

Les légumineuses fourragères, indispensables à l'élevage de demain

L. Delaby¹, J. Pavie², B. McCarthy³, E.-A. Comeron⁴, J.-L. Peyraud¹

La mondialisation et les changements de contexte qu'elle induit incitent à revisiter l'opportunité et la place des légumineuses dans les systèmes de production. L'histoire agronomique des légumineuses est marquée par des fluctuations marquées. Mais, depuis les années 2000, la conjoncture européenne donne un nouveau rendez-vous aux légumineuses.

RÉSUMÉ

L'intensification basée sur les engrais chimiques et la spécialisation des productions a fait régresser les légumineuses en Europe, alors qu'en Amérique du Sud, la luzerne (pâturée ou associée avec l'ensilage de maïs) reste la base des systèmes de production laitière. Les légumineuses ont des atouts (fixation symbiotique, transfert de fertilité et richesse en protéines) qui ont des conséquences agronomiques et zootechniques à tous les niveaux, de la parcelle à l'exploitation, de l'assolement à l'alimentation des troupeaux. Leurs exigences et fragilités justifient des pratiques bien adaptées, mais les légumineuses permettent de renforcer l'autonomie des systèmes d'élevage et, selon le contexte de prix des intrants, la rentabilité économique des exploitations. Leur développement futur semble s'appuyer sur leurs atouts environnementaux et nécessiter une politique volontariste durable.

SUMMARY

Forage legumes: a crucial component of tomorrow's livestock systems

Globalisation and its effects should encourage us to reconsider the role of legumes in production systems. In South America, lucerne is an essential part of dairy livestock systems: it is provided as forage in grasslands or with maize silage. In Europe, in contrast, leguminous forage was in decline until recently. However, since the 2000s, conditions in Europe have once again become favorable to its use. Legumes have several benefits: they are protein rich, they can fix N thanks to their symbionts, and they can release fixed N, thus enhancing soil fertility. Consequently, they influence agricultural and livestock systems at multiple scales, from the field to the farm, from the crop rotation cycle to herd nutrition. Because they have certain requirements and display certain vulnerabilities, well-adapted farming practices must be used. Their utilisation can increase both the autonomy of livestock systems and the financial viability of farms. To increase their use in the future, it is likely that long-term, proactive policies will be needed.

La 68^e session de l'Assemblée Générale des Nations Unies (ONU, 2014) a déclaré l'année 2016 *Année internationale des légumineuses* et a confié à la FAO la mise en place de cette vaste ambition. En France, dans le cadre du projet « Produisons Autrement », S. LE FOLL, Ministre de l'Agriculture, a lancé le plan Protéines Végétales 2014-2020. Au niveau mondial comme au niveau national, l'année 2016 sera l'année des légumineuses. C'est dire l'importance accordée à ces plantes riches en protéines pour l'avenir de la planète.

Cette motivation autour des légumineuses n'est pas nouvelle mais semble s'intensifier. L'A.F.P.F. consacre tous les 10 ans ses journées d'études et de recherches à cette thématique. Le lecteur pourra se reporter aux travaux publiés dans la revue *Fourrages* avec, en 1993, « *Les nouvelles perspectives pour les légumineuses fourragères* », en 2003, « *La recherche des nouveaux équilibres entre fourrages, protéines et environnement* », sans oublier les Journées A.F.P.F. historiques de 1983 consacrées au trèfle blanc. Des publications récentes font état des nombreux

AUTEURS

1 : INRA-AgroCampus Ouest, UMR 1348, Physiologie, Environnement, Génétique pour l'Animal et les Systèmes d'Elevage, F-35590 Saint-Gilles (France) ; luc.delaby@rennes.inra.fr

2 : Institut de l'Elevage, route d'Epinay, F-14310 Villers-Bocage (France)

3 : Teagasc, Animal and Grassland Research and Innovation Centre, Moorepark, Fermoy, Co Cork (Ireland)

4 : INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela, CC 22, 2300 Rafaela, Santa-Fe (Argentina)

MOTS CLÉS : Arrière-effet, association végétale, autonomie, complémentation, environnement, évolution, fertilisation, fixation symbiotique de l'azote, légumineuse, lotier, mélange fourrager, luzerne, ration alimentaire, sainfoin, système de production, trèfle blanc, trèfle violet.

KEY-WORDS : Alfalfa, bird's-foot trefoil, carryover effect, change in time, diet, environment, feed supplementation, fertilisation, forage mixture, legume, plant association, production system, red clover, sainfoin, self-sufficiency, symbiotic nitrogen fixation, white clover.

RÉFÉRENCE DE L'ARTICLE : Delaby L., Pavie J., McCarthy B., Comeron E.A., Peyraud J.L. (2016) : "Les légumineuses fourragères, indispensables à l'élevage de demain", *Fourrages*, 226, 77-86.

atouts des légumineuses. Citons, par exemple, en 2010, le volume complet de la revue *INNOVATIONS AGRONOMIQUES* sous le thème « *Légumineuses et agriculture durable* ». Ou encore les revues bibliographiques de ROCHON et al. en 2004, LÜSCHER et al. en 2014, PHELAN et al. en 2015 qui proposent une synthèse fouillée des travaux associés aux légumineuses fourragères. Enfin, le livre coordonné par SCHNEIDER et HUYGHE (2015) dont le titre « *Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables* » reflète bien les attendus et les perspectives associés au renouveau des légumineuses.

Certes, les plans de relance nationaux ou européens autour de la production de protéines végétales ont fleuri depuis les années 70 et la première crise pétrolière. Si ce sont souvent les légumineuses à graines qui font l'objet de plus d'attention, les légumineuses fourragères sont aussi impliquées. Globalement, ces plans ont induit des réactions positives le temps de leur application, mais n'ont jamais eu les succès escomptés (CGDD, 2009). Mais la mondialisation et le changement structurel de contexte des années 2000 modifient la donne, changent les ambitions, notamment celles qui concernent le « comment produire plus et comment produire mieux ». Les enjeux associés au développement des légumineuses sont devenus considérables, comportent plusieurs facettes et se déclinent à différentes échelles, de la planète à l'exploitation agricole.

L'augmentation de la population mondiale déjà effective et en prévision, associée à l'accroissement du pouvoir d'achat de pays émergents à forte densité de population, exerce une pression très importante sur la demande alimentaire mondiale, notamment la demande en protéines végétales et animales. Les conséquences environnementales associées au développement passé de l'agriculture ont fait prendre conscience du rôle négatif de l'azote minéral (N) mal valorisé. Les concepts de l'agroécologie, qui émergent comme une alternative à l'intensification par la chimie, incitent à revoir la façon de produire, grâce notamment aux légumineuses (PEOPLES et al., 1995 ; GUILLOU et al., 2013). Enfin, la concurrence accrue sur les marchés mondiaux et les fluctuations des cours des tourteaux d'oléoprotéagineux fragilisent l'économie des élevages et la sérénité des éleveurs. Afin de réduire la dépendance de l'Europe, en partie conséquence historique des accords internationaux et de la politique agricole commune, et d'améliorer la résilience des élevages vis-à-vis des aléas de prix, la volonté d'une plus grande autonomie protéique encourage à (re)penser aux légumineuses.

Ainsi, les légumineuses et leur possible développement futur apparaissent comme une chance durable pour l'agriculture et le monde de demain. L'objectif de cet article introductif aux Journées de l'A.F.P.F. de 2016 est de replacer leurs atouts, leurs qualités et leurs fragilités dans le contexte d'aujourd'hui, en agrémentant de quelques exemples de leur intégration à l'échelle des systèmes de production laitière en France, en Irlande et en Argentine. Les limites et atouts environnementaux associés à la présence et à l'utilisation des légumineuses ne seront ici qu'évoqués et font l'objet d'une synthèse plus exhaustive dans ce même ouvrage (CELLIER et al., 2016).

1. La place des légumineuses fourragères dans les systèmes fourragers : une histoire agronomique controversée

En Europe, les légumineuses fourragères cultivées pures ou associées ont été longtemps une composante essentielle de la productivité et de l'entretien de la fertilité des systèmes de polyculture - élevage. **La Révolution fourragère** enclenchée dans les années 60 **a ensuite singulièrement réduit leur contribution**. Deux raisons majeures ont favorisé ce déclin progressif des légumineuses dans les systèmes d'élevage de ruminants. L'abondance des engrais minéraux azotés peu coûteux et aux effets spectaculaires et immédiats a favorisé le développement des prairies monospécifiques de graminées productives. L'arrivée de l'ensilage de maïs avec un itinéraire technique simple, de mieux en mieux maîtrisé, une récolte en une seule fois et une qualité de conservation garantie, une productivité en énergie par hectare élevée et une complémentarité parfaite avec le tourteau de soja disponible, a rapidement convaincu les éleveurs de son intérêt. L'intensification et la spécialisation qui ont suivi ont eu pour corollaire la simplification des systèmes, dont les légumineuses ont pâti. L'évolution des surfaces cultivées en légumineuses pures présentée à la figure 1 en est le parfait reflet. Aujourd'hui, il ne reste que 365 000 ha de cultures pures de légumineuses contre environ 3,3 millions d'hectares (17% des terres arables) au début des années 60 (CGDD, 2009). Seule la luzerne semble mieux résister, en lien avec la production de fourrages déshydratés, notamment en Champagne.

En France, **à partir des années 80**, l'influence d'un agriculteur breton tenace et la publication de son livre argumenté « *La prairie temporaire à base de trèfle blanc* » (POCHON, 1981, 5^e édition en 2012) va modifier le regard sur le trèfle blanc. Pour André POCHON, fondateur du CEDAPA en 1982, il s'agit alors de bénéficier de la fixation symbiotique pour produire autant mais surtout à moindre coût.

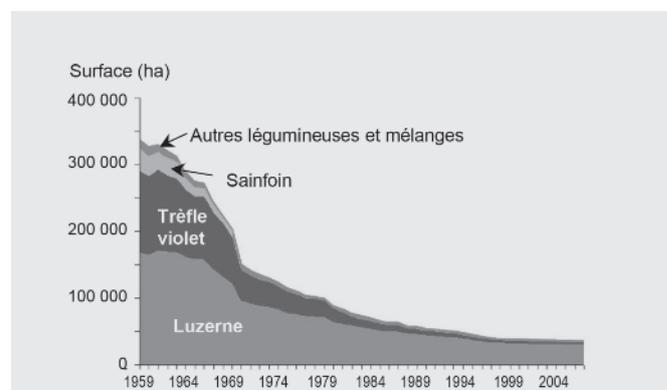


FIGURE 1 : Evolution des surfaces cultivées en légumineuses pures en France (CGDD, 2009, d'après les données Agreste).

FIGURE 1 : Changes over time in the amount of farmed surface area covered with pure legumes in France (CGDD, 2009, after Agreste data).

S'ensuivent alors des débats agronomiques parfois compliqués autour de la question de la pertinence du trèfle blanc dans des systèmes où la disponibilité excessive d'azote organique justifie de ne pas en ajouter avec la fixation symbiotique. Néanmoins, **les associations graminées - trèfle blanc font l'objet de nouveaux travaux** de recherches (A.F.P.F., 1983 ; PFLIMLIN, 1993) et de vulgarisation (ITEB-EDE de Bretagne, 1987), et retrouvent petit à petit une place plus importante dans les prairies temporaires, comme en témoignent les ventes de semences et l'enquête réalisée sur les pratiques culturales (AGRESTE, 2010).

Dans les années 80, **en Amérique du Sud** et plus particulièrement en Argentine, **le développement de la production laitière va s'appuyer sur la culture de la luzerne**. Cette luzerne, sans dormance hivernale, présente des caractéristiques intéressantes en termes d'adaptation au climat de ces régions laitières d'Amérique latine, de productivité par hectare, et surtout peut être valorisée au pâturage. Là, également, les motivations des éleveurs sont associées à la baisse des coûts de production, à la possible intensification et surtout à la sécurisation du système fourrager grâce à une plante qui résiste plutôt bien à la sécheresse et surtout aux fortes températures estivales.

Les **années 2000** se caractérisent en Europe par l'abandon progressif des réglementations protectrices (prix garantis, quotas laitiers en 2015) et l'ouverture sans filets au marché mondial. Dans le même temps, la prise de conscience de l'impact environnemental négatif des excès de l'activité humaine, tant global (avec le réchauffement climatique) que local (avec par exemple l'érosion de la biodiversité, la prolifération des algues vertes, les effets des pesticides...) donne un nouveau rendez-vous aux légumineuses. Au-delà de leurs intérêts agronomiques et zootechniques, leurs atouts environnementaux sont mis en avant (THIÉBEAU *et al.*, 2003) et leur rôle central face aux concepts de l'agroécologie est bien identifié. L'intérêt économique associé à la fixation symbiotique et à leur richesse en protéines est également mis en avant. Même l'Irlande laitière et son système fourrager basé sur la prairie de ray-grass anglais fertilisé découvre les intérêts du trèfle blanc (HUMPHREYS *et al.*, 2009) et développe depuis 2010 un programme de recherches conséquent afin de réussir à l'intégrer aux itinéraires techniques basés sur le pâturage intensif.

En France, au-delà des prairies d'association graminées - trèfle blanc, désormais bien intégrées par les éleveurs, surtout en zone océanique (LE GALL et GUERNION, 2004), les prairies multispécifiques sont proposées comme des alternatives, notamment dans les milieux moins favorables, plus séchant (FUSTEC *et al.*, 2008). Des légumineuses telles le sainfoin (FOREL et MANTEAUX, 2013), la vesce, le lotier corniculé voient leurs spécificités remises en valeur. Selon les données publiées par AGRESTE en 2006, près de 70% des prairies temporaires semées seraient des mélanges de graminées et légumineuses (HUYGHE et DELABY, 2013). De même, face aux sécheresses estivales récurrentes, les mélanges céréales - protéagineux, autrement appelés méteils, en raison de leur capacité « d'évitement » grâce à une récolte en fin de printemps, reviennent au goût du jour et réintègrent certains systèmes fourragers (EMILE *et al.*, cet

ouvrage). Certes, ces évolutions sont limitées et fragiles, pas toujours aussi pertinentes qu'attendu. Mais elles marquent clairement **un tournant dans la prise de conscience des possibilités offertes par les légumineuses**. Les systèmes en agriculture biologique (AB), aujourd'hui reconnus comme des alternatives crédibles et encouragés (à titre d'exemple, dans la filière laitière, les volumes de lait produits sous ce label sont passés de 120 000 à plus de 500 000 tonnes en 10 ans ; CNIEL, 2015), sont sans doute ceux qui ont le plus misé sur les légumineuses. L'interdiction d'emploi des engrais minéraux azotés de synthèse inscrite au cahier des charges AB stimule les innovations en vue d'optimiser le rôle des légumineuses, qui tiennent une place centrale dans la gestion pérenne des sols, les systèmes de culture, et l'alimentation des troupeaux.

Finalement, selon les estimations de SCHNEIDER *et al.* (2015), en admettant 10 et 20% de légumineuses respectivement dans les prairies permanentes et temporaires, les légumineuses fourragères représenteraient en France environ 1 700 000 ha en équivalent hectares de cultures pures.

En Argentine, l'intensification laitière se poursuit et la luzerne s'associe désormais avec le maïs (ou le sorgho selon les risques climatiques) dans les systèmes fourragers (COMERON et ROMERO, 2007). En effet, utilisée seule (jusqu'à 90% de la ration), la luzerne présente des limites nutritionnelles associées au déséquilibre énergie / azote et au risque important de météorisation. Les rotations évoluent vers un système simple, basé sur 3 années de luzerne pâturée suivies de 2 années de sorgho/maïs ou maïs/maïs utilisés en ensilage. En conséquence, une plus grande stabilité saisonnière et interannuelle de l'offre fourragère et de la production laitière a été atteinte. Ce système fourrager a permis d'augmenter le chargement et de maintenir une grande stabilité dans les composantes de la ration. Les apports de concentré augmentent également, tandis que se développent les investissements pour la distribution des rations intégrant de l'ensilage de maïs. Cette évolution s'est faite au détriment de la part de la luzerne dans les assolements et l'alimentation annuelle des troupeaux. Il reste néanmoins en Argentine environ 4 millions ha de luzerne sur 38 millions ha cultivés.

Ces nouveaux regards sur les légumineuses et ces évolutions plus équilibrées dans leur utilisation, tant en Europe qu'en Amérique latine, semblent indiquer un regain d'attractivité et surtout une meilleure prise en compte des potentiels, atouts et limites des légumineuses fourragères dans les systèmes de production de ruminants.

2. Plus et mieux utiliser le potentiel agronomique et zootechnique des légumineuses fourragères

De nombreux travaux ont permis de mettre en évidence et d'évaluer les spécificités agronomiques et zootechniques intéressantes des légumineuses. Ces travaux concernent surtout le pois protéagineux pour les légumineuses à graines, la luzerne et le trèfle blanc pour les légumineuses fourragères (SCHNEIDER et HUYGHE, 2015). Ces

spécificités leur confèrent des atouts qui sont autant d'arguments en faveur de leur utilisation dans les systèmes d'élevage de ruminants.

D'un point de vue agro-physiologique, les atouts des légumineuses peuvent se résumer en trois points essentiels que sont la fixation symbiotique, le transfert de fertilité et la richesse en protéines. Grâce à l'introduction de légumineuses dans les assolements, la valorisation agronomique de ces trois « compétences » va avoir des conséquences importantes sur la productivité et l'efficacité des systèmes, sur leurs impacts environnementaux et, finalement, sur l'économie de l'exploitation et des filières agricoles. Cependant, ces plantes ont aussi des exigences, des fragilités importantes à connaître afin de respectivement mieux les satisfaire et éviter de favoriser les conditions de leur expression. Les conditions pédoclimatiques associées au milieu et les pratiques de production et d'exploitation des légumineuses vont largement influencer leur opportunité et leur contribution dans les rotations.

■ La fixation symbiotique : un phénomène biologique naturel essentiel

La capacité de fixation biologique de l'azote (*biological nitrogen fixation*) des légumineuses repose sur des nodosités racinaires composées de bactéries qui vivent en symbiose avec la plante. L'énorme avantage agronomique associé à cette symbiose est que les légumineuses sont capables de valoriser la ressource naturelle, gratuite, inépuisable qu'est l'azote atmosphérique et donc de produire en l'absence de fertilisation azotée minérale ou organique. Fortes de cette capacité, les légumineuses sont ainsi capables de s'installer et de mettre en valeur des milieux où l'azote disponible dans le sol fait défaut. Pour promouvoir le développement des légumineuses en culture pure ou associées, il s'agira alors de favoriser les conditions optimales d'installation de ces nodosités et de fonctionnement de cette symbiose.

Cependant, les légumineuses sont aussi capables de s'installer et se développer en milieux plus riches en azote minéral. En effet, leur capacité à fixer l'azote atmosphérique n'est pas exclusive et les légumineuses savent aussi profiter de l'azote minéral disponible dans le sol, qu'il soit issu de la minéralisation de l'azote organique ou de la fertilisation minérale. Plus cet azote minéral est présent, plus les légu-

mineuses en profitent et moins elles fixent d'azote atmosphérique. La part de l'azote fixé dans la plante peut ainsi varier localement de 90 % à moins de 20 % selon la disponibilité en azote minéral (LIU *et al.*, 2011 ; VERTÈS *et al.*, 1997). Selon les hypothèses plausibles décrites au tableau 1, la quantité d'azote fixé annuellement est très variable et sera notablement plus élevée pour une culture pure de luzerne (de 275 à 435 kg) que pour un trèfle blanc associé à une graminée (de 90 à 160 kg).

Du point de vue de l'environnement et des risques de pertes d'azote, cette **autorégulation de la fixation symbiotique** est importante à considérer car elle **va naturellement limiter les risques d'excédents** liés à l'entrée d'azote exogène. D'autre part, la fixation symbiotique n'est effective et efficace que lorsque les conditions de milieu (humidité, température, pH...) sont favorables, conditions qui vont de pair avec la croissance aérienne et racinaire de la légumineuse. Ainsi, l'azote atmosphérique n'est fixé qu'au moment opportun. Enfin, cet azote, présent sous forme organique, est intégré aux organes de la plante, ce qui le rend beaucoup moins « réactif » que l'azote minéral et limite les risques de pertes par émissions gazeuses ou par lixiviation.

Le cas des associations graminées - légumineuses est un peu particulier, compte tenu de la compétition possible face à l'azote minéral disponible. Ainsi, par exemple, la capacité du trèfle blanc à cohabiter avec la graminée en présence d'azote minéral dans les prairies de mélange est très souvent discutée (SIMON *et al.*, 1997 ; PHELAN *et al.*, 2015). La légumineuse, qui met alors en veille la fixation symbiotique, est moins compétitive que les graminées pour prélever l'azote minéral du sol. La contribution et la pérennité du trèfle blanc deviennent sensibles à la concurrence des graminées rendues plus agressives grâce à l'azote minéral disponible. Comme souvent en biologie, ce phénomène n'est pas absolu et ne relève pas du tout ou rien. De nombreuses interactions existent entre fertilité du sol, climat et pratiques (NYFELER *et al.*, 2009) pour moduler la contribution des plantes associées à la production de la prairie. Comme l'ont indiqué SIMON *et al.* (1997), la réussite de la cohabitation va dépendre de la capacité du milieu à satisfaire la demande en azote de la graminée en regard de la demande associée à son potentiel de croissance qui va, lui, dépendre des conditions climatiques.

Les résultats récents obtenus en Irlande (McCARTHY *et al.*, 2016 ; EGAN, 2015) semblent confirmer que, dans un

	Luzerne				Ray-grass anglais - trèfle blanc			
	10	14	14	14	7	7	11	11
Production (t MS récoltée/ha)	10	14	14	14	7	7	11	11
Taux de fixation (% N total)	80	90	80	90	70	80	70	80
N fixé (kg/ha)*	276	311	387	435	90	103	141	161

* En admettant i) une teneur en MAT (N) de 180 (28,8) et 220 (35,2) g/kg MS pour la luzerne et le trèfle blanc, ii) une teneur en TB de 40 % et iii) un coefficient de passage entre la fraction récoltée et la plante entière (pour intégrer l'azote racinaire) de respectivement 1,2 et 1,3 pour la luzerne et le trèfle blanc.

TABLEAU 1 : Quantités d'azote atmosphérique fixé par la luzerne ou l'association ray-grass anglais - trèfle blanc selon le rendement et le taux de fixation variable avec l'azote minéral disponible.

TABLE 1 : Amounts of atmospheric N fixed by lucerne versus by associations of perennial ryegrass and white clover for different yield categories and as a percentage of available mineral N.

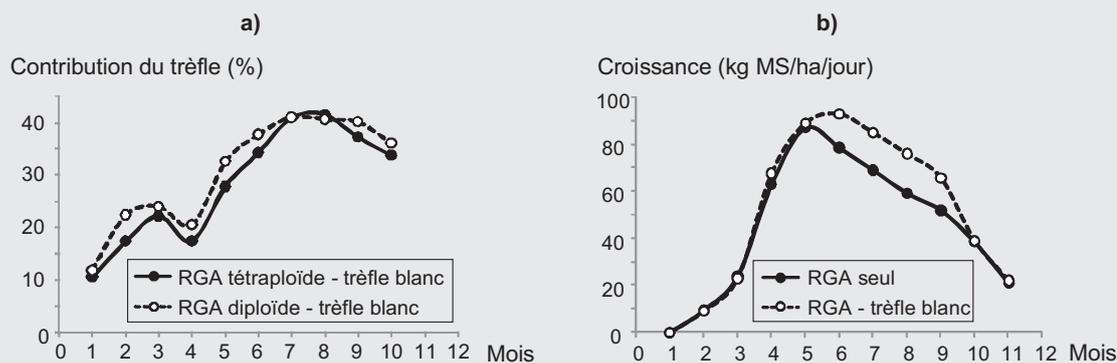


FIGURE 2 : Contribution mensuelle du trèfle blanc à la biomasse (a) et son influence sur la croissance journalière (b) d'une prairie fertilisée à raison de 250 kg N/(ha.an) (McCARTHY *et al.*, 2016).

FIGURE 2 : Monthly contribution of white clover to biomass (a) and the daily growth (b) of a grassland fertilised with 250 kg N/(ha.year) (McCARTHY *et al.*, 2016).

milieu favorable en termes de sol, climat et pratiques, le trèfle blanc est aussi opportuniste et peut contribuer à accroître la productivité de la prairie (figure 2). Les travaux de recherche conduits actuellement en Irlande n'utilisent pas l'introduction du trèfle blanc comme une source possible d'économie d'engrais minéral et maintiennent une fertilisation azotée conséquente, entre 150 et 250 kg de N minéral au pâturage. A partir du mois de juin, lorsque la proportion de trèfle blanc devient significative (> 25%), la prairie d'association se caractérise par une croissance journalière supérieure de 10 à 15 kg de MS/jour/ha par rapport au ray-grass anglais seul, et ce jusqu'en octobre. La production annuelle de biomasse cumulée est alors supérieure d'environ 2 t de MS/ha (McCARTHY *et al.*, 2016) dans la prairie de ray-grass anglais - trèfle blanc.

Dans la plupart des situations, quelles que soient la fertilisation azotée appliquée et la richesse du milieu, **les prairies d'associations multispécifiques comportant des légumineuses ont montré leur supériorité en termes de production de biomasse** (LÜSCHER *et al.*, 2014 ; NYFELEL *et al.*, 2011), **grâce entre autres à la dualité des légumineuses face à l'azote.**

Bien que possible, et même recommandé dans le cas de cultures pures de luzerne ou de trèfle violet, l'arrêt de toute fertilisation minérale ou organique sur les prairies d'association ne s'impose pas. Cependant, la volonté d'introduire et de bénéficier de la présence des légumineuses dans les prairies justifie de **limiter la fertilisation exogène, afin de stimuler la fixation symbiotique et favoriser le développement de ces légumineuses, en vue d'obtenir une contribution annuelle à la biomasse de 30 à 40%**. Il s'agit alors de positionner ces apports d'azote exogènes au moment opportun, pour les rendre les plus efficaces possible, sans nuire au maintien des légumineuses.

■ Les légumineuses : des plantes altruistes, au service de l'agronomie

L'entrée d'azote associée à la fixation symbiotique va jouer un rôle important dans la fertilité des sols et son maintien. En effet, les légumineuses vont enrichir le milieu

et mettre à disposition une partie de l'azote fixé selon deux modalités distinctes dans le temps. **Le transfert d'azote peut avoir lieu durant la phase productive au bénéfice des graminées ou des céréales associées, et durant la rotation culturale, suite à la destruction de la culture** comportant des légumineuses, au bénéfice des cultures suivantes. C'est ainsi que les cultures avec légumineuses sont souvent placées en tête d'assolement. Les voies de transfert sont différentes selon les moments concernés, et aussi selon la conduite des prairies (avec pâturage ou en fauche exclusive).

Lorsqu'elles sont associées, dans le **cas de cultures annuelles**, les légumineuses transfèrent peu d'azote directement à la plante compagne, si ce n'est à partir des exsudats racinaires et lors de la sénescence racinaire qui reste modeste durant la phase culturale (LOUARN *et al.*, 2010). L'effet d'« hétérosis » observé dans les associations par rapport à la moyenne des deux cultures pures annuelles est surtout le fait d'une complémentarité entre graminées et légumineuses vis-à-vis des deux sources d'azote que sont l'azote minéral et atmosphérique. Les graminées bénéficient de l'azote minéral que « n'utilisent pas » les légumineuses qui profitent de l'azote atmosphérique, ce d'autant plus que la disponibilité de l'azote minéral est limitante.

Dans le cas des prairies d'association, **le transfert d'azote est plus conséquent dans la mesure où la culture est en place pour plusieurs années**, avec des phénomènes de mortalité/renouvellement des plantes ou des organes plus importants, notamment dans le cas d'une sécheresse estivale marquée suivie souvent d'un retour de pluie favorable à la minéralisation de cet azote organique. Les **quantités d'azote transférées** vont bien sûr différer selon les contextes, et notamment selon les espèces de légumineuses implantées. Elles sont ainsi **plus élevées avec le trèfle blanc qu'avec la luzerne** (LOUARN *et al.*, 2015). D'autre part, **la présence de l'animal**, qui dans de nombreux élevages valorise la prairie par le pâturage, **va ajouter une voie de transfert immédiat** et jouer un rôle important dans l'expression de la complémentarité graminées - légumineuses. La part de l'azote excrétée par voie urinaire et

fécale représente entre 70 et 95% de l'azote ingéré (DELABY et al., 2014). En conséquence, les restitutions au pâturage contribuent au recyclage de l'azote, et donc au recyclage de l'azote fixé par les légumineuses. Certes, compte tenu des restitutions localisées, une partie de l'azote urinaire est en excès et ne pourra pas être immédiatement et intégralement recyclé. Sur prairies pâturées, la part de ce recyclage associé à l'animal dans les transferts totaux permis par la présence des légumineuses est assez variable, notamment en fonction du nombre de jours de pâturage réalisés. À l'aide d'une méthodologie complexe, LEDGARD (1991) a estimé que sur un transfert total d'azote fixé de 130 kg N entre le trèfle blanc et le ray-grass anglais, 46% avaient pour origine les restitutions animales. La présence de l'animal va donc amplifier et accélérer le transfert d'azote fixé de la légumineuse vers la graminée.

Après la récolte et/ou la destruction de la culture comportant des légumineuses, **les arrière-effets** liés à la libération de l'azote sont conséquents. Ils **dépendent de la biomasse résiduelle** (racines, collets, parties aériennes non récoltées) **et de leur vitesse de dégradation**. La teneur en protéines élevée des différentes composantes de la plante restituées au sol explique ces transferts d'azote importants. Ces arrière-effets vont bénéficier à la culture suivante, à la fois en termes de rendement et de teneur en azote du produit récolté. Le blé ou le colza qui suit une culture de pois peut ainsi en bénéficier (VOISIN et al., 2015), tout comme les céréales implantées derrière une culture de luzerne (FIORRELLI, comm. pers.) ou encore de l'orge après une prairie de ray-grass anglais - trèfle blanc (EVANS et al., 1992). Après une prairie d'association riche en légumineuses, les quantités d'azote libérées peuvent être très importantes et justifient les réductions de fertilisation recommandées pour les cultures suivantes. D'un point de vue agronomique, cet arrière-effet des légumineuses est extrêmement intéressant à l'échelle du système à condition de combiner au mieux la période de destruction du couvert, le type de culture implanté ensuite et surtout de limiter, voire supprimer, la fertilisation azotée (VERTÈS et al., 2015). Malgré cela, après une culture de maïs notamment, les pertes d'azote par lessivage sont souvent augmentées lors de l'automne suivant. Des travaux de recherche sont en cours pour optimiser cette valorisation, mais la prévision de la minéralisation de ces résidus et donc de la disponibilité de cet azote, qui doit permettre de réduire la fertilisation minérale, reste une difficulté majeure.

Au sein d'une rotation, les légumineuses, qu'elles soient à graines ou fourragères, vont rendre également d'**autres services agronomiques**. On peut citer leur influence amélioratrice de la structure des sols, grâce pour certaines à leur racine en pivot et également grâce à l'enrichissement en matière organique. Leur introduction dans les assolements a également un effet de diversification végétale qui crée des ruptures dans le temps (allongement des rotations) et l'espace (mosaïque culturale), et s'avère favorable à la lutte contre les adventices et aussi à la limitation des risques associés aux bio-agresseurs. Cependant, ces légumineuses véhiculent également leurs propres risques (parasites, maladies cryptogamiques...) et, de fait, leur

place dans les assolements et leur fréquence de retour dans les rotations doivent être raisonnées et raisonnables. Enfin, elles contribuent aussi à accroître la biodiversité végétale et leurs fleurs favorisent la présence et la vie des insectes pollinisateurs. Lorsqu'elles sont introduites en interculture (dérobées) ou sous couvert, les légumineuses vont jouer un rôle important de couverture des sols, limitant ainsi dans certaines zones les risques d'érosion. Outre le fait qu'elles peuvent être récoltées et fournir des fourrages complémentaires, leur destruction en fin d'hiver aura des effets « mulch » ou engrais verts intéressants.

Dans les systèmes en agriculture biologique comme dans les systèmes dits « à bas intrants », la libération d'azote après les cultures comportant des légumineuses est vitale pour le système et sa pérennité. C'est d'ailleurs une des justifications de leur introduction conséquente en termes de surfaces dans les assolements. Cette forme d'agriculture, qui compte d'abord sur la biologie, est également très sensible aux autres avantages agronomiques des légumineuses décrits ci-dessus. Certains agriculteurs (FAIDHERBE et al., 2007), après parfois un long apprentissage, sont passés maîtres dans l'art de combiner les diverses légumineuses annuelles, pérennes, à graines ou fourragères pour aboutir à des rotations longues et des assolements très diversifiés, parfois assez complexes mais pleinement justifiés dans le cadre de ce cahier des charges.

■ Les légumineuses : une source de protéines pour l'élevage

Chez les ruminants, l'intérêt nutritionnel des légumineuses réside d'abord dans leur teneur élevée en protéines. Parmi les légumineuses à graines, le pois protéagineux (environ 1,15 UFL et 100 g PDIE/kg MS) n'est rien d'autre qu'un concentré de production équilibré (HODEN et al., 1992). **Comme dans le cas du pois, l'utilisation de la féverole ou du lupin, plus riches en MAT et en azote dégradable, vont permettre de corriger les fourrages pauvres en MAT et d'en améliorer la digestibilité**, en augmentant la disponibilité en azote soluble au niveau du rumen. Ces légumineuses à graines peuvent aussi être associées entre elles et fournir, sous forme d'ensilage préfané et récolté avant l'été, un fourrage équilibré. Les expérimentations conduites en agriculture biologique dans le cadre du projet « Reine Mathilde » en Normandie, notamment le mélange pois - féverole, témoignent de possibilités intéressantes. Chez les légumineuses fourragères, cette richesse en protéines (de 160 à 280 g de MAT/kg MS), variable selon les espèces, les stades de récolte, leurs modalités de récolte et de conservation (INRA, 2010), leur confère un rôle essentiel dans l'équilibre des rations et l'autonomie alimentaire des systèmes d'élevage. Associées à d'autres fourrages plutôt riches en énergie, elles vont ainsi permettre de limiter les achats de tourteaux d'oléoprotéagineux et de réaliser des économies substantielles. En effet, si les élevages de ruminants, qui produisent d'abord leurs fourrages, se caractérisent par un degré d'autonomie en matière sèche très élevé (> 90%), l'autonomie en protéines est notablement plus faible (DEVUN et al., 2012) et crée une

	Jersiaise	Holstein
Alimentation (kg MS total durant la lactation)		
Luzerne pâturée	1 846	2 476
Ensilage de maïs	598	794
Foin	437	550
Graines de coton	221	294
Concentré de production	1 186	1 577
Production et composition du lait		
Lait (kg/l)	19,7	27,9
Lait total (kg, sur 290 jours)	5 720	8 090
TB (g/kg) / MG (g)	45,5 / 885	31,0 / 853
TP (g/kg) / MP (g)	37,8 / 723	32,9 / 896

TABLEAU 2 : Ingestion et production laitière des vaches Jersiaise et Holstein à l'échelle de la lactation dans un système d'alimentation basé sur la luzerne pâturée et l'ensilage de maïs (COMERON *et al.*, 2006a et b).

TABLE 2 : Ingestion and milk produced by lactating Jersey and Holstein cows allowed to graze in lucerne grasslands and given maize silage (COMERON *et al.*, 2006a and b).

dépendance qui accroît la sensibilité des élevages aux aléas économiques.

Lexemple de l'Argentine est à ce titre intéressant. Le système d'alimentation proposé aujourd'hui aux éleveurs laitiers par l'INTA (COMERON *et al.*, 2006a et b ; tableau 2) repose sur des rations combinant 40-50% de luzerne pâturée, 20-25% d'ensilage de maïs ou de sorgho, 10% de foin et 20-30% de concentré pour une production de respectivement 5 000-6 000 kg et 7 000-8 000 kg de lait chez les vaches de race Jersiaise ou Holstein avec un chargement global de 1,7 à 2,0 vaches par hectare. La complémentarité énergie/azote entre les deux fourrages réduit l'utilisation de concentré protéique (notamment le soja qui, bien que produit en Argentine, est dédié à l'exportation) et constitue le socle simple mais efficace du système d'alimentation et plus largement du système fourrager.

En France, en complément d'une ration à base d'ensilage de maïs, l'utilisation de luzerne déshydratée de qualité (> 18% MAT à raison de 3 à 5 kg/jour : PEYRAUD et DELABY, 1994) ou conservée par voie humide (représentant alors 50% des fourrages : ROUILLE *et al.*, 2016) permet d'économiser entre 1,0 et 2,0 kg de tourteau. Mais la luzerne est une plante dont l'intérêt pour les ruminants exigeants est en partie altéré par la tige, riche en parois, dont la digestibilité et la valeur énergétique sont faibles. L'idée de récolter et conserver séparément les feuilles et les tiges, comme on récolte chez les céréales le grain et la paille, paraît ainsi séduisante et pourrait devenir réalité, une fois résolus les problèmes technologiques, grâce au projet Mas-sai développé par la société Trust'ing (JUNCKER, 2016).

Les légumineuses se caractérisent également par **une ingestibilité et des quantités ingérées ad libitum plus élevées que les graminées**. A cela s'ajoute, **pour le trèfle blanc, une meilleure digestibilité associée à l'absence de tiges et gaines**. Il se distingue en cela de toutes les autres espèces puisque la partie récoltée par l'animal ou par fauche n'est constituée que de limbes et pétioles pauvres en parois.

	RGA pur		RGA - TB	
Fertilisation N (kg/ha/an)	100	250	100	250
Age de repousse (jours)	30	21	30	21
Nombre de cycles	7	9	7	9
Biomasse (kg MS/ha)	9 125	10 555	13 020	11 450
Répartition (%)	21/60/19	19/60/21	19/61/20	19/59/22
Printemps/Été/Automne				

TABLEAU 3 : Influence de la fertilisation azotée et de l'âge des repousses sur la production et la répartition de la biomasse annuelle d'une prairie de ray-grass anglais - trèfle blanc (RGA-TB, McDONAGH *et al.*, 2015).

TABLE 3 : Effect of nitrogen fertilisation and regrowth age on annual biomass production and distribution in a perennial ryegrass and white clover grassland (RGA-TB, McDONAGH *et al.*, 2015).

Cette spécificité morphologique du trèfle blanc confère une excellente stabilité de sa valeur alimentaire, notamment sa digestibilité, au cours de la phase de croissance. Au pâturage, en comparaison avec un ray-grass anglais pur fertilisé, cette caractéristique favorable aussi à l'ingestion s'exprimera d'autant plus que l'âge de repousse s'allonge (RIBEIRO-FILHO *et al.*, 2003) et que la proportion de trèfle est élevée, tout en restant inférieure à 50%. En matière de gestion du pâturage, les associations graminées - trèfle blanc gagnent ainsi en souplesse d'exploitation. Elles vont donc tolérer un âge de repousse plus élevé, intéressant par ailleurs pour augmenter la biomasse produite lors d'une réduction de la fertilisation azotée (McDONAGH *et al.*, 2015, tableau 3). Finalement, ces caractéristiques nutritionnelles du trèfle blanc permettent de meilleures performances laitières individuelles, comme l'ont encore montré à l'échelle de la lactation complète (+ 800 kg de lait et + 55 kg de Matière Utile) les travaux récents de MCCARTHY *et al.* (2016) en Irlande (figure 3).

Enfin, d'autres éléments nutritionnels d'intérêt sont à mettre au crédit des légumineuses. La **teneur en calcium élevée** de la luzerne (de 15 à 20 g/kg MS) et, dans une

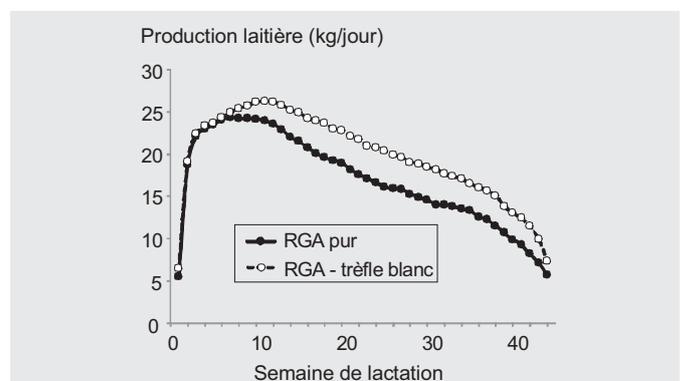


FIGURE 3 : Effet du trèfle blanc associé au ray-grass anglais sur la production laitière au pâturage (MCCARTHY *et al.*, 2016).

FIGURE 3 : Effect of associating white clover with perennial ryegrass on milk production in cows allowed to graze (MCCARTHY *et al.*, 2016).

moindre mesure, des trèfles violet, hybride et blanc permet de réduire les achats et apports d'aliments minéraux et vitaminés (AMV) et va également limiter les risques d'acidose grâce à une balance électrolytique favorable. **Certaines légumineuses**, comme le sainfoin ou le lotier, **contiennent des tanins** qui vont limiter la dégradation de l'azote et sont susceptibles d'améliorer ainsi la valeur alimentaire de toute la ration. Enfin, ces tanins ont des effets antiparasitaires intéressants qui font partie de la panoplie des méthodes de gestion possibles des équilibres hôte - parasite, notamment chez les petits ruminants. Cependant, la contribution erratique à la fois à la biomasse produite et à la ration consommée de ces « petites » légumineuses en limite les effets attendus et leur régularité.

■ Gérer les exigences et les fragilités des légumineuses

Ces trois atouts majeurs des légumineuses ne doivent pas faire oublier qu'elles ont également des exigences, des fragilités qu'il faut intégrer et gérer au mieux pour bénéficier de leur présence, leur développement et leur valorisation à l'échelle du système. **D'un point de vue agronomique**, les légumineuses fourragères, mis à part le lotier et le trèfle violet plus tolérants, préfèrent les sols à pH élevé (> 6,5-7,0) et les sols bien pourvus en phosphore et potasse disponibles. Elles craignent généralement l'humidité, donc les sols hydromorphes et les excès d'eau. Dans les assolements où elle a été absente, la réintroduction de la luzerne nécessite souvent l'inoculation en rhizobium, afin de favoriser la fixation symbiotique. Ces plantes, et surtout les « petites » légumineuses, apprécient la lumière et les températures moyennes supérieures à 10°C. Leur **démarrage en végétation** est de ce fait **plus tardif** que celui des graminées. Enfin, grâce à leur système racinaire adapté, la luzerne et le trèfle violet tolèrent plutôt bien les températures élevées et les conditions estivales séchantes, même si leur croissance diminue. L'ensemble de ces préférences/exigences explique en partie les déconvenues observées dans les prairies d'association ou les mélanges céréales - protéagineux, lorsque la contribution des légumineuses n'est pas au rendez-vous, avec pour conséquence une valeur alimentaire inférieure aux objectifs associés aux mélanges plus équilibrés.

En termes de valorisation, les légumineuses fourragères vont généralement **préférer des intervalles entre deux récoltes plus longs d'environ 1 à 2 semaines par rapport aux graminées**. C'est ainsi qu'en Argentine, la luzerne n'est pâturée que toutes les 4 à 6 semaines, avec des temps de séjour courts (moins de 3 jours) dans les parcelles. L'association des légumineuses avec des graminées devra tenir compte de cette différence. **Le piétinement** associé à des séquences de pâturage **en conditions humides leur est souvent néfaste, voire fatal**. Même en conditions de pâturage idéales, COMERON (comm. pers.) considère qu'au-delà d'un chargement instantané de 110-115 vaches par hectare, le piétinement devient dommageable à la pérennité de la luzerne. Mis à part la variété Luzelle, la luzerne n'est, en France, pas classée parmi les légumineuses à utiliser au pâturage tant elle est sensible au piétinement. Quant à la

récolte, notamment par fenaison ou avec préfanage, elle **se doit d'être minutieuse pour conserver le maximum de feuilles**, qui contiennent les éléments nutritifs intéressants de ces plantes. Ce dernier point est essentiel dans le cas de cultures pures de luzerne ou de trèfle violet.

Le trèfle blanc, dont l'usage essentiel est le pâturage en association avec diverses graminées, **reste une plante un peu « capricieuse » dont la contribution à la prairie est assez imprévisible**. Si les principaux facteurs défavorables ont été décrits (SIMON *et al.*, 1997), l'ampleur de leurs effets est peu quantifiée et souvent variable. Les travaux publiés par LOISEAU *et al.* en 2001 démontrent et permettent de mieux comprendre les variations oscillatoires de la contribution du trèfle blanc, en lien avec la disponibilité en azote minéral du sol. Cependant, sa pérennité, sa disparition ou à l'inverse sa domination, et surtout l'instabilité interannuelle de sa contribution dans telle ou telle parcelle d'une même exploitation, semblent être la résultante d'interactions complexes entre pratiques et moments d'application de ces pratiques. L'introduction du trèfle blanc dans les prairies irlandaises en offre un bel exemple. Certaines recommandations en matière de gestion du pâturage vont devoir être revisitées pour intégrer durablement le trèfle blanc dans les prairies (McCARTHY *et al.*, 2016). La fertilisation azotée est à réduire et devra être ciblée en fin d'hiver-début de printemps pour stimuler le ray-grass anglais sans nuire au trèfle blanc. L'intervalle entre deux séquences de pâturage (*i.e.* l'âge de repousse) est probablement à allonger d'environ une semaine afin de bénéficier de la productivité du trèfle blanc sans dégradation consécutive de sa valeur alimentaire. La pratique de l'accumulation de biomasse en automne-hiver, pour pouvoir pâturer tôt au printemps et satisfaire la demande du troupeau, s'avère préjudiciable au trèfle blanc et devra être modulée. A l'inverse, le pâturage ras qui caractérise la pratique irlandaise semble être un atout à conserver, notamment pour l'accès à la lumière, au printemps et en été, quand les conditions climatiques sont favorables à la légumineuse.

Enfin, pour l'animal qui les consomme, **l'inconvénient majeur des légumineuses reste la météorisation**. Bien que peu fréquente mais possiblement mortelle, son risque d'occurrence, difficile à prévoir, perturbe les éleveurs qui sont alors peu enclins à poursuivre avec les légumineuses lorsqu'ils ont eu à déplorer ces situations de météorisation. Ce risque, important sur luzerne pâturée, oblige à la mise en place de pratiques telles que le gardiennage durant des temps d'accès limités ou, comme en Argentine, la fauche pour pré-séchage la veille du pâturage. Ces pratiques préventives soulèvent le problème de la disponibilité en main d'œuvre, parfois incompatible avec le fonctionnement de l'exploitation. La mixité des rations aujourd'hui recommandées en Argentine permet aussi de supprimer les risques de météorisation associés au pâturage de luzerne.

Conclusion : bâtir des systèmes d'élevage autour des légumineuses

Les légumineuses peuvent jouer un rôle considérable dans l'autonomie, l'efficacité, la durabilité des systèmes agricoles et d'élevage. Leur grande diversité - parce qu'annuelles ou pérennes, à graines ou fourragères - et leurs particularités agronomiques rappelées dans ce texte, permettent d'envisager des insertions dans les rotations et des modes d'utilisation très variés. Surtout si l'on intègre, dans la réflexion, les conséquences attendues du réchauffement climatique. Elles permettent de développer des systèmes de production plutôt simples, comme proposé en Argentine autour du couple maïs - luzerne ou en Irlande avec un système herbager pâturé qui intégrera à terme le trèfle blanc. A l'inverse, selon le rôle que l'éleveur veut leur attribuer, il est possible d'aboutir à des systèmes plus complexes tels que ceux rencontrés lors de l'introduction de mélanges céréales - protéagineux, des cultures sous couvert ou des intercultures à vocations diverses. L'objectif est alors de bénéficier des complémentarités et synergies associées à la diversité des cultures au sein des rotations. Dans tous les cas, leur autonomie vis-à-vis de l'azote constitue une richesse dont bénéficiera le système. Mais, compte tenu de cette aptitude biologique à utiliser l'azote atmosphérique et donc à dépendre davantage des conditions du milieu, il faut savoir et donc apprendre à être tolérant vis-à-vis de leur productivité variable, de leur réactivité au contexte parfois moins favorable car moins « artificialisé ». Et c'est sans doute cette nécessaire tolérance, cette acceptation du « pas toujours parfait » qui limite le développement des légumineuses aujourd'hui, dans un contexte pourtant plutôt favorable à leur retour. L'incertitude, l'instabilité, la diversité ne sont plus de mise dans les systèmes de production agricole exigeants en termes de régularité des performances et d'expression du potentiel.

Les analyses micro-économiques qui tentent d'intégrer l'ensemble des avantages associés aux légumineuses sont assez rares mais confirment généralement l'intérêt de ces espèces. Cependant la sensibilité de ces analyses au contexte, notamment aux prix du pétrole, des engrais et du soja, fragilise les certitudes liées aux atouts agronomiques des légumineuses (HUMPHREYS *et al.*, 2012 ; PHELAN *et al.*, 2015). Même à l'échelle macro-économique, l'intérêt d'une plus grande autonomie protéique de la France par la réduction des importations de tourteaux de soja et l'utilisation de protéines métropolitaines n'est pas garanti. La substitution entre cultures que cette idée génère et donc la réduction des exportations de céréales qu'elle induit semble globalement défavorable (CGDD, 2009).

La levée de ces paradoxes associés aux légumineuses, qui reflètent bien la différence entre atouts et intérêts, va demander une volonté persistante pour promouvoir leur développement. Compte tenu du désengagement des Etats et de la Communauté Européenne vis-à-vis des soutiens de prix directs et de leur efficacité toute relative sur le long terme, vouloir développer les légumineuses passera par une reconnaissance de leurs atouts environnementaux au travers du second pilier. Il faudra alors accepter l'idée de

bénéfices environnementaux rémunérés et financer les services agroécologiques rendus par tel ou tel choix de système, sous condition de les inscrire sur un temps long et de pouvoir les évaluer et les contrôler. Compte tenu de l'inertie des systèmes, les éleveurs attendront des signaux clairs, volontaristes, les incitant à inscrire les légumineuses sur le long terme dans les systèmes de production et le paysage agricole européen.

Intervention présentée aux Journées de l'A.F.P.F.
"Les légumineuses fourragères et prairiales : quoi de neuf ?",
les 21 et 22 mars 2016

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFPF (1983) : *Intérêt du trèfle blanc, Fourrages*, n°94 et 95, 243 p.
- AGRESTE (2010) : *Pratiques culturales 2006, Les dossiers*, 8, 53-80.
- CGDD - Commissariat Général au Développement Durable (2009) : "La relance des légumineuses dans le cadre d'un plan protéine : Quels bénéfices environnementaux ?", *Etudes et documents*, 15, 43 p.
- CELLIER P., ODOUX F., THIÉBAU P., VERTÈS F. (2016) : "Ce que les légumineuses fourragères et prairiales apportent à l'environnement", *Fourrages*, 226 (cet ouvrage), 87-94.
- CNIEL (2015) : *Lait biologique en France. Collecte, fabrications et commercialisation. Année 2014*, Paris. 4 p.
- COMERON E.A., ROMERO L.A. (2007) : "Utilización de la alfalfa para vacas lecheras en pastoreo", *El cultivo de la Alfalfa en la Argentina* (2^{da} Edición), Ed. Daniel Basigalup, Subprograma Alfalfa de INTA, EEA Manfredi, Ediciones INTA. Capítulo 14, 305-334.
- COMERON E.A., MORETTO M., MACIEL M., CUATRIN A.L. (2006a) : "Desempeno de vacas Jersey y Holando paridas en invierno. 1- Alimentación y evolución de estado corporal", *Revista Argentina de Produccion Animal*, vol. 26, 1, 321-322.
- COMERON E.A., MORETTO M., MACIEL M., CUATRIN A.L. (2006b) : "Desempeno de vacas Jersey y Holando paridas en invierno. 2- Produccion de leche y reproduccion", *Revista Argentina de Produccion Animal*, vol. 26, 1, 322-323.
- DELABY L., DOURMAD J.Y., BÉLINE F., LESCOAT P., FAVERDIN P., FIORELLI J.L., VERTÈS F., VEYSSET P., MORVAN T., PARNAUDEAU V., DURAND P., ROCHETTE P., PEYRAUD J.L. (2014) : "Origin, quantities and fate of nitrogen flows associated with animal production", *Advances in Animal Biosciences*, 5:s1, 28-48.
- DEVUN J., BRUNSCHWIG P., GUINOT C. (2012) : *Alimentation des bovins. Rations moyennes et autonomie alimentaire. Compte rendu final 00 12 39 005*, Collection Résultats, Institut de l'Élevage, Paris, 45 p.
- EGAN M. (2015) : *Strategies to increase white clover in intensive dairy production systems*, thesis, Teagasc-University College Dublin, Ireland, 270 p.
- EMILE J.C., COUTARD J.P., FOREL E., STEPHANY D. (2016) : "Développer les associations céréales-protéagineux dans les systèmes fourragers", *Fourrages*, 226 (cet ouvrage), 143-151.
- EVANS D.R., WILLIAMS T.A., MASON S.A. (1992) : "Residual N effect of grazed white clover (*Trifolium repens*) / ryegrass (*Lolium perenne*) swards on subsequent yields of spring barley", *J. Agricultural Sci.*, Cambridge, 118, 175-178.
- FAIDHERBE L., HASNAOUI N., DEBORDE I., MORINEAU J., LUSSON J.M. (2007) : "Pistes d'adaptations à la sécheresse des systèmes d'élevage bovin économes basés sur le pâturage", *Fourrages*, 191, 297-310.
- FOREL E., MANTEAUX J.P. (2013) : "Témoignages d'adaptations aux évolutions climatiques. Intégrer des variétés méditerranéennes aux mélanges fourragers", *Fourrages*, 214, 135-138.

- FUSTEC J., GAYRAUD P., COUTARD J.P. (2008) : "Intérêts des mélanges et associations en agriculture biologique", *Fourrages*, 194, 175-188
- GUILLOU M., GUYOMARD H., HUYGHE C., PEYRAUD J.L. (2013) : *Vers des agricultures doublement performantes pour concilier compétitivité et respect de l'environnement. Propositions pour le Ministre*, Agrenium-INRA, 163 p.
- HODEN A., DELABY L., MARQUIS B. (1992) : "Pois protéagineux comme concentré unique pour vaches laitières", *INRA Productions Animales*, 5 (1), 37-42.
- HUMPHREYS J., CASEY I.A., LAIDLAW A.S. (2009) : "Comparison of milk production from clover-based and fertilizer-N-based grassland on a clay-loam soil under moist temperate climatic conditions", *Irish J. Agric. and Food Rese.*, 48, 189-207.
- HUMPHREYS J., MIHAILESCU E., CASEY I. A. (2012) : "An economic comparison of systems of dairy production based on N fertilized grass and grass-white clover grassland in a moist maritime environment", *Grass and Forage Sci.*, 67, 519-525.
- HUYGHE C., DELABY L. (2013) : *Prairies et systèmes fourragers*, éd. La France Agricole, Paris, 530 p.
- INNOVATIONS AGRONOMIQUES (2010) : *Légumineuses et agriculture durable*, 11, 204 p ; <http://www6.inra.fr/ciag/Revue/Volumes-publies-en-2010/Volume-11-Decembre-2010>
- INRA (2010) : *Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux. Valeurs des aliments. Tables INRA 2010*, éd. Quæ, Paris, 307 p.
- ITEB - EDE de Bretagne (1987) : *Des pâtures riches en trèfle blanc. Pourquoi ? Comment ?*, 32 p.
- JUNCKER E. (2016) : "MASSAÏ ou comment récolter et conserver la "crème" de la luzerne (et autres légumineuses fourragères) pour valoriser de manière différenciée et sécurisée une fraction riche en protéines et une fraction riche en fibres", *Actes des Journées AFFF, Les légumineuses fourragères et prairiales : quoi de neuf ?*, 230-231.
- LEDGARD S. (1991) : "Transfer of fixed nitrogen from white clover to associated grasses in swards grazed by dairy cows, estimated using ¹⁵N methods", *Plant and Soil*, 131, 215-223.
- LE GALL A., GUERNION J.M. (2004) : *Associations graminées - trèfle blanc. Le pâturage gagnant*, Coll. Synthèse, Institut de l'Élevage et Chambres d'Agriculture de Bretagne et Pays de la Loire, Technipel, Paris, 64 p.
- LIU Y., WU L., BADDELEY J.A., WATSON C. (2011) : "Models of biological nitrogen fixation of legumes. A review", *Agronomy Sustainable Development*, 31(1), 155-172.
- LOISEAU P., SOUSSANA J.F., LOUAULT F., DELPY R. (2001) : "Soil N contributes to the oscillations of the white clover content in mixed swards of perennial ryegrass under conditions that simulate grazing over five years", *Grass and Forage Sci.*, 56, 205-217.
- LOUARN G., CORRE-HELOU G., FUSTEC J., LO-PELZER E., JULIER B., LITRICO L., 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 FACCO CARVALHO P.C., GASTAL F. (2015) : "The amounts and dynamics of nitrogen transfer to grasses differ in alfalfa and white clover-based grass legumes mixtures as a result of rooting strategies and rhizodeposit quality", *Plant Soil*, 389, 289-305.
- LÜSCHER A., MUELLER-HARVEY I., SOUSSANA J.F., REES R.M., PEYRAUD J.L. (2014) : "Potential of legume-based grassland livestock system in Europe: a review", *Grass and Forage Sci.*, 69, 206-228.
- MCCARTHY B., DINEEN M., GUY C., COUGHLAN F. (2016) : "Incorporating white clover into spring calving pasture-based production systems to increase performance - the Clonakilty experience", *Proc. Positive Farmers Conf.*, Cork, Ireland, 51-64.
- MCDONAGH J., MCEVOY M., GILILAND T., O'DONOVAN M. (2015) : "Perennial ryegrass variety ranking responses to inclusion of white clover and altered nitrogen fertility", *Grassland in Europe*, vol. 20, 18th EGF Symposium, The Netherlands, 457-459.
- NYFELER D., HUGUENIN-ELIE O., SUTER M., FROSSARD E., CONNOLY J., LÜSCHER A. (2009) : "Strong mixture effects among four species in fertilized agricultural grassland led to persistent and consistent transgressive overyielding", *J. Applied Ecology*, 46, 683-691.
- NYFELER D., HUGUENIN-ELIE O., SUTER M., FROSSARD E., CONNOLY J., 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 and Environment*, 140, 155-163.
- ONU (2014) : 2016, *Année internationale des légumineuses. Résolution 68/231*, http://www.un.org/en/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/68/231&referer=http://www.un.org/en/events/observance/s/years.shtml&Lang=F
- PEOPLES M.B., HERRIDGE D.F., LADHA J.K. (1995) : "Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production ?", *Plant and Soil*, 174, 3-28.
- PEYRAUD J.L., DELABY L. (1994) : "Utilisation de luzerne déshydratée de haute qualité dans les rations de vaches laitières", *INRA, Productions Animales*, 7(2), 125-134.
- PFLIMLIN A. (1993) : "Conduite et utilisation des associations graminées-trèfle blanc", *Fourrages*, 135, 407-428.
- PHELAN P., MOLONEY A.P., MCGEOUGH E.J., HUMPHREYS J., BERTILSSON J., O'RIORDAN E.G., O'KIELY P. (2015) : "Forage legumes for grazing and conserving in ruminant production systems", *Critical reviews in plant science*, 34, 1-3, 281-326.
- POCHON A. (2012) : *La prairie temporaire à base de trèfle blanc*, 5^e éd., CEDAPA, Plérin, 222 p.
- RIBEIRO FILHO H.M.N., DELAGARDE R., PEYRAUD J.L. (2003) : "Inclusion of white clover in strip-grazed perennial ryegrass swards: herbage intake and milk yield of dairy cows at different ages of sward regrowth", *Animal Science*, 77, 499-510.
- ROCHON J.J., DOYLE C.J., GREEF J.M., HOPKINS A., MOLLE G., SITZIA M., SCHOLEFIELD D., SMITH C.J. (2004) : "Grazing legumes in Europe: a review of their status, management, benefits, research needs and future prospects", *Grass and Forage Sci.*, 59, 197-217.
- ROUILLÉ B., DELABY L., DELAGARDE R., CAILLAUD D., DÉSARMÉNIEN D., DAVEAU B., GUIBERT S. (2016) : "Impact des légumineuses fourragères pâturées et/ou récoltées dans les systèmes bovins laitiers en France", *Fourrages*, 227 (à paraître).
- SCHNEIDER A., HUYGHE C., coord (2015) : *Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables*, éd. Quæ, Versailles, 473 p.
- SCHNEIDER A., HUYGHE C., MALEPLATE T., LABALETTE F., PEYRONNET C., CARROUÉE B. (2015) : "Rôle des légumineuses dans l'agriculture française", *Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables*, éd. Quæ, Versailles, 11-77.
- SIMON J.C., LECONTE D., VERTÈS F. LE MEUR D. (1997) : "Maîtrise de la pérennité du trèfle blanc dans les associations", *Fourrages*, 152, 483-498.
- THIÉBEAU P., PARNAUDEAU V., GUY P. (2003) : "Quel avenir pour la luzerne en France et en Europe ?", *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 49, 29-46.
- VERTÈS F., SIMON J.C., LE CORRE L., DECAU M.L. (1997) : "Les flux d'azote au pâturage. II Etude des flux et de leurs effets sur le lessivage", *Fourrages*, 151, 263-280.
- VERTÈS F., JEUFFROY M.H., LOUARN G., VOISIN A.S., JUSTES E. (2015) : "Légumineuses et prairies temporaires : des fournitures d'azote pour les rotations", *Fourrages*, 233, 221-232.
- VOISIN A.S., CELLIER P., JEUFFROY M.H. (2015) : "Fonctionnement de la symbiose fixatrice de N₂ des légumineuses à graines : Impacts agronomiques et environnementaux", *Innovations Agronomiques*, 43, 139-160.



Association Française pour la Production Fourragère

La revue *Fourrages*

est éditée par l'Association Française pour la Production Fourragère

www.afpf-asso.org



AFPF – Maison Nationale des Eleveurs, Bureau 406, 149 rue de Bercy, F-75595 Paris cedex 12
(tél. : 33 (0)1 40 04 52 00 ; e-mail : afpf.versailles@gmail.com)

Association Française pour la Production Fourragère