au développement

d'attaques significatives permettant un tri efficace du matériel en étude : par exemple des études de collections de ray-grass en milieu continental pour trier sur la tolérance à la fusariose froide (*Fusarium nivale*).

Aujourd'hui, tout le monde reconnaît que les variétés récentes du commerce sont réellement beaucoup plus tolérantes aux maladies que les variétés d'autrefois : c'est une évidence tellement les progrès réalisés sont importants. Cependant, le combat n'est pas terminé car les pathogènes ont la capacité d'évoluer (mutations) afin de contourner les résistances. Le réchauffement climatique ainsi que les échanges internationaux créent également des conditions favorables à l'arrivée et au développement de nouvelles maladies. Il faut donc rester vigilants malgré les avancées significatives accomplies.

■ La qualité du fourrage

Le travail concernant l'amélioration de la qualité du fourrage a démarré plus tardivement en se focalisant d'abord sur des espèces à problème comme la fétuque élevée (feuillage rigide rapidement lignifié), à forte importance commerciale comme le ray-grass anglais ou à utilisation industrielle comme la luzerne destinée à la déshydratation.

Dans les années 1970-80, les méthodes de travail étaient lourdes et coûteuses : analyses chimiques conventionnelles au laboratoire, digestibilité *in vitro* (LILA *et al.*, 1986) ou *in sacco* dans le rumen de vaches fistulées, tests de préférence animale en cafétéria d'auges (GILLET *et al.*, 1984) et *in situ*... A ce sujet, il est difficile de passer sous silence la question de la sélection pour l'adaptation au pâturage qui a longtemps agité la profession et les utilisateurs : au-delà des réserves émises sur la formule de calcul de l'indice, l'interprétation des résultats comparatifs ne tenait que rarement compte des biais introduits par les différences de précocité, de niveau de production, de port, de ploïdie et même de l'éventuelle présence d'endophyte. Rappelons simplement que, pour les bovins, le pâturage est favorisé par une architecture de plante à limbes longs et gaines courtes qui favorise une bonne préhensibilité du fourrage et limite les refus.

Aujourd'hui, les moyens consacrés à l'étude des critères de qualité ont été développés considérablement et se généralisent même à la plupart des espèces car il est important d'améliorer la qualité du fourrage et les **nouvelles méthodes d'analyses** permettent de travailler sur beaucoup plus d'échantillons, plus de critères et à un coût acceptable (analyses spectrophotométriques dans le proche infrarouge ou NIRS).

Les principaux caractères étudiés sont la digestibilité de la matière organique, la teneur en fibres (ADF, NDF), les glucides solubles et la teneur en protéines. Pour ces caractères, **il existe souvent une diversité génétique suffisante pour envisager des progrès significatifs** que l'on commence à trouver dans certaines

variétés commerciales : Aberavon (2003) est un ray-grass anglais plus riche en sucres solubles ; Hidalgo (2008) est une fétuque élevée plus digestible...

La difficulté pour le sélectionneur est de trouver le meilleur compromis entre l'apport "qualité" et le maintien d'un bon niveau de rendement car il y a généralement des corrélations négatives qui lient ces deux types de caractères.

4. Les autres voies de progrès génétique explorées

Les sélectionneurs ont aussi exploré d'autres voies pour essayer de créer du matériel original et performant :

- Depuis longtemps, **les croisements interspécifiques** ont fait l'objet de travaux de recherche fondamentale et appliquée : travaux initiés par S. ESSAD dès les années 1950. La création d'un **hybride *Festulolium stable***, recombinaison des principales qualités des ray-grass et des fétuques, reste encore un objectif d'actualité car les quelques sorties variétales n'ont été que des prototypes aux performances agronomiques insuffisantes. Le cas du réel succès commercial de Lofa (inscrite au catalogue européen) reste une exception liée à un excellent marketing.

La recherche d'une bonne stabilité chromosomique est indispensable si l'on souhaite obtenir un vrai hybride situé génétiquement à mi-distance des parents. Les croisements entre espèces de niveau tétraploïde, éventuellement après doublement artificiel du nombre de chromosomes des parents, donnent les meilleurs espoirs car ils sont plus faciles à stabiliser : par exemple, le ray-grass anglais ou d'Italie croisé avec la fétuque des prés ou *Festuca arundinacea* var. *glaucescens*, une forme naturellement tétraploïde de fétuque élevée.

L'utilisation de rétrocroisements par l'une des espèces parentales est souvent pratiquée mais les produits finaux présentent moins d'originalité agronomique (hors productivité grainière de bon niveau, cf. variété Lofa) à cause de la grande ressemblance avec le parent ray-grass ou fétuque. C'est seulement sous cette forme de rétrocroisement que peuvent être exploités les hybrides directs entre ray-grass et fétuque élevée classique, de niveau hexaploïde, ce qui explique le recours à la fétuque des prés ou *Festuca arundinacea* var. *glaucescens* pour produire des variétés de *Festulolium* à caractéristiques réellement intermédiaires entre les deux espèces parentales (Lueur, 2007). Le progrès génétique apporté par la sélection des *Festulolium* reste donc encore très limité.

- **La tétraploïdisation** a été explorée avec succès, tout particulièrement chez les ray-grass qui sont naturellement diploïdes ($2n = 14$). Les premières variétés tétraploïdes de ray-grass d'Italie, Tetrone, et de ray-grass anglais, Reveille, ont été inscrites au Catalogue français en 1965. Une partie très significative du marché

national et international des ray-grass est réalisée aujourd'hui avec des variétés tétraploïdes : au moins 50% du marché sauf en Europe du nord où les éleveurs préfèrent les variétés diploïdes, plus faciles d'utilisation.

Mentionnons aussi que **le trèfle violet** a été tétraploïdisé avec comme première variété, Tetri, inscrite en 1966.

Les plantes tétraploïdes possèdent moins d'organes mais sont de taille supérieure et de couleur plus foncée. Ce phénotype sensiblement différent plaît tout particulièrement aux éleveurs. Cependant, les **avantages agronomiques**, réels, sont **modestes** : meilleure appétibilité, meilleure digestibilité et meilleure tenue à la sécheresse que le matériel diploïde. La production grainière est aussi très souvent améliorée sauf chez le trèfle violet car la fécondation entomophile est gênée par la grande taille des pièces florales. En revanche, la teneur en matière sèche, plus faible de 2 points environ, peut poser problème pour réaliser les ensilages et les foins.

Pour des raisons pratiques d'efficacité, le travail de sélection est généralement conduit sur le matériel diploïde puis les génotypes élites sont tétraploïdisés afin de profiter pleinement du progrès génétique déjà réalisé au niveau 2n.

On peut aussi mentionner que la tétraploïdisation a été et reste une voie efficace de stabilisation des ray-grass hybrides (travaux du Dr. BREESE à WPBS-IGER avec comme premières sorties variétales Sabrina, en 1974, et Augusta, en 1978). Cette phase de doublement des chromosomes du ray-grass (et de la fétuque des prés) est également un préalable indispensable à l'obtention des variétés de *Festulolium* tétraploïdes (cf. paragraphe précédent). Cette technique a permis aussi de **restaurer la fertilité des hybrides amphiploïdes** issus du croisement entre les fétuques élevées européennes et méditerranéennes (Lutine, 1991 ; Lunibelle, 1994, et Baradiso, 2005, variétés à 84 chromosomes).

- L'objectif des sélectionneurs a toujours été de **mieux exploiter la vigueur hybride** lors de la création variétale : **l'utilisation de la stérilité mâle** a été explorée car elle apporte une solution élégante pour créer de véritables variétés hybrides F1 qui valorisent au mieux l'hétérosis à la génération commerciale. Les efforts ont porté sur quelques espèces dont la luzerne, le ray-grass et le dactyle mais les difficultés de réalisation de ce genre de construction variétale n'ont que rarement permis de déboucher sur des variétés commercialisées. Les **coûts de sélection et de production** d'une variété hybride F1 sont particulièrement élevés ce qui implique de répercuter le surcoût au prix de la semence : le développement d'un tel produit passe donc par la mise en évidence d'un progrès agronomique très significatif.

Les variétés de dactyle Luflor, 2002, Lumont et Lunella, 2003, créées par l'INRA, utilisent la stérilité mâle dans leur schéma de fabrication mais la génération commerciale est récoltée en mélange avec le pollinisateur afin de réduire les coûts de production.

Dans ce domaine, de nombreux travaux sont en cours, tout particulièrement sur la luzerne et le ray-grass, ce qui laisse entrevoir l'arrivée prochaine de variétés valorisant au mieux la vigueur hybride.

- **La symbiose entre graminées et le champignon endophyte du genre *Neotyphodium*** a été étudiée dans les années 90. Suite aux résultats prometteurs des recherches conduites en Nouvelle-Zélande et aux USA, l'ACVF et l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon ont entrepris d'évaluer l'intérêt de l'endophytisme dans les conditions françaises. Le bénéfice apporté par l'endophyte à la production fourragère, estimé à l'époque dans des conditions favorables à la pousse de l'herbe, était relativement modeste (RAVEL *et al.*, 1995). Au regard de ce faible avantage agronomique et de la production par le champignon d'alcaloïdes toxiques pour le bétail (BONY *et al.*, 2001), il a été décidé par précaution de créer des variétés libres d'endophyte afin d'éviter tout risque sanitaire (EMILE *et al.*, 2000).

Aujourd'hui, il existe des souches d'endophyte disponibles qui produisent uniquement des toxines efficaces contre les insectes (6^e Colloque international "Fungal Endophyte of Grasses", 2006). Par ailleurs, la production fourragère s'étend, en France comme en Europe, vers des milieux défavorables et subit l'effet du changement climatique. La pratique agricole évolue vers une réduction des intrants. Ce nouveau contexte nous amène à penser que **l'exploitation de cette symbiose pourrait être une voie pour améliorer les espèces fourragères destinées aux milieux contraignants** (contraintes biotiques et abiotiques).

- Des études de **génie génétique** ont été menées sur des espèces telles que la fétuque élevée, la luzerne et le ray-grass anglais. Ces travaux visaient à améliorer divers critères :

- la qualité nutritive des plantes : par la modification des voies de biosynthèse des lignines chez la fétuque élevée (travaux de la société Biogemma) ou l'augmentation de la teneur en sucres solubles chez le ray-grass anglais (HISANO *et al.*, 2004), ou encore la modification de la composition en acides aminés des protéines de la luzerne (BELLUCCI *et al.*, 2003) et la fétuque élevée (WANG *et al.*, 2001) ;
- la facilité d'utilisation de ces plantes : avec principalement l'obtention de luzernes résistantes au Roundup® et expérimentées aux Etats-Unis (VAN DEYNZE *et al.*, 2004) ;
- la résistance aux stress biotiques ou abiotiques : chez la luzerne (SPANGENBERG *et al.*, 2001) avec l'obtention de plantes tolérantes à des champignons ou à des insectes ravageurs ; d'autres travaux ont consisté également à créer des plantes capables de tolérer la présence de métaux lourds dans le sol (TESFAYE *et al.*, 2001) ;
- enfin, des travaux se sont intéressés au développement de la plante : La société Calwest aux Etats-Unis a réussi le transfert d'un gène influençant la sénescence de la luzerne. De même, la société DLF Trifolium et le laboratoire danois Risoe ont transféré un gène induisant un retard de la floraison chez le ray-grass anglais.

Néanmoins, la création de variétés de plantes fourragères transgéniques se heurte à deux difficultés majeures : tout d'abord ces espèces ont des génétiques complexes, souvent polyploïdes et sont diffusées sous forme de variétés synthétiques, ce qui complexifie considérablement l'introduction des gènes modifiés dans les variétés ; ensuite, ces espèces ont aussi la particularité d'exister à l'état de populations naturelles : les flux de pollen entre ces populations et les plantes transgéniques doivent être étudiés très précisément avant toute valorisation agronomique.

5. Bilan et preuves du progrès génétique après 50 années de sélection

Pour la grande majorité des intervenants de la filière fourragère, le bilan d'un demi siècle de sélection est perçu comme très positif. Cependant, afin de mesurer plus précisément les progrès accomplis et aussi pour essayer de convaincre les quelques utilisateurs encore dans le doute, **une expérimentation de grande ampleur** a été mise en place par l'ACVF, l'INRA et la FNAMS en France en 2006. En effet, le meilleur moyen d'évaluer le progrès génétique est de tester dans un même essai un échantillon de variétés représentatives des principales étapes de l'histoire de la création variétale. Ce travail n'a été conduit que **sur le ray-grass anglais diploïde**, à cause de la lourdeur de la tâche, mais on peut penser que des résultats comparables auraient été obtenus en étudiant le progrès génétique sur d'autres espèces.

L'échantillon de variétés du ray-grass anglais retenu comprenait 21 variétés inscrites au Catalogue national fourrage entre 1971 et 2004, ainsi que 7 écotypes de différentes zones climatiques de l'Europe supposés représenter la diversité à l'origine des travaux de sélection (tableau 1). Cet échantillon de variétés a été testé pour sa valeur fourragère (exploitation en fauche) dans quatre lieux pour trois années de production (2006, 2007, 2008) et pour sa production grainière (en première année de production) dans deux lieux (2007 pour l'un et 2008 pour l'autre).

TABLEAU 1 : **Echantillon de variétés diploïdes et d'écotypes de ray-grass anglais utilisé pour évaluer le progrès génétique obtenu par la sélection pour la valeur en fourrage** (expérimentation ACVF-INRA-FNAMS, 2006-2008).

TABLE 1 : **Sample of diploid cultivars and of ecotypes of Perennial Ryegrass used for the evaluation of the genetic progress achieved by breeding for the forage value** (experiments by ACVF, INRA, FNAMS, 2006-2008).

Variété	Obtenteur	Année d'inscription	Variété	Obtenteur	Année d'inscription
Variétés fourragères			Variétés fourragères		
Aberavon	IGER	2000	Pacage	Carneau	1988
Argoal	R2N	2004	Perma	Cebeco	1974
Barlet	Barenbrug	1985	Pradal	R2N	2001
Barnhem	Barenbrug	1999	Rathlin	PBSA (Irlande du Nord)	1982
Brital	R2N	2000	Trani	DLF	1977
Cadans	Cebeco	1996	Vigor	Rikjsstation (Belgique)	1971
Carillon	Carneau	2002			
Carrera	Carneau	2000	Ecotypes		
Clerpin	INRA	1996	Belgique		
Compliment	Van der Have	1997	France (Bretagne)		
Donata	Van der Have	1977	France (Centre)		
Herbie	Van der Have	1990	Danemark		
Lactis	Limagrain - DLF	2003	Hongrie		
Maprima	Malchow	1980	Irlande		
Ohio	Green Genetics - DLF	1990	Ukraine		

TABLEAU 2 : Progrès génétique par décennie obtenu en sélection fourragère du ray-grass anglais pour quelques caractères évalués selon une échelle discrète, et probabilité H0.

TABLE 2 : *Genetic progress achieved per period of ten years through the breeding of Perennial Ryegrass for a number of characters estimated on a discrete scale, and probability of the null hypothesis (H0).*

Caractère	Progrès génétique par 10 ans*		Probabilité H0**
	(% unité écart type)	(point sur une échelle de 1 à 9)	
Taux de remontaison	- 43	- 0,29	0,03
Résistance aux rouilles	+ 70	+ 0,64	0,0004
Pérennité	+ 54	+ 0,27	0,007
Longueur des feuilles	nul	nul	0,99
Port des plantes	nul	nul	0,16
Tallage	nul	nul	0,12

* Les progrès génétiques sont exprimés en pourcentage de l'unité d'écart type de l'échantillon des variétés étudiées et en point selon une échelle de notation du caractère de 1 à 9
 ** Probabilité de l'hypothèse nulle pour le test de signification du coefficient de régression linéaire des caractères par rapport à l'année d'inscription des variétés

Le progrès génétique (tableaux 2 et 3) s'est révélé hautement significatif ($p < 0,001$) pour le rendement fourrager d'automne, la résistance aux rouilles et la pérennité, et significatif ($p < 0,05$) pour le rendement fourrager d'été et la réduction du taux de remontaison. Il est possible que l'amélioration de la résistance aux rouilles et la réduction du taux de remontaison aient contribué au progrès noté sur le rendement d'automne, car la résistance aux rouilles et le taux de remontaison sont apparus liés au rendement d'automne (corrélations avec le rendement d'automne de 0,82 et -0,40, respectivement). En revanche, il n'a pas été observé de progrès significatif sur le rendement fourrager de printemps. Celui-ci s'est révélé principalement corrélé à la morphologie des plantes, en particulier à la longueur des feuilles pour laquelle il n'a pas été noté d'évolution significative avec la sélection. Il semblerait donc judicieux d'inclure à l'avenir un effort de sélection directe sur la longueur des feuilles dans les schémas de sélection, en vue d'obtenir une amélioration plus nette du rendement de printemps, car celui-ci reste le principal contributeur au cumul des rendements des coupes de l'année (rendement cumulé annuel).

TABLEAU 3 : Progrès génétique par décennie obtenu en sélection fourragère du ray-grass anglais pour quelques caractères quantitatifs, probabilité H0 et moyenne de l'échantillon des variétés testées.

TABLE 3 : *Genetic progress achieved per period of ten years through the breeding of Perennial Ryegrass for some quantitative characters, probability of the null hypothesis (H0) and mean of the sample of the tested cultivars.*

Le progrès sur le rendement cumulé annuel a été évalué à 0,36 t/ha par 10 ans (figure 1), une valeur très proche de résultats obtenus dans d'autres études basées sur des synthèses de résultats d'essais d'inscription (CAMLIN, 1997 ; TABEL et ALLERIT, 2005). Cet accord entre différentes évaluations suggère que l'avantage constaté

Caractère	Progrès génétique par 10 ans (point sur une échelle de 1 à 9)	Probabilité H0*	Moyenne
Rendement cumulé annuel (t MS/ha)	+ 0,36	0,0012	12,3
Rendement cumulé des coupes de printemps (t MS/ha)	+ 0,12	0,16	6,3
Rendement cumulé des coupes d'été (t MS/ha)	+ 0,09	0,04	4,3
Rendement cumulé des coupes d'automne (t MS/ha)	+ 0,15	< 0,0001	2,3
Sucres solubles (% matière sèche)	+ 0,67	0,003	14,7
Teneur en lignine (ADL) (% matière sèche)	- 0,05	0,0001	1,8
Teneur en NDF (% matière sèche)	- 0,27	0,06	44,3
Teneur en protéines totales (% matière sèche)	- 0,23	0,003	15,0
Digestibilité du NDF (% NDF)	+ 0,40	0,14	78,7

* Probabilité de l'hypothèse nulle pour le test de signification du coefficient de régression linéaire des caractères par rapport à l'année d'inscription des variétés

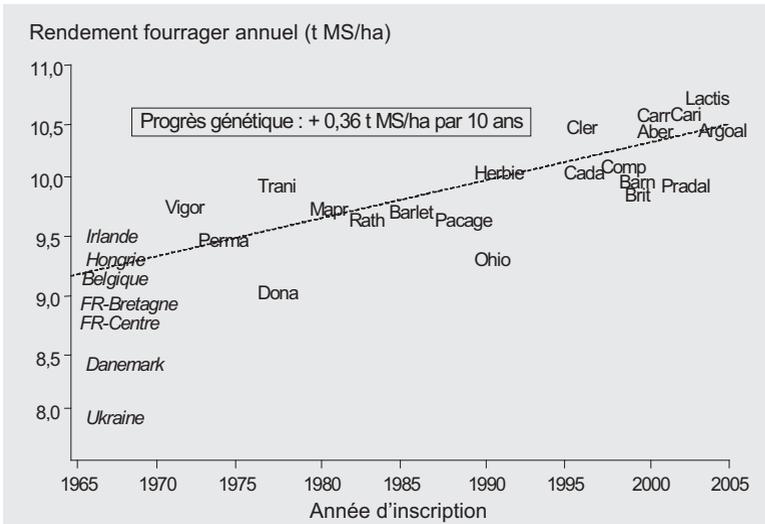


FIGURE 1 : **Evaluation du progrès génétique en sélection fourragère : évolution du rendement cumulé annuel avec la date d'inscription des variétés de ray-grass anglais testées.** La ligne représente la droite de régression du rendement cumulé annuel par rapport à l'année d'inscription pour les seules variétés. Les écotypes (en italique) ont été arbitrairement positionnés sur l'axe des abscisses.

FIGURE 1 : **Evaluation of the genetic progress achieved in the breeding of forages : change in the cumulated yearly yield in relation to the date of registration of the Perennial Ryegrass cultivars tested.** The line represents the regression of the cumulated annual yields with respect to the year of registration of the sole cultivars. The ecotypes 'in italics' are placed arbitrarily on the X-axis.

des variétés récentes n'est pas lié à des conditions environnementales particulières et n'est pas biaisé par un choix de variétés insuffisamment représentatives. Bien qu'il n'y ait pas eu réellement de sélection directe pour la composition biochimique des fourrages, il a été constaté que la sélection pour le rendement fourrager a conduit à une réduction du taux de lignine du fourrage et à une augmentation de sa teneur en sucres solubles. Toutefois, il n'a **pas** été remarqué **d'amélioration significative de la digestibilité des constituants pariétaux (DNDF)** qui est le facteur déterminant de la valeur énergétique du fourrage. **Pour le futur**, on peut espérer que la **prise en compte systématique des critères biochimiques** dans le travail de sélection permettra un progrès plus net sur la valeur alimentaire du fourrage.

Enfin, il n'a **pas** été noté **d'amélioration significative du niveau de production grainière**. De grandes variations de production grainière ont été observées entre variétés anciennes comme entre variétés récentes. Ceci témoigne du fait que l'effort des sélectionneurs a bien davantage porté sur l'amélioration de la valeur d'usage pour les éleveurs que pour la rentabilité de la production grainière. Il n'y a pas de doute que l'existence d'un Catalogue national exigeant a dû grandement contribuer à ce résultat au bénéfice de la productivité et de la qualité de nos prairies.

Ce travail se poursuit avec les équipes expérimentées en place, des méthodes conventionnelles éprouvées et l'utilisation progressive du marquage moléculaire comme outil de description de la variabilité génétique et de suivi des gènes d'intérêt : ces nouvelles opportunités devraient permettre de sélectionner les espèces fourragères pérennes avec encore plus de précision et d'efficacité !

Contribution sollicitée pour les 50 ans
de la revue *Fourrages* et de l'A.F.P.F.,
le 10 décembre 2009.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BONY S., EMILE J.C., DURIX A., RAVEL C., GUILLAUMIN J.J., GHESQUIERE M. (2001) : "Incidences des toxines de champignons endophytes des graminées sur les herbivores en conditions européennes", *Renc. Rech. Ruminants*, 8, 149-152.
- CAMLIN M.S. (1997) : "Grasses, Seeds of progress", *Proc. BGS/BSPB/NIAB/SAC Conference*, Nottingham, UK, 2-14.
- EMILE J.C; *et al.* (2000) : "Influence of consumption of endophyte-infected tall fescue hay on performance of heifers and lambs", *J. of Animal Sci.*, 78, 2, 358-364.
- Fungal endophytes of grasses (2006) : *From the lab to the farm*, Actes 6^e colloque int. "Fungal endophytes of grasses", *Grassland Research and Practice Series*, n°13, 520 p.
- GALLAIS A. (1992) : "Pourquoi faire des variétés synthétiques ?", *Agronomie*, 12, 601-609.
- GILLET M., NOËL C., JADAS-HECART J. (1983) : "La cafétéria d'auges, méthode d'étude de l'appétibilité", *Agronomie*, 3, 8, 817-822.
- HISANO H., KANAZAWA A., YOSHIDA M., SHIMAMOTO Y., YAMADA T. (2004) : "Transgenic perennial ryegrass plants expressing wheat fructosyltransferase genes accumulate increased amounts of fructan and acquire increased tolerance on a cellular level to freezing", *Plant Sci.*, 167, 4, 861-868.
- LILA M., BARRIERE Y., TRAINEAU R. (1986) : "Mise au point et étude d'un test enzymatique de la digestibilité de fourrages pauvres ou riches en amidon", *Agronomie*, 6 (3), 285-291.
- RAVEL *et al.* (1995) : "Influence of the fungal endophyte *Acremonium lolii* on agronomic traits of perennial ryegrass in France", *Grass and Forage Sci.*, 50, 1, 75-80.
- SPANGENBERG G., KALLA R., LIDGETT A., SAWBRIDGE T., ONG E., JOHN U. (2001) : "Transgenesis and genomics in molecular breeding of forage plants", *Proc. XIXth Int. Grassl. Congr.*, 615-625.
- TABEL C., ALLERIT R. (2005) : "Bilan du progrès génétique obtenu pour différents caractères et différentes espèces", *Fourrages*, 183, 365-376.
- TESFAYE M., TEMPLE S., ALLAN D., VANCE C., SAMAC D. (2001) : "Overexpression of malate dehydrogenase in transgenic alfalfa enhances organic acid synthesis and confers tolerance to aluminium", *Plant Physiol.*, 127, 1836-1844.
- VAN DEYNZE A., PUTNAM D., ORLOFF S., LANNI T., CANAVARI M., VARGAS R., HEMBREE K., MUELLER S., TEUBER L. (2004) : "Roundup Ready alfalfa: an emerging technology", ANR pub., <http://anrcatalog.ucdavis.edu/merchant.ihtml?pid=5655&step=4>.
- WANG Y., YE X., NAGEL J., POTRYKUS I., SPANGENBERG G. (2001) : "Expression of a sulphur-rich sunflower albumin gene in transgenic tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) plants", *Plant cell rep.*, 20, 213-219.
- WILKINS P.W. (1975) : "Inheritance of resistance to *Puccinia coronata* Corda and *Rhynchosporium ortosporium* Cadwell in Italian ryegrass", *Euphytica*, 24, 191-196.

SUMMARY

Genetic progress made in the perennial forage species during the past fifty years

The breeding of forage species in France began only fifteen years ago, along with the modernization and intensification of animal husbandry. Thanks to favourable circumstances, progress has been considerable, as shown in the present paper. Apart from the benefit derived from the emulation among the various teams of workers in this field and the complementarity between public and private research institutions, the forage sector had the particular advantage of profiting from two special organizations, the C.T.P.S. (Permanent Technical Committee for Breeding, a structure with equal participation of the members : farmers, breeders, researchers...) and A.C.V.F. (Association of Creators of Forage Cultivars, grouping forage plant breeders) ; thanks to these structures, a national list of registered cultivars could be set up, with the task of evaluating the new creations and warranting their advantages. Recurrent breeding based on individuals and families, bearing at once on several characters, made it possible to increase the forage yields (by 0,36 t DM/ha per period of ten years), the resistance to various diseases and the quality of the forage. Other methods are also mentioned (chromosome doubling, inter-specific or inter-generic crosses, giving rise to strains of *Festulolium*, male sterility, genetic engineering, etc.) ; the use of genetic markers does also open new prospects.