



**HAL**  
open science

## Les associations graminées - légumineuses prairiales. Comment sélectionner des variétés pour accroître leur productivité et faciliter leur conduite ?

Bernadette Julier, Gaëtan Louarn, Francois Gastal, Fabien Surault, Jean Paul  
J. P. Sampoux, Amel Maamouri, Laura Fernandez

### ► To cite this version:

Bernadette Julier, Gaëtan Louarn, Francois Gastal, Fabien Surault, Jean Paul J. P. Sampoux, et al.. Les associations graminées - légumineuses prairiales. Comment sélectionner des variétés pour accroître leur productivité et faciliter leur conduite ?. Innovations Agronomiques, 2014, 40, pp.61-72. hal-02630846

**HAL Id: hal-02630846**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02630846>**

Submitted on 27 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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0  
International License

## **Les associations graminées - légumineuses prairiales. Comment sélectionner des variétés adaptées pour accroître leur productivité et faciliter leur conduite ?**

**Julier B., Louarn G., Gastal F., Surault F., Sampoux J.-P., Maamouri A., Fernandez L.**

INRA, UR4 Unité de Recherche Pluridisciplinaire Prairies et Plantes Fourragères, F-86600 Lusignan

Correspondance : bernadette.julier@lusignan.inra.fr

### **Résumé**

Les prairies semées en association graminées – légumineuses permettent de combiner des performances agronomiques et environnementales tout en facilitant la conduite. Ces prairies doivent bénéficier d'un progrès génétique, progrès exercé à l'échelle des espèces. La sélection et l'évaluation des variétés sont essentiellement conduites en monoculture, ce qui ne permet pas de créer et d'identifier des variétés performantes en association. Le choix des variétés à introduire dans une association est déjà orienté par les conditions pédoclimatiques et d'exploitation puisque certaines caractéristiques variétales sont retrouvées dans les associations, comme la précocité de démarrage ou d'épiaison, la remontaison ou la tolérance à des maladies. Nous rapportons des résultats récents sur les associations luzerne – graminées montrant que le classement des génotypes ou des variétés de luzerne pour la production de biomasse est sensiblement différent en association et en monoculture. En revanche, la production de biomasse d'une association se décompose essentiellement en effets additifs des variétés de chaque espèce, sans interaction statistiquement significative. Nous proposons donc des pistes pour prendre en compte la valeur en association, pour la création variétale et l'évaluation des variétés.

**Mots-clés** : amélioration des plantes, azote, fourrage, luzerne, ray-grass, rendement

### **Abstract: Mixed grass-legume grasslands. How to breed adapted varieties to increase their productivity and ease their management?**

Grasslands sown with grass – legume mixtures combine agricultural and environmental performances with easy management. These grasslands require genetic progress, progress conducted at the species level. Breeding and evaluation of varieties are mainly conducted in monoculture, which does not for sure allow creating and identifying varieties that perform well in mixture. The choice of varieties to be introduced in a mixture is already guided by the choice of associated species, the soil, climatic and management conditions because some variety characteristics are recovered in mixtures such as the regrowth or flowering earliness, re-heading or disease tolerance. This means that a catalogue of varieties should have a diversity of varieties of each species, for mixtures and monocultures. We report on recent results on lucerne – grass mixtures showing that the ranking of lucerne genotypes or varieties for biomass production is slightly different in mixture and in monoculture. However, biomass production of a mixture mainly resulted in additive effects of the varieties of each species without statistically significant interaction. We therefore propose methods to take into account the performance in mixture for variety breeding and evaluation.

**Keywords**: plant breeding, forage, nitrogen, yield, alfalfa, perennial ryegrass

## Introduction

Les prairies temporaires sont traditionnellement semées avec des mélanges d'espèces, en intégrant très généralement au moins une légumineuse et une graminée fourragère. A partir des années 1960, les préconisations étaient souvent de ne semer qu'une seule espèce, une pratique agricole qui permet de simplifier la gestion de la prairie (Huyghe et Delaby, 2013) mais nécessite l'emploi d'engrais azotés et de désherbants. Les nombreux bénéfices agronomiques, économiques et environnementaux des associations sont maintenant redécouverts : possibilité de sur-production par rapport aux monocultures (ou cultures pures), réduction de la fertilisation azotée ce qui génère des économies financières, une moindre utilisation d'énergie fossile et un moindre impact environnemental négatif (émission de gaz à effet de serre, lixiviation des nitrates), production d'un fourrage équilibré en protéines et énergie, production plus régulière au cours de l'année (Finn *et al.*, 2013 ; Luscher *et al.*, 2014 ; Protin *et al.*, 2014). Les prairies en association ont aussi des atouts dans la gestion des rotations (Hoyt, 1990), en augmentant la matière organique azotée des sols et en améliorant la structure des sols. Actuellement, au moins 75% des prairies temporaires sont semées avec des mélanges d'espèces (Huyghe et Delaby, 2013).

Le choix des espèces à associer, même s'il fait toujours l'objet d'études, est relativement stabilisé quand il s'agit de mélanges binaires et dépend des modes d'utilisation de la prairie (fauche ou pâture) et des conditions pédoclimatiques (AFPF 2014, [http://afpf-asso.fr/files/Outils/Plaquette\\_AFPF-Melanges.pdf](http://afpf-asso.fr/files/Outils/Plaquette_AFPF-Melanges.pdf)). Schématiquement, des associations à base de ray-grass anglais et de trèfle blanc sont utilisées dans les régions tempérées humides pour du pâturage. Des associations à base de trèfle violet, de luzerne, de dactyle ou féтуque élevée conviennent bien pour une utilisation en fauche, y compris dans des conditions sèches. Les règles d'assemblage consistent à limiter les compétitions (par exemple en associant des espèces de hauteurs similaires pour qu'elles aient les mêmes capacités d'interception de la lumière) tout en favorisant la facilitation ou la complémentarité (plantes fixatrices d'azote et non fixatrices, profondeurs d'enracinement contrastées) (Gastal *et al.*, 2012 ; Louarn *et al.*, 2010 ; Justes *et al.*, 2014, ce numéro). En revanche, le choix des variétés est beaucoup moins documenté. De fait, les variétés sont sélectionnées pour la monoculture. Très généralement, les meilleures variétés pour une utilisation en monoculture sont considérées être très bonnes pour une utilisation en mélange. Pourtant, les conditions environnementales locales diffèrent fortement en monoculture et en association : la compétition pour les ressources (lumière, eau, azote) peut conduire à la disparition d'une des espèces qui est concurrencée par l'autre espèce ; la facilitation au contraire peut permettre une meilleure valorisation des ressources par le mélange que par une espèce pure.

Dans ce texte, nous focaliserons l'analyse du choix variétal aux associations binaires incluant une légumineuse, la luzerne, et une graminée, le dactyle ou la féтуque et comparerons certains résultats à des données acquises sur les associations à base de trèfle blanc. Nous décrirons tout d'abord les objectifs fixés à une prairie d'association en termes de productivité et de facilité de gestion des prairies. Nous présenterons quelques résultats récents montrant l'impact des effets génétiques sur la performance de l'association. Nous en déduirons quelques pistes d'aménagement des schémas de sélection pour prendre en compte la valeur des variétés en association.

## 1. Objectifs fixés à une prairie d'association

### 1.1 Des performances agronomiques améliorées avec peu d'intrants

La valeur agronomique des associations est appréciée par un ensemble de critères : production de matière sèche annuelle, répartition de cette production au cours de l'année, pérennité de la production sur plusieurs années, valeur alimentaire. L'attente vis-à-vis des associations est d'au moins égaler les monocultures pour ces critères, voire de les dépasser. Une association légumineuse – graminée permet d'obtenir un rendement donné avec un moindre besoin en fertilisation azotée (Nyfeler *et al.*, 2009 ;

Nyfelner *et al.*, 2011 ; Protin *et al.*, 2014). On estime qu'une légumineuse pérenne en association fournit entre 100 et 300 kg d'azote par ha et par an (Ledgard et Steele, 1992 ; Louarn *et al.*, 2010 ; Louarn *et al.*, 2015). D'autre part, alors qu'une monoculture de luzerne requiert souvent une application de désherbants puisque les adventices profitent des périodes après les coupes pendant lesquelles les inter-rangs sont presque nus, le développement des adventices est moindre dans les associations (Chamblee et Collins, 1988 ; Spandl *et al.*, 1999 ; F. Surault, non publié). En termes de composition biochimique, l'équilibre entre énergie et protéines est plus facile à atteindre avec une association qu'avec une légumineuse pure (riche en protéines solubles) ou une graminée pure (riche en énergie). Néanmoins, la valeur alimentaire du fourrage récolté sur une association dépend de la proportion des deux espèces et de leurs compositions biochimiques respectives. Lorsque cette proportion des espèces est proche de 50%, la proportion de protéines, fibres et sucres solubles du fourrage correspond aux besoins des animaux.

Les avantages agronomiques des associations se traduisent aussi par une préservation de l'environnement. Principalement, la réduction de la fertilisation azotée pour les associations, ayant pour triple impact une moindre consommation en énergie fossile nécessaire à la synthèse des engrais azotés chimiques, une réduction des émissions de protoxyde d'azote générées par l'épandage des engrais azotés et une moindre lixiviation des nitrates, réduit l'impact des cultures fourragères sur l'environnement. De plus, une association stocke des reliquats azotés qui seront disponibles pour la culture suivante, comme le fait une monoculture de légumineuse (Justes *et al.*, 2001). La réduction de l'utilisation d'herbicides pour lutter contre les adventices est aussi un atout environnemental des associations.

### 1.2 Une souplesse accrue d'exploitation de la prairie

Les associations légumineuses-graminées sont plus complexes à conduire qu'une prairie monospécifique à cause du risque qu'une espèce disparaisse au profit de l'autre, et du fait des possibilités limitées de désherbage. Toutefois, face aux attentes diversifiées des agriculteurs selon les modes d'exploitation et d'élevage choisis, les prairies doivent pouvoir tolérer des rythmes d'exploitation (date de la première coupe, rythme de coupe), des modes de récolte (fauche avec différentes modalités de conservation – foin, ensilage, déshydratation, pâturage), des contraintes pédoclimatiques (excès de chaleur ou de froid, sécheresse ou excès d'eau, acidité, structure des sols) variées. Chacune des espèces, prise individuellement, présente des qualités ou des désavantages vis-à-vis des besoins en fourrage et de l'adaptation aux contraintes (Huyghe et Delaby, 2013, <http://www.prairies-gnis.org/pages/caracteristiques.htm> ; [http://afpf-asso.fr/multisward/doku.php?id=especes\\_vegetales](http://afpf-asso.fr/multisward/doku.php?id=especes_vegetales)). L'association de plusieurs espèces peut permettre d'obtenir une prairie combinant les avantages de différentes espèces et offrir une plus grande souplesse d'exploitation et/ou une meilleure tolérance aux stress que des prairies monospécifiques. La composition en espèces est raisonnée par rapport aux contraintes d'exploitation principales ([http://afpf-asso.fr/files/Outils/Plaqueette\\_AFPF-Melanges.pdf](http://afpf-asso.fr/files/Outils/Plaqueette_AFPF-Melanges.pdf)). Face à des aléas climatiques ou de gestion (coupe plus/moins tardive que prévu, pâturage au lieu d'une fauche, etc.), la prairie en association aura moins de variations de production ou de qualité qu'une prairie monospécifique qui aurait montré la faiblesse d'une espèce donnée face à un aléa rencontré.

Outre le choix des espèces, il existe une variabilité génétique au sein de chaque espèce qui peut être valorisée dans les mélanges au travers du choix variétal. En effet, les caractéristiques intrinsèques des variétés vont être, au moins pour partie, retrouvées dans les mélanges. Ainsi, les variétés diploïdes (ray-grass anglais, trèfle violet) seront privilégiées pour une utilisation en foin du fait de leur teneur en matière sèche plus élevée et de leur séchage plus rapide que celui des variétés tétraploïdes. Des variétés de luzerne à tiges fines seront appropriées à un mélange destinée à de l'enrubannage. Ces exemples de raisonnement du choix variétal peuvent être multipliés et sous-entendent que les caractéristiques générales des variétés sont conservées dans les mélanges.

De plus, une compatibilité dans le choix des espèces et variétés sera recherchée, en regard avec les objectifs de l'agriculteur. Par exemple, si une exploitation est prévue précocement au printemps, une variété de ray-grass anglais précoce sera choisie, en privilégiant une variété peu remontante. Autre exemple, si le trèfle blanc est associé à une fétuque ou un dactyle, c'est une variété géante ou intermédiaire qui sera choisie alors qu'on privilégiera souvent une variété de trèfle blanc naine ou intermédiaire pour être associée au ray-grass anglais. Une variété plus agressive sera choisie dans des conditions moins favorables au trèfle blanc, et réciproquement. Dans les associations avec luzerne et fétuque élevée ou dactyle, on privilégiera une variété de graminée tardive à épiaison pour que la qualité de l'association soit préservée.

Dans la même logique qu'un mélange d'espèces permet de limiter les variations de rendement ou de qualité, un mélange de variétés au sein d'une association est fréquemment réalisé. En combinant plusieurs variétés, on cherche à additionner les caractéristiques positives de chacune d'entre elles. Les données sur l'impact des mélanges de variétés dans la valeur agronomique des associations sont encore lacunaires.

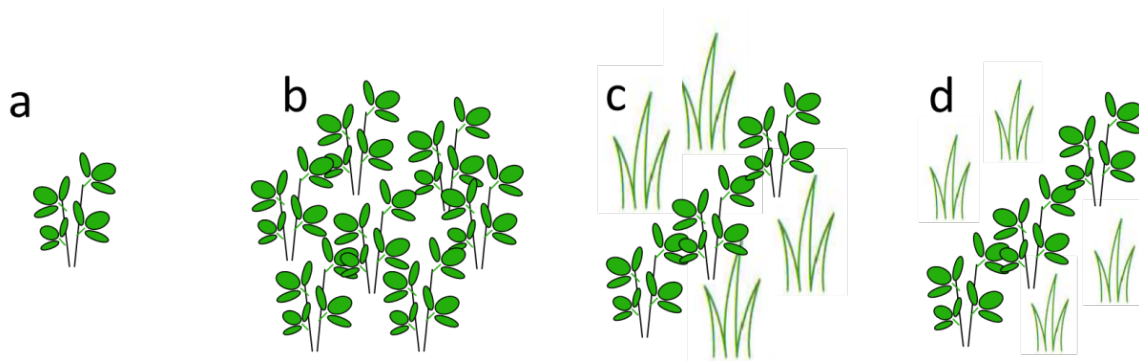
Les avantages des associations ne peuvent être atteints que si les deux espèces semées se maintiennent au fil des coupes dans des proportions suffisantes. Pour des espèces ayant de faibles capacités de colonisation de l'espace (comme la luzerne), la réduction du nombre de plantes dans le peuplement d'association peut s'avérer délétère pour la fourniture d'azote et la production de biomasse. L'optimum de proportion de légumineuses (proportion de biomasse récoltée) est d'environ 30 à 60% (Luscher *et al.*, 2014 ; Nyfeler *et al.*, 2011) sur des associations comprenant du trèfle blanc ou du trèfle violet. Cette proportion permet de maximiser la production de biomasse par l'association tout en s'approchant de l'optimum d'acquisition d'azote atmosphérique (par fixation des légumineuses) et minéral par le couvert.

## **2. Performances comparées des variétés en monoculture et en association**

La comparaison des performances est rapidement laborieuse puisque les niveaux des facteurs étudiés (variétés de graminée, variétés de légumineuses) sont multiplicatifs. Elle doit idéalement intégrer un grand nombre de caractères, comme évoqué ci-dessus : rendement, qualité, quantité d'azote fixé, etc. La question générale de la comparaison des variétés en monoculture et en association mérite d'être scindée en plusieurs aspects : (1) le classement des variétés en monoculture est-il le même qu'en association ? (2) dans les associations, le classement des variétés d'une espèce dépend-il de la variété de l'espèce compagne ? (3) est-il judicieux de mélanger plusieurs variétés pour améliorer encore la performance d'une association ? Nous fournirons quelques résultats expérimentaux récents ou collectés dans la littérature pour répondre à ces questions.

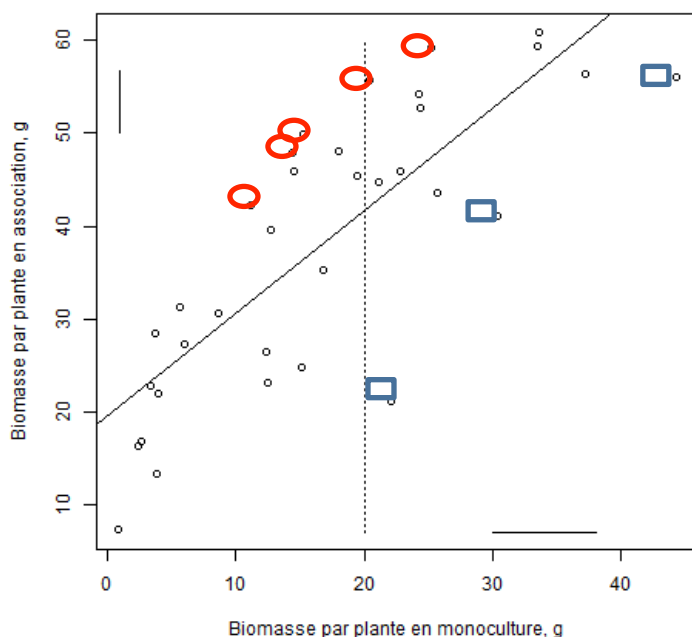
### ***2.1 Le classement des géotypes ou des variétés est sensiblement différent en monoculture et en association***

Cette question a été traitée en prenant l'exemple de la luzerne. Chez cette espèce où il existe une forte variabilité intra-variétale liée à l'autotétraploïdie de l'espèce et à la structure de populations synthétiques des variétés (Julier *et al.*, 2000), nous avons choisi de travailler avec des géotypes. Le dispositif comprenait quatre modalités : monoculture en plantes isolées (comme une pépinière de sélection), monoculture en dense, culture associée entre luzerne et fétuque élevée, avec d'une part une fétuque de type fourrage, d'autre part une fétuque de type gazon (Figure 1). Les géotypes ont été clonés pour obtenir des répétitions. Chaque îlot est composé de 7 plantes, sauf en plantes isolées. Dans un premier temps, une collection de 46 clones de luzerne très divers a été étudiée, et le rendement en biomasse a été mesuré sur 4 coupes par an pendant deux ans. Dans un second temps, 200 géotypes composant la descendance du croisement entre deux plantes de valeur agronomique correcte a été étudiée.



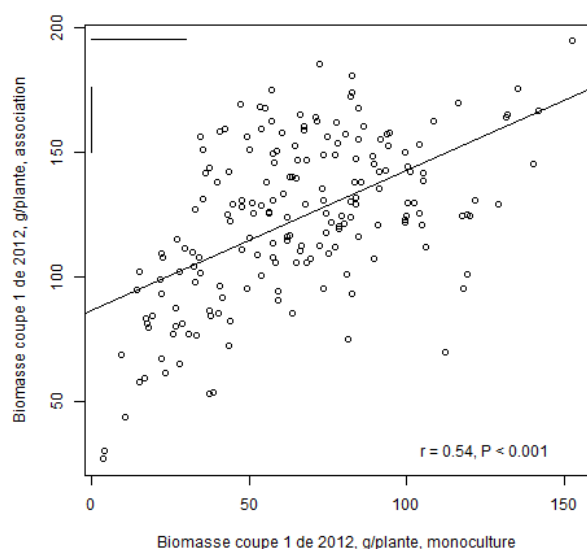
**Figure 1** : Dispositif expérimental comprenant 4 modalités (a) plantes isolées, (b) monocultures de luzerne, (c) mélanges luzerne – fétuque de type fourrage, (d) mélanges luzerne – fétuque de type gazon. Chaque modalité a été étudiée avec 46 génotypes différents de luzerne

Sur la collection de 46 génotypes, les interactions statistiques entre génotypes et modes de culture (monoculture ou association) sont significatives. On constate néanmoins qu'il y a une forte corrélation ( $r = 0.80$ ,  $P < 0.001$ ) entre la production de biomasse en monoculture et celle en association (Figure 2).



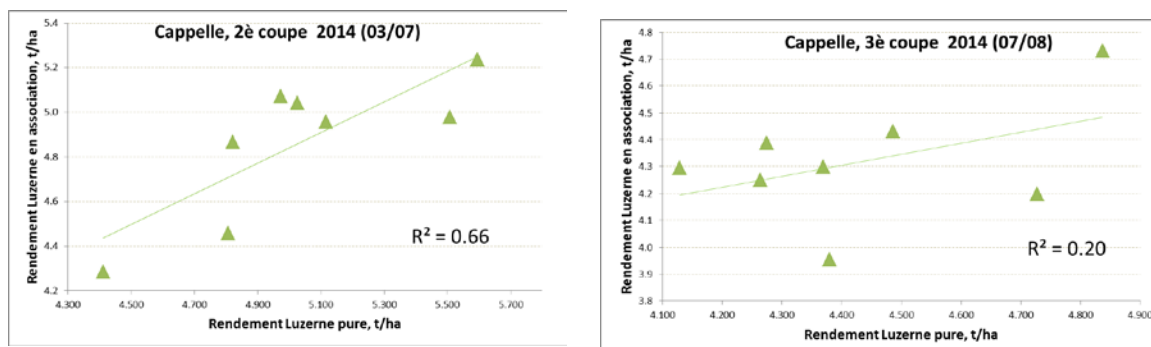
**Figure 2** : Corrélation entre la biomasse évaluée en monoculture et biomasse en association, moyenne de 8 coupes réalisées en 2011 et 2012. Chaque point représente un génotype évalué en monoculture et en association. Les génotypes entourés d'un carré sont relativement plus productifs en monoculture, ceux entourés d'un cercle sont relativement plus productifs en association. La ligne pointillée verticale sépare les génotypes relativement productifs en monoculture (à droite) des autres. Les barres indiquent les écarts-types résiduels

Mais si on se focalise sur les génotypes les plus productifs (au moins 20 g par plante en monoculture sur la Figure 2), la corrélation devient non significative (Maamouri, 2014). De fait, certains génotypes sont relativement plus performants en monoculture, alors que d'autres sont plus performants en association. Sur la collection de 200 génotypes issus d'un croisement, la corrélation entre la production en monoculture et la production en association est nettement plus faible (Figure 3), particulièrement si on ne considère que les génotypes relativement productifs (Maamouri, 2014). Ces résultats ont été obtenus sur des clones, ce qui a permis de maximiser l'observation de la variabilité génétique, mais ils présentent l'inconvénient d'avoir été observés sur des parcelles de très petite taille. Néanmoins ils indiquent à la fois une tendance à ce que des génotypes productifs le soient en monoculture et en association, mais aussi la possibilité d'identifier des génotypes plus « spécialistes » de l'une ou de l'autre des modalités de culture.



**Figure 3 :** Corrélation entre la biomasse évaluée en monoculture et la biomasse évaluée en association, sur la première coupe de 2012, pour 200 génotypes de luzerne indiqués par les points. Les barres indiquent les écarts-types résiduels

Un essai a été implanté en 2012 avec un petit nombre de variétés de niveau agronomique correct à élevé, dans un dispositif en petites parcelles agronomiques. Ces variétés sont cultivées soit en monoculture, soit en association. Deux types d'association sont étudiées : luzerne – dactyle et ray-grass anglais – trèfle blanc, dans 4 et 3 lieux, respectivement. Les données ne sont pas encore toutes disponibles mais il apparaît que, sur cet ensemble de variétés, les corrélations entre rendement de la monoculture et rendement de l'association ne sont pas élevées. Sur les associations à base de luzerne, il y a néanmoins une tendance à une corrélation positive (Figure 4).



**Figure 4 :** Pour huit variétés de luzerne, relation entre le rendement de la monoculture et le rendement de l'association (moyenne de 3 variétés de dactyle), en coupes 2 et 3 de 2014 à Cappelle en Pévèle.

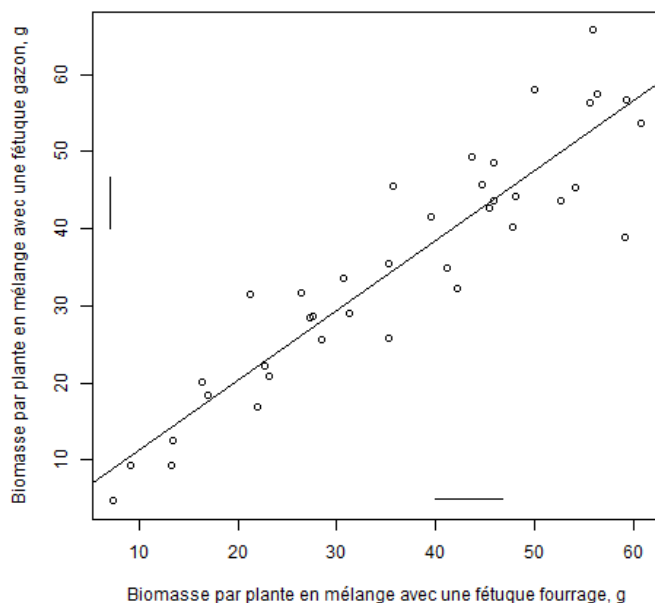
Globalement, alors que Rotili (1985) affirmait que, sur la luzerne, la meilleure variété en monoculture est la meilleure en association, nous obtenons des résultats moins tranchés. S'il y a en général une corrélation positive entre les productions de biomasse en monoculture et en association, il semble que certaines variétés ou certains génotypes aient des productions relativement plus élevées dans l'une ou dans l'autre de ces modes de culture. L'étude doit être approfondie avec la prise en compte de variables liées à la compétition pour la lumière et l'accumulation de biomasse (hauteur des tiges, surface foliaire, nombre de tiges), la proportion des deux espèces, la fixation de l'azote et la valeur alimentaire. Néanmoins, ce résultat justifie de prendre en compte la valeur des variétés en association lors des processus de sélection.

## 2.2 En association, le classement des variétés n'est pas affecté par le choix de la variété compagne

Lorsqu'on teste une gamme de variétés pour leur performance en association, se pose toujours la question de la variété compagne. Est-ce que le classement des variétés de l'espèce étudiée dépend du

choix de la variété compagne ? Pour répondre à cette question, dans le dispositif décrit ci-dessus comportant 46 géotypes de luzerne, nous avons étudié leur production de biomasse en association avec un géotype de fétuque élevée soit de type fourrage (limbes longs susceptibles de générer une compétition pour la lumière) soit de type gazon (limbes courts ne générant pas de compétition pour la lumière). Dans ce dispositif, s'il y avait des différences statistiques entre géotypes de luzerne pour la production de biomasse ou de hauteur, il n'y avait en général pas d'effet du géotype de fétuque, et pas d'interaction entre géotype de luzerne et géotype de fétuque (Figure 5) (Maamouri et al., in press).

De la même façon, dans le dispositif en parcelles semées implanté en 2012, aucune interaction statistique significative n'a été observée entre variété de luzerne et variété de dactyle, ou entre variété de ray-grass anglais et variété de trèfle blanc pour la production de biomasse de l'association. Dans les deux types d'essais, la grande variabilité choisie pour représenter les espèces compagnes (fétuque élevée, dactyle ou trèfle blanc, respectivement) permet d'asseoir ce résultat. Un résultat similaire avait été obtenu sur le trèfle blanc, montrant que l'interaction entre variété de trèfle et variété de graminée était non significative (Annicchiarico, 2003). Il en découle que le rendement de l'association résulte principalement de l'effet additif des variétés qui la compose. En reprenant le concept d'aptitude générale et d'aptitude spécifique à l'association (Gallais, 1970), l'aptitude générale à l'association s'avère l'effet principal. Ce résultat est à confirmer avec la prise en compte d'autres caractères agronomiques. Cette situation simplifierait considérablement la sélection et l'évaluation des variétés pour un mélange prairial puisqu'il suffirait, pour évaluer la valeur en association d'un ensemble de variétés d'une espèce, de réaliser des essais en association avec une seule variété de l'espèce compagne.



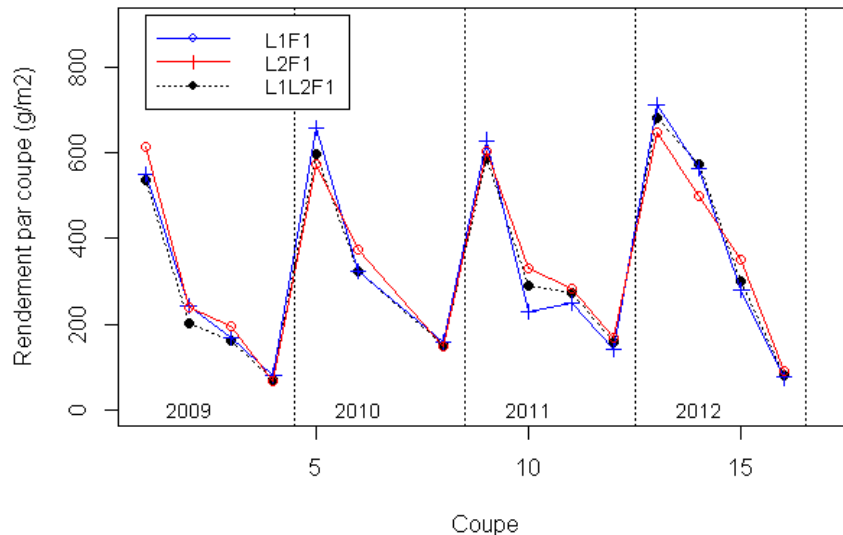
**Figure 5 :** Corrélation entre la production de biomasse de géotypes de luzerne, cultivés en association avec la fétuque élevée, de type fourrage ou de type gazon. Données moyennes obtenues sur 4 coupes en 2011 et 4 coupes en 2012. Chaque point représente un géotype de luzerne.

### 2.3 Le mélange de variétés limite les variations liées à des aléas climatiques

Une pratique courante des éleveurs consiste à mélanger plusieurs variétés en espérant bénéficier des avantages de chacune des variétés. Pour un usage en association, ce mélange de variétés pourrait être intéressant aussi. En effet, il est bien établi que les variétés diffèrent pour leur aptitude à produire sous des conditions de stress (Annicchiarico *et al.*, 2011 ; Poirier *et al.*, 2012). Pour acquérir des données sur ce sujet, dans le cadre de l'adaptation au changement climatique, nous nous sommes demandés si le mélange d'une variété de luzerne de type continental et d'une variété de type méditerranéen permettrait de combiner la production de début de printemps et de fin d'automne de la variété méditerranéenne et la production vigoureuse de printemps et d'été de la variété continentale. De nouveau, le rendement du



mélange variétal résulte principalement de l'effet additif des variétés qui le compose. Que ce soit en association avec du dactyle ou de la féтуque élevée, aucune sur-production du mélange n'est observée sur quatre années d'étude (Figure 6) puisque le mélange est au mieux du niveau de la meilleure variété. Selon les coupes, l'une des variétés peut surpasser l'autre, le mélange permet donc de limiter les aléas de production liés au climat au cours de la repousse et mieux étaler la production au cours de l'année.



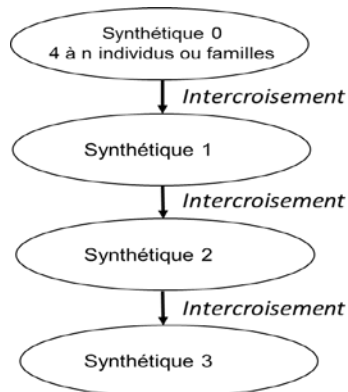
**Figure 6** : Rendement obtenu pour le mélange de deux variétés (une variété continentale Harpe - L1 et une variété méditerranéenne Barmed - L2) de luzerne en association avec la variété de féтуque élevée Noria (F1) en comparaison avec chaque variété de luzerne cultivée avec la même variété de féтуque. L'essai a été semé à Lusignan en août 2008 et exploité pendant 4 années

### 3. Conséquences pour l'inscription au catalogue et le choix variétal

Revenant sur le raisonnement du choix variétal pour une culture en association (ci-dessus), nous montrons clairement que les catalogues variétaux doivent contenir une grande diversité de variétés : pour la précocité de démarrage ou de floraison, la dormance automnale, la teneur en eau (ploïdie), les capacités de compétition pour la lumière (hauteur des tiges de la luzerne, largeur des folioles du tréfle blanc), etc. Ceci permet de combiner au mieux le choix des espèces et des variétés aux contraintes affectant les prairies. La diversité actuelle des variétés inscrites dans les catalogues n'est d'ailleurs peut-être pas suffisante puisque la valeur en association n'est pas considérée. Selon les résultats en cours d'acquisition, nous pourrions recommander de revoir les critères de sélection actuellement utilisés pour l'inscription des variétés. Des tests en culture en association s'avèrent indispensables avec une évaluation du rendement, de la qualité, de la proportion des espèces et de leur pérennité. En Suisse, le choix de variétés pour des prairies multispécifiques repose sur des variétés de bonne valeur agronomique qui sont tout d'abord testées pour leur comportement en association binaire de graminée et légumineuse (part dans le peuplement au cours du temps), avant leur test en prairies avec plus de 3 espèces (Frick *et al.*, 2008). De plus, l'importance relative des critères utilisés pour l'inscription des variétés pourrait être reconsidérée. Par exemple, la note de verse de la luzerne peut être éliminatoire, ce qui est justifié par les dégâts majeurs que la verse occasionne sur les récoltes en monoculture, alors que les événements de verse dans une association luzerne – graminées sont largement minorés. En réduisant l'exigence sur la résistance à la verse, la sélection pourrait plus facilement progresser sur la finesse des tiges, un atout pour l'ingestion par les petits ruminants et pour la vitesse de séchage. Le choix et la hiérarchie des caractères lors de l'évaluation des variétés font l'objet de discussions basées sur des résultats scientifiques entre les experts du CTPS.

#### 4. Conséquences pour la sélection

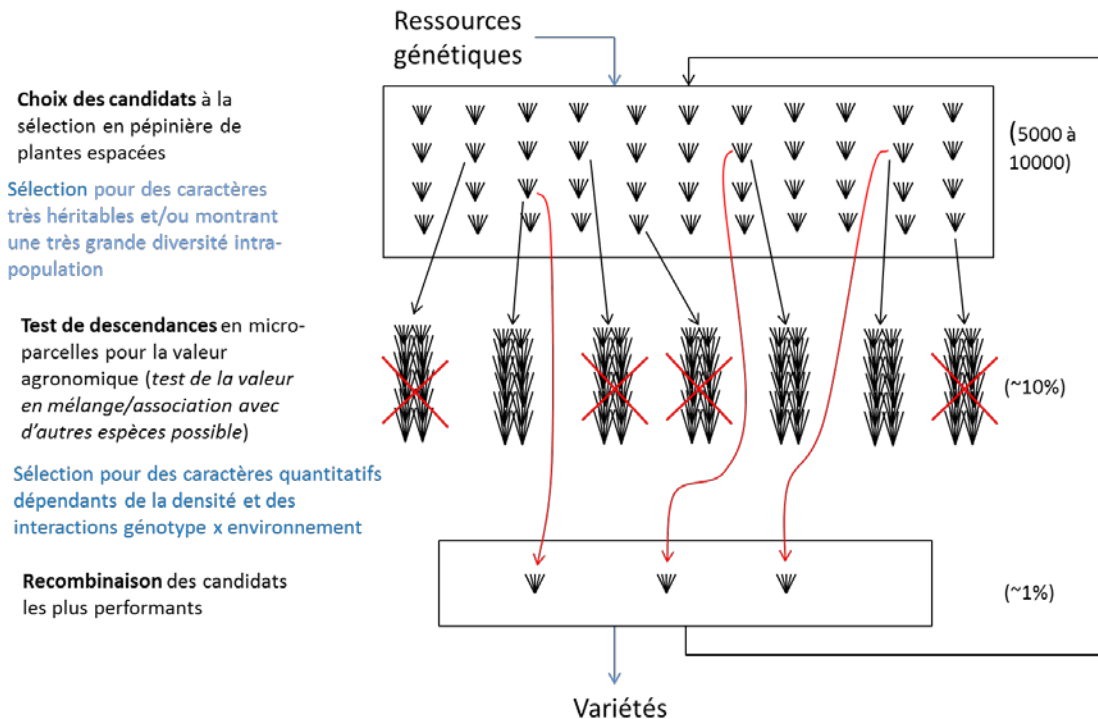
Une variété fourragère est une population synthétique obtenue par l'intercroisement de plantes (ou familles) parentales en nombre varié (4 à plusieurs centaines) pendant 3 à 4 générations (Figure 7). Une variété est donc composée d'individus apparentés qui sont tous génétiquement différents, chaque individu étant fortement hétérozygote (il porte des allèles différents à de nombreux gènes). Une variété est une sortie d'un schéma de sélection récurrente (Figure 8). A partir d'un pool en sélection auquel sont rajoutées de nouvelles introductions et des populations issues de tests de résistance à des maladies, une pépinière de plantes isolées est établie. Après observation de caractères fortement héréditaires (hauteur, résistance à des maladies, résistance à la verse), les meilleures familles et les meilleurs individus dans ces familles sont identifiées, on récoltera des graines sur ces individus. Ces graines, ou familles de demi-frères, sont implantées dans des micro-essais sur lesquels une première évaluation du rendement et d'autres caractères est effectuée. Les plantes-mères ayant fourni ces meilleures familles sont alors intercroisées en polycross dont la descendance est testée en parcelles expérimentales, si possible dans des essais multilocaux. Les polycross les plus performants, sur une échelle multi-critères en comparaison avec des variétés témoins, sont alors proposés à l'inscription au Catalogue Officiel des variétés. Ils rentrent aussi dans un nouveau cycle de sélection récurrente. Toutes les étapes de tests sont très généralement menées en monoculture, qu'il s'agisse des micro-essais ou des essais multilocaux. Il en est de même pour les essais menés par le CTPS (Comité Technique Permanent de la Sélection) pour décider ou non de l'inscription des variétés candidates, hormis pour le trèfle blanc qui est testé en association avec une variété de ray-grass anglais. Ces modalités de création et d'évaluation des variétés sous-tendent qu'une bonne variété en monoculture est aussi une bonne variété en association. Nous avons vu que cette hypothèse n'est que partiellement vraie.



**Figure 7 :** Schéma de production d'une variété synthétique, dont la génération commerciale est une synthétique 3, voire 4, ayant donc subi 3 ou 4 générations d'intercroisements en polycross.

A ce stade, il convient de définir s'il faut prévoir de scinder le marché des espèces fourragères en deux parties, l'une pour la monoculture, l'autre pour les mélanges. Une telle scission nécessiterait un accompagnement fort sur cette filière qui manque déjà de technicité et pour laquelle l'offre variétale effective aux agriculteurs est souvent restreinte. L'alternative serait de développer des variétés qui combinent des performances élevées en monoculture et en association. Ce faisant, on accepterait de ne pas forcément avoir la meilleure variété pour la monoculture ou pour l'association.

Comment modifier les schémas de sélection pour prendre en compte la valeur en association ? Dans un objectif de création de variétés « spécialisées » pour l'association, les sélectionneurs réaliseraient l'évaluation des descendance et des variétés candidates dans des essais menés en association, et non plus en monoculture comme actuellement. Une autre piste serait de sélectionner précocement, si possible dans la pépinière de plantes isolées, les plantes pour des caractéristiques favorables à l'association. Pour le moment, ces caractères sont identiques pour l'association et la monoculture. Dans un objectif de double performance, en monoculture et en association, il faudrait idéalement doubler les tests pour évaluer les descendance et les variétés candidates dans les deux modalités. Qu'il y ait des variétés spécialisées association ou monoculture (et donc deux schémas de sélection) ou des variétés à double performance, association et monoculture, les coûts de sélection seront majorés.



**Figure 8:** Exemple de schéma de sélection pour créer des variétés synthétiques chez les plantes fourragères. De nombreuses variantes sont disponibles autour de ce schéma. La prise en compte de la valeur en association pourrait avoir lieu (1) dans la pépinière de plantes espacées par la notation de critères adéquats, (2) lors des tests des descendance qui pourraient être menés en association, et/ou (3) lors de l'évaluation des variétés issues des candidats les plus performants.

De la même façon, les protocoles utilisés par le CTPS pour juger les variétés candidates pourront évoluer pour prendre en compte la valeur en association. En effet, depuis quelques années, les variétés doivent être évaluées pour leur VATE (Valeur Agronomique, Technologique et Environnementale) et non seulement pour leur VAT. L'addition récente du volet environnemental met en avant l'utilisation en culture associée des graminées et des légumineuses, puisque des attendus positifs sur l'impact environnemental des cultures fourragères ont été mentionnés. Sur le réseau multilocal d'évaluation des variétés, qui comprend 8 à 12 lieux pour les espèces majeures, et dans l'objectif d'inscrire des variétés à double performance, on pourrait envisager que certains lieux passent à une évaluation en association alors que les autres lieux restent en monoculture. On a vu précédemment que le choix de la variété compagne n'influencerait guère les résultats des variétés en test. Ce protocole aurait l'avantage de ne pas inclure de surcoût pour l'inscription des variétés tout en validant une valeur agronomique très bonne à la fois en monoculture et en association. Si les variétés étaient inscrites pour un usage spécialisé (monoculture ou association), le réseau d'inscription pour une espèce aurait deux séries d'essais indépendants, évoluant à terme avec des variétés témoins différentes. C'est d'ailleurs déjà le cas pour le trèfle blanc, dont l'usage est exclusivement la culture en association, et dont les variétés sont toujours testées en association avec une variété de ray-grass anglais.

## Conclusion - perspectives

La prise en compte de la valeur en association des variétés est désormais indispensable dans un contexte où une majorité des prairies temporaires sont semées avec des mélanges d'espèces. Nous montrons que la valeur d'une variété en association ne peut pas être déduite de sa seule valeur en monoculture. Il est important d'avoir des catalogues variétaux accueillant une diversité de variétés dont les caractéristiques pourront être choisies en fonction des assemblages d'espèces et des contraintes

pédoclimatiques et d'exploitation. De plus, des schémas de sélection prenant explicitement la valeur en association doivent être mis en œuvre. La valorisation de ces nouvelles variétés nécessite leur évaluation dans des dispositifs expérimentaux incluant des parcelles menées en association.

## Remerciements

Les résultats présentés ici ont bénéficié de subventions de la Région Poitou-Charentes (projet Expoleg-AV 2011-2014), du ministère en charge de l'agriculture (projet Aglaé, Casdar C-2011-07, 2012-2015), de l'Union Européenne (projet Animal Change, FP7-KBBE 2010, 2011-2014), des départements INRA BAP et EA. Nous remercions les équipes des unités INRA URP3F et Ferlus et des entreprises privées membres de l'ACVF luzerne et graminées fourragères.

## Références bibliographiques

- AFPF, 2014. Préconisations agronomiques pour les mélanges de semences pour prairies en France. AFPF, Versailles.
- Annicchiarico P., 2003. Breeding white clover for increased ability to compete with associated grasses. *Journal of Agricultural Science* 140, 255-266.
- Annicchiarico P., Pecetti L., Abdelguerfi A., Bouizgaren A., Carroni A.M., Hayek T., Bouzina M.M., Mezni M., 2011. Adaptation of landrace and variety germplasm and selection strategies for lucerne in the Mediterranean basin. *Field Crops Research* 120, 283-291.
- Chamblee D.S., Colins M., 1988. Relationships with other species in a mixture. In: A.A. Hanson, D.K. Barnes, R.R. Hill (Eds.), *Alfalfa and alfalfa improvement*. ASA, Madison, W.I. pp. 439-461.
- Finn J.A., Kirwan L., Connolly J., Sebastia M.T., Helgadottir A., Baadshaug O.H., Belanger G., Black A., Brophy C., Collins R.P., Cop J., Dalmannsdottir S., Delgado I., Elgersma A., Fothergill M., Frankow-Lindberg B.E., Ghesquiere A., Golinska B., Golinski P., Grieu P., Gustavsson A.M., Hoglund M., Huguenin-Elie O., Jorgensen M., Kadziulienė Z., Kurki P., Llorba R., Lunnan T., Porqueddu C., Suter M., Thumm U., Luscher A., 2013. Ecosystem function enhanced by combining four functional types of plant species in intensively managed grassland mixtures: a 3-year continental-scale field experiment. *Journal of Applied Ecology* 50, 365-375.
- Frick R., Mosimann E., Suter D., 1970. Expérience sur la mise en œuvre de prairies multispécifiques. Histoire et rôles des mélanges semés en Suisse. *Fourrages* 194, 221-231.
- Gallais A., 1970. Modèle pour l'analyse des relations d'associations binaires. *Biométrie-Praximétrie* 11, 51-80.
- Gastal F., Julier B., Surault F., Litrico I., Durand J.L., Denoue D., Ghesquière M., Sampoux J.P., 2012. Intérêt des prairies cultivées multispèces dans le contexte des systèmes de polyculture-élevage. *Innovations Agronomiques* 22, 169-183.
- Hoyt P.B., 1990. Residual Effects of Alfalfa and Bromegrass Cropping on Yields of Wheat Grown for 15 Subsequent Years. *Canadian Journal of Soil Science* 70, 109-113.
- Huyghe C., Delaby L., 2013. *Prairies et systèmes fourragers*. Editions France Agricole, Paris.
- Julier B., Huyghe C., Ecalle C., 2000. Within- and among-cultivar genetic variation in alfalfa: forage quality, morphology, and yield. *Crop Science* 40, 365-369.
- Justes R., Cattin G., Larbre D., Nicolardot B., 2001. Libération d'azote après retournement de luzerne: un effet sur deux campagnes. *Perspectives agricoles* 264, 22-28.
- Justes E., Bedoussac L., Corre-Hellou G., Fustec J., Hinsinger P., Jeuffroy M.H., Journet E.P., Louarn G., Naudin C., Pelzer E., 2014. *Innovations Agronomiques*, 40, 1-24
- Ledgard S.F., Steele K.W., 1992. Biological nitrogen fixation in mixed legume/grass pastures. *Plant and Soil* 141, 137-153.
- Louarn G., Corre-Hellou G., Fustec J., Lô-Pelzer E., Julier B., Litrico I., Hinsinger P., Lecomte C., 2010. Déterminants écologiques et physiologiques de la productivité et de la stabilité des associations graminées-légumineuses. *Innovations Agronomiques* 11, 79-99.

Louarn G., Pereira-Lopès E., Fustec J., Mary B., Voisin A.S., de Faccio Carvalho P.C., Gastal F., 2015. The amounts and dynamics of nitrogen transfer to grasses differ in alfalfa and white clover-based grass-legume mixtures as a result of rooting strategies and rhizodeposit quality. *Plant and Soil* in press.

Luscher A., Mueller-Harvey I., Soussana J.F., Rees R.M., Peyraud J.L., 2014. Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: a review. *Grass Forage Science* 69, 206-228.

Maamouri A., 2014. Variabilité génétique de la luzerne cultivée en association avec une graminée fourragère. Thèse de Doctorat de l'Université de Poitiers.

Maamouri A., Louarn G., Gastal F., Béguier V., Julier B. In mixtures, lucerne genotype affects morphology, biomass production and nitrogen content of both lucerne and tall fescue. *Crop and Pasture Science*, in press.

Nyfeler D., Huguenin-Elie O., Suter M., Frossard E., Connolly J., Luscher A., 2009. Strong mixture effects among four species in fertilized agricultural grassland led to persistent and consistent transgressive overyielding. *Journal of Applied Ecology* 46, 683-691.

Nyfeler D., Huguenin-Elie O., Suter M., Frossard E., Lüscher A., 2011. Grass-legume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 140, 155-163.

Poirier M., Durand J.L., Volaire F., 2012. Persistence and production of perennial grasses under water deficits and extreme temperatures: importance of intraspecific vs. interspecific variability. *Global Change Biology* 18, 3632-3646.

Protin P.V., Gastal F., Julier B., Pelletier P., Pierre P., Straëbler M., Surault F., 2014. Les prairies multi-espèces, un levier pour des systèmes fourragers performants. *Fourrages* 218, 167-176.

Rotili P., 1985. [Composition of two-component pasture mixtures. Discussion of trial results obtained at Lodi]. *Rivista Agronomica* 19, 170-177.

Spandl E., Kells J.J., Hesterman O.B., 1999. Weed invasion in new stands of alfalfa seeded with perennial forage grasses and an oat companion crop. *Crop Science* 39, 1120-1124.