

Relation entre croissance et qualité de la luzerne : interaction génotype-mode d'exploitation

G. Lemaire¹, J.M. Allirand²

Les surfaces de luzerne ont régulièrement diminué en France depuis 30 ans et se sont stabilisées à environ 600 000 hectares depuis ces 10 dernières années. La raison de cette diminution tient essentiellement à la disparition de l'élevage dans les régions de grande culture, notamment du Bassin Parisien. La disparition des surfaces de luzerne de ces régions n'a pas été compensée par un développement de cette culture dans les régions où l'élevage s'est reconcentré, et ceci malgré de nombreuses tentatives de la part des organismes de recherche et de développement pour promouvoir cette espèce fourragère réputée productive, résistante à la sécheresse et économe en azote. On peut alors se demander pourquoi de tels atouts et de telles qualités agronomiques n'ont pas été effectivement valorisés dans la réalité des systèmes fourragers français. On peut d'autant plus s'interroger sur cette quasi "mise à l'écart" de la luzerne lorsque l'on compare le taux d'incorporation de ce fourrage dans les rations de vaches laitières aux Etats-Unis et au Canada avec celui qui peut être constaté dans la plupart des régions françaises.

MOTS CLÉS

Courbe de croissance, digestibilité, fréquence de coupe, luzerne, modélisation, pérennité, valeur azotée, valeur énergétique, variabilité génétique.

KEY-WORDS

Cutting frequency, digestibility, energy value, genetic variability, growth curve, lucerne, persistency, protein value, setting-up of models.

AUTEURS

1 : I.N.R.A., Station d'Ecophysiologie des Plantes Fourragères, F-86600 Lusignan.

2 : I.N.R.A., Station de Bioclimatologie, F-78850 Grignon.

Un certain nombre de raisons objectives peuvent expliquer cette situation. En premier lieu, la luzerne est une espèce dont les exigences écologiques sont souvent peu compatibles avec les contraintes pédoclimatiques des principales zones d'élevage françaises (sols souvent acides et trop humides) qui en limitent la productivité et la pérennité. Cependant, de nombreuses zones d'élevage favorables à la luzerne n'ont pas réussi à en développer l'utilisation dans leurs systèmes fourragers, le facteur limitant très souvent invoqué étant les difficultés de récolte et de conservation : l'ensilage est toujours techniquement difficile à maîtriser et économiquement coûteux à réaliser. Enfin, la maîtrise de la qualité du fourrage n'a pas toujours été optimale dans des systèmes d'exploitation qui ont toujours eu tendance à privilégier la quantité récoltée. A cet égard, on peut penser que la valeur alimentaire de la luzerne a été globalement sous-estimée en France par rapport à ce qu'elle apparaît être dans les systèmes d'alimentation aux Etats-Unis.

L'objet de cet article est de faire le point sur les relations entre la croissance et la production de la luzerne d'une part et le déterminisme de sa valeur alimentaire d'autre part afin de fournir aux utilisateurs des modèles d'optimisation de l'antagonisme productivité-qualité dans le cadre des systèmes d'exploitation. Par ailleurs, ces relations entre croissance et qualité doivent servir de guide à l'amélioration variétale qui ne devrait plus à l'avenir privilégier uniquement la productivité, mais devrait permettre d'optimiser l'ensemble "production-qualité-pérennité".

Potentialité de croissance de la luzerne

En absence de facteur limitant édaphique, le potentiel de croissance de la luzerne peut être directement relié à la quantité de rayonnement visible intercepté par le couvert végétal durant la repousse selon le modèle développé par Gosse et al. (1984) :

$$MSa = \alpha \times \Sigma PAR_i \quad (1)$$

MSa représente la matière sèche aérienne (t/ha), ΣPAR_i , la quantité de rayonnement visible intercepté (MJ/m^2), α , le coefficient représentant l'efficacité de conversion de l'énergie interceptée en biomasse aérienne.

L'estimation de la quantité de rayonnement intercepté par le couvert végétal au cours d'une journée donnée peut se faire à partir de la connaissance du rayonnement visible incident PAR_0 :

$$PAR_i = E_i \times PAR_0 \quad (2)$$

Le coefficient E_i représente l'efficacité journalière d'interception ; sa valeur dépend essentiellement du développement de l'Indice Foliaire de la culture (IF) :

$$E_i = 0,95 (1 - e^{-0,88IF}) \quad (3)$$

La dynamique de croissance de l'indice foliaire peut être elle-même reliée directement à la température moyenne journalière :

$$IF = b \times \Sigma\Theta \quad (4)$$

Ainsi, cette série de relations (équations (1) à (4)) permet d'estimer la croissance potentielle de la luzerne en fonction de deux paramètres climatiques usuels, la température moyenne journalière et le rayonnement incident journalier. Les figures 1 et 2 illustrent les équations (1) et (4). Dans l'état actuel des connaissances, ce modèle permet de prédire de façon relativement satisfaisante la production de la luzerne au printemps et en été en absence de déficit hydrique. En revanche, pour les repousses d'automne, comme cela est indiqué sur la figure 1, on observe une plus faible production à quantité équivalente de rayonnement intercepté. Des études approfondies ont montré que ce déficit de production correspondait essentiellement à une mise en réserve d'assimilats dans les pivots racinaires (KHAITY et LEMAIRE, 1992) et que l'efficacité photosynthétique globale de la culture restait identique à celle du printemps et de l'été.

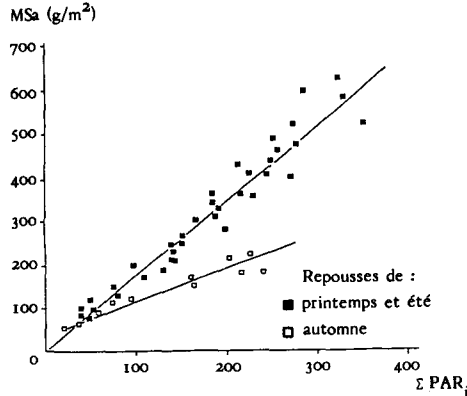


FIGURE 1 : Relation entre la matière sèche aérienne (MSa) et le rayonnement visible intercepté par un peuplement de luzerne (ΣPAR_i) au cours des repousses de printemps et d'été ou d'automne.

FIGURE 1 : Relation between above-ground dry matter (MSa) and visible light intercepted by a lucerne stand (ΣPAR_i) during regrowth periods in spring, summer or autumn.

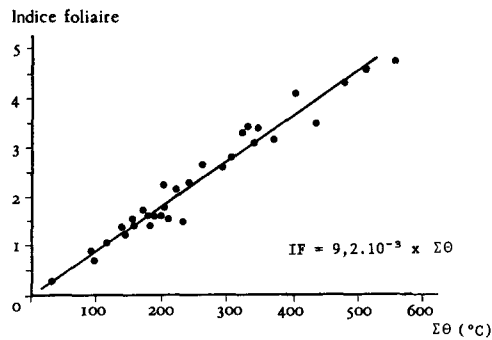


FIGURE 2 : Relation entre l'indice foliaire (IF) d'un peuplement de luzerne et la somme de température ($\Sigma\Theta$; d'après GOSSE et al., 1984).

FIGURE 2 : Relation between leaf area index (IF) of a lucerne stand and cumulated temperatures ($\Sigma\Theta$; after GOSSE et al., 1984).

L'analyse de ce modèle de croissance permet d'envisager les voies d'augmentation de la productivité de la luzerne. Il existe peu d'espoir d'augmenter l'efficacité de conversion de l'énergie interceptée en biomasse aérienne durant les repousses de printemps et d'été. En effet, la valeur de 1,8 g MS/MJ obtenue à cette période correspond au maximum enregistré pour des légumineuses (GOSSE et al., 1986). En revanche, les valeurs plus faibles obtenues lors des repousses d'automne, et correspondant à une mise en réserve racinaire, pourraient être sensiblement augmentées par le choix de génotypes ayant des capacités de croissance des tiges plus importantes à cette période de l'année. En effet, la mise en réserve racinaire peut être interprétée comme l'accumulation dans les pivots des assimilats carbonés non utilisés par la croissance des tiges. Des études récentes (CANAL, 1993) ont montré qu'il existait une variabilité génétique assez grande pour la capacité des plantes à maintenir une croissance de tige en situation de faibles températures à l'automne. Ce type de matériel génétique se trouve en général à l'état spontané dans les écotypes méditerranéens. Leur utilisation dans les zones plus septentrionales pose le problème de la résistance au froid et de la pérennité du peuplement. Des études génétiques sont en cours en vue de l'utilisation de ce caractère en sélection pour l'obtention de génotypes à production mieux répartie dans l'année.

La deuxième possibilité d'augmentation de la productivité de la luzerne serait d'obtenir des peuplements ayant une reconstitution plus rapide de l'indice foliaire après la coupe. Ainsi, pour une même quantité de rayonnement incident au cours

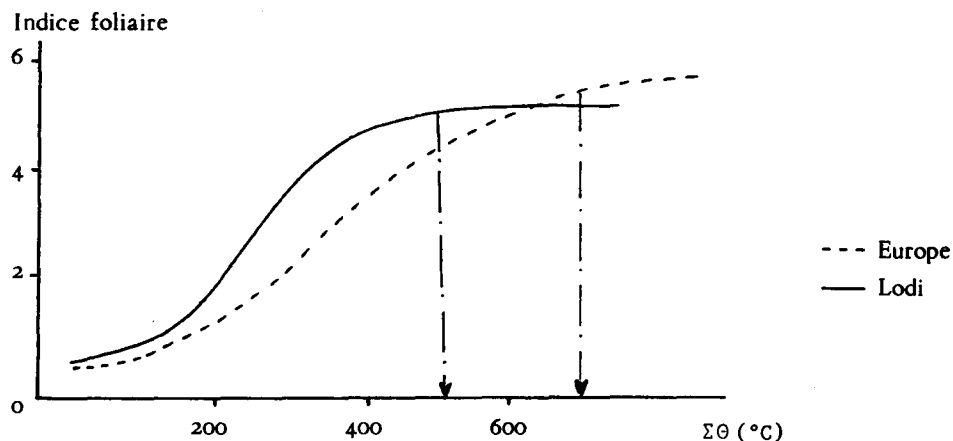


FIGURE 3 : Comparaison de l'évolution de l'indice foliaire de 2 variétés de luzerne en cours de repousse (d'après CANAL, 1993).

FIGURE 3 : Compared evolution of the leaf area indices of 2 lucerne cultivars during regrowth (after CANAL, 1993).

d'une repousse, ce type de peuplement sera capable d'en intercepter une plus grande proportion conformément à la relation (3) et par là d'accumuler une plus grande quantité de matière sèche. La figure 3 représente la dynamique de croissance de l'indice foliaire de deux variétés de luzerne. L'indice maximum est atteint plus rapidement sur la variété Lodi que sur la variété Europe ; une même quantité de rayonnement est donc plus rapidement interceptée par cette variété et un même niveau de production peut être atteint plus tôt. Ainsi, l'augmentation de la vitesse de repousse de la luzerne peut se traduire soit par une augmentation de la production récoltée par coupe, soit par une accélération correspondante du rythme de coupe et une augmentation de la production annuelle par l'augmentation du nombre de coupes.

Toutefois, DURU et LANGLET (1988) ont montré que des peuplements ayant un nombre initial important de bourgeons en croissance après la coupe n'avaient pas obligatoirement une vitesse de croissance plus élevée. Ceci indiquerait que la composante morphogénétique la plus importante à modifier serait la vitesse d'émission des feuilles par tige et non la vitesse d'apparition des tiges. Des études analytiques plus détaillées sur les composantes de la mise en place de l'indice foliaire (vitesse d'émission des tiges \times vitesse d'émission des feuilles \times surfaces des folioles) seraient à entreprendre.

Relation entre productivité et qualité

Jusqu'à présent, les modèles de prévision de la valeur alimentaire de la luzerne ont été basés sur la description de la diminution des teneurs en Matières Azotées Totales (MAT) ou de la digestibilité en fonction de l'âge de la repousse et en référence aux stades phénologiques de la plante (floraison).

• Valeur azotée

En ce qui concerne la valeur azotée, les travaux de LEMAIRE et al. (1985) ont montré que la diminution des teneurs en N de la luzerne au cours d'une repousse était reliée directement à l'augmentation de biomasse aérienne (MSa) selon une courbe de dilution identique à celle de l'ensemble des espèces C3 :

$$N\% = 4,8 (MSa)^{-0,32} \quad (5)$$

Une telle relation indique que toute augmentation de croissance de la luzerne se traduit par une diminution de sa valeur azotée. Les stades phénologiques repères habituellement utilisés ne se caractérisent par aucun point singulier sur la courbe de dilution. On peut affirmer que la relation corrélative globale entre les teneurs en MAT et les stades phénologiques (ou l'âge de la repousse) telle qu'elle est établie dans les tables de valeur alimentaire traduit en fait une relation globale assez lâche entre les stades phénologiques et le niveau de croissance.

La relation (5) est respectée dans toutes les situations où la nutrition azotée de la luzerne reste optimum. Ainsi, comme cela est indiqué dans la figure 4, un déficit hydrique se traduit par une diminution des teneurs en azote correspondant à un même niveau de croissance. En revanche, à une même date de récolte, la différence de teneur en N entre "sec" et "irrigué" est en général assez faible. Ceci est le résultat de deux effets opposés : une augmentation de la teneur en N liée à la diminution de croissance par la sécheresse et une diminution du niveau de nutrition azotée des plantes qui traduit la sensibilité des mécanismes de fixation de N₂ au déficit hydrique.

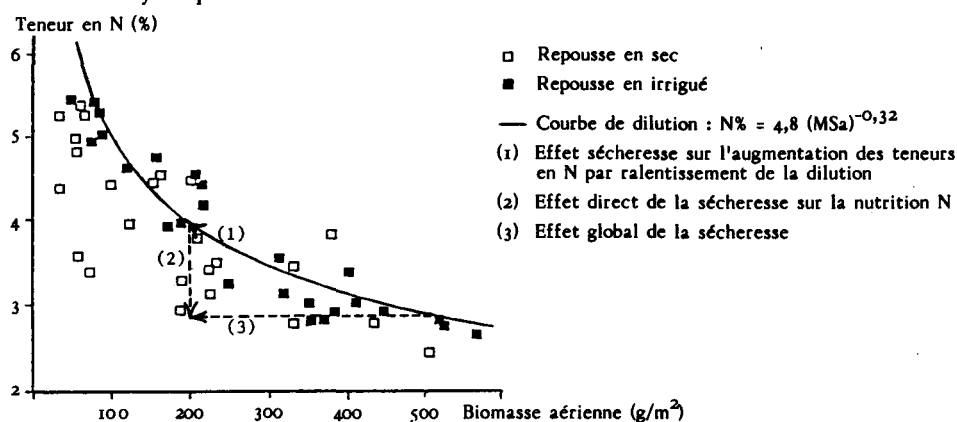


FIGURE 4 : Evolution de la teneur en azote de la luzerne (N%) en fonction de l'accumulation de biomasse aérienne (MSa) au cours d'une repousse en sec ou en irrigué.

FIGURE 4 : Evolution of the protein content of lucerne (N%) in relation to above-ground dry matter accumulation (MSa) during regrowth, under rain-fed or irrigated conditions.

PHILLIPS et TEUBER (1990) ont montré cependant qu'une sélection récurrente portant à la fois sur la production et la teneur en N permettait d'obtenir une légère augmentation de teneur en protéines de la luzerne pour une même biomasse produite. Ceci indique que la relation (5) peut être sujette à une légère variabilité génotypique, encore que ces auteurs n'aient pas montré que cette augmentation de teneur se soit traduite par une vitesse de croissance supérieure.

• Valeur énergétique

La valeur énergétique de la luzerne est avant tout déterminée par sa composition morphologique et en particulier le rapport feuilles/tiges (F/T). La figure 5 montre que l'évolution du rapport F/T au cours d'une repousse peut être reliée directement à la dynamique de croissance du peuplement de luzerne : pour une biomasse aérienne (MSa) donnée, on obtient un rapport F/T constant en sec ou en irrigué :

$$F/T = 1,7 (MSa)^{-0,6} \quad (6)$$

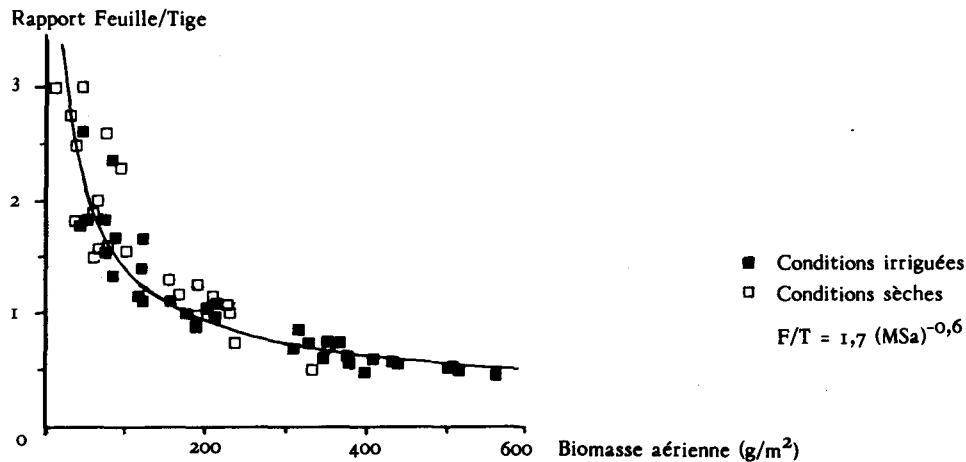


FIGURE 5 : Evolution du rapport feuilles/tiges (F/T) au cours de repousses estivales de luzerne en fonction de la biomasse aérienne (MSa) en conditions irriguées ou sèches.

FIGURE 5 : Evolution of the leaf/stem ratio (F/T) during lucerne regrowth in summer in relation to above-ground dry matter (MSa), under rain-fed or irrigated conditions.

Ainsi, selon cette relation qui se trouve vérifiée dans un grand nombre de situations, toute augmentation de production à une coupe donnée, qu'elle soit consécutive à une récolte plus tardive ou bien à une croissance plus rapide de la luzerne, se traduit par une diminution du rapport F/T et donc de la valeur énergétique de la luzerne récoltée. Comme pour les teneurs en MAT, la chute du rapport F/T n'est pas directement liée à l'âge de la repousse ni aux stades phénologiques des plantes, mais dépend directement de la dynamique de croissance elle-même.

La relation (6) n'est pas vérifiée pour les premières pousses de printemps ; pour cette période l'équation est $F/T = 3,5 (MSa)^{-1}$. En effet, le rapport F/T de la luzerne est en partie déterminé par la température, les basses températures ayant tendance à limiter plus fortement la croissance des tiges que la croissance des feuilles. Ainsi, en début de repousse au printemps, les rapports F/T sont en général plus élevés et ils ont tendance à diminuer rapidement au cours de la croissance du fait de l'accroissement progressif des températures. A l'automne, on peut observer l'effet inverse dû à la baisse progressive des températures et au ralentissement de la croissance des tiges. Nous avons déjà signalé ce phénomène de diminution de l'élongation des entre-nœuds de tiges pour expliquer la diminution de production de la luzerne à l'automne. On peut remarquer que l'augmentation de productivité des

cultures de luzerne à cette période de l'année par le choix de géotypes ayant une capacité de croissance de tiges à faible température (tel que nous l'avons envisagé dans le chapitre précédent) se traduira par une baisse concomitante de la qualité.

• Digestibilité

La figure 6 montre que la digestibilité de la luzerne est essentiellement déterminée par le pourcentage de feuilles (F%) dans la biomasse récoltée ou par le rapport Feuilles/Tiges :

$$\text{DIG} = 65,2 \times \text{F\%} + 36,5 \quad (7)$$

$$\text{DIG} = [65,2 \times (\text{F/T}) / (1 + \text{F/T})] + 36,5 \quad (8)$$

Cette relation reste inchangée par un déficit hydrique. La combinaison des équations (6) et (8) permet de relier directement la digestibilité du fourrage à la production de matière sèche (figure 7). Cette relation serait légèrement différente pour la première pousse de printemps et pour la repousse d'automne, compte tenu de ce que nous avons dit plus haut concernant l'effet des basses températures sur le

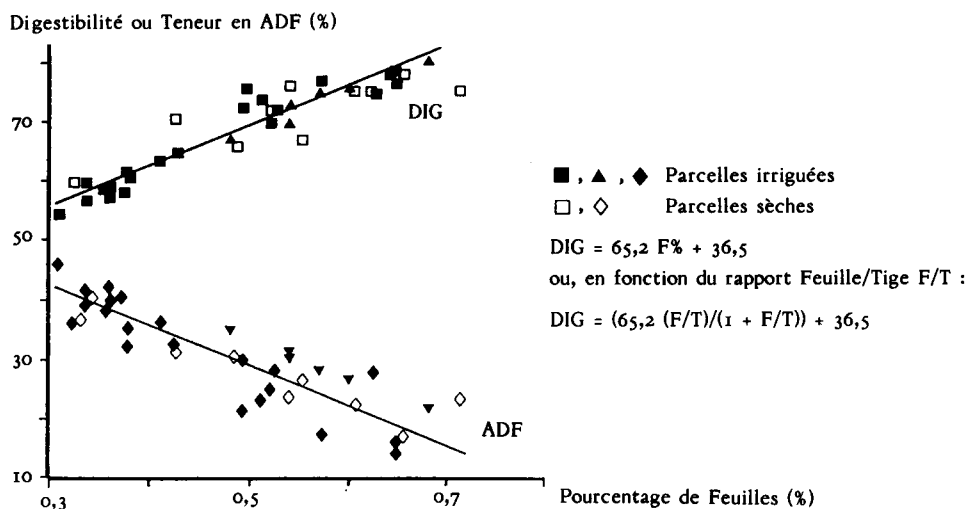


FIGURE 6 : Relation entre la digestibilité (DIG) ou la teneur en ADF de la luzerne et la proportion de feuilles (F%) dans la matière sèche aérienne.

FIGURE 6 : Relation between digestibility (DIG) or ADF content of lucerne and the proportion of leaves (F%) in the above-ground dry matter.

rapport F/T. Pour les repousses estivales, on peut observer que la sécheresse a tendance à augmenter la digestibilité du fourrage récolté par le seul fait de la diminution de croissance de la luzerne. En d'autres termes, l'augmentation de production obtenue en conditions estivales par l'irrigation de la luzerne se traduit toujours par une diminution de qualité.

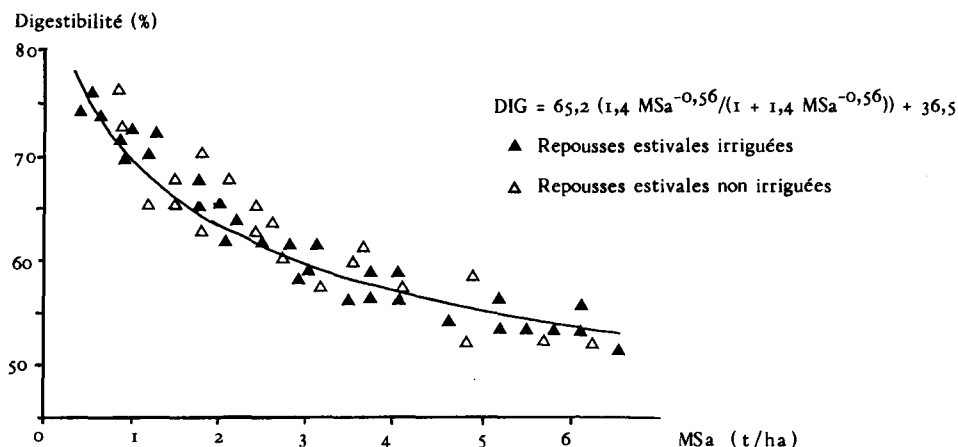


FIGURE 7 : Evolution de la digestibilité de la luzerne (DIG) au cours de repousses estivales irriguées ou non, en fonction de la croissance en matière sèche aérienne (MSa).

FIGURE 7 : Evolution of the digestibility of lucerne (DIG), during rainfed or irrigated regrowth periods, in relation to above-ground dry matter growth (MSa).

Une analyse plus détaillée de la digestibilité de la luzerne nous a permis de montrer que la digestibilité des tiges était liée à leur hauteur. La figure 8 permet de comparer la structure de deux génotypes de luzerne l'un, 6328P, est caractérisé par un grand nombre de petites tiges, l'autre, Europe, est caractérisé par des tiges plus grandes mais moins nombreuses. Si l'on observe l'évolution de la digestibilité des tiges par classe de hauteur au cours du temps (figure 9), on constate que celle-ci diminue avec la hauteur des tiges du peuplement de façon apparemment analogue dans les deux génotypes : on obtient une même digestibilité moyenne pour une même classe de hauteur de tige. La digestibilité supérieure de 6328P à l'échelle du couvert végétal telle qu'elle a été décrite par EMILÉ et al. (1993, même ouvrage) est donc entièrement expliquée par une moindre croissance en hauteur des tiges. On peut remarquer par ailleurs que cette meilleure digestibilité est accompagnée par une croissance de 10% plus faible environ. Cette comparaison entre 6328P et Europe permet donc d'explicitier la relation globale entre digestibilité et croissance de la figure 8. En fait, il s'agit essentiellement d'une relation entre digestibilité (et rapport F/T) et hauteur des tiges, la hauteur des tiges étant elle même fortement corrélée-

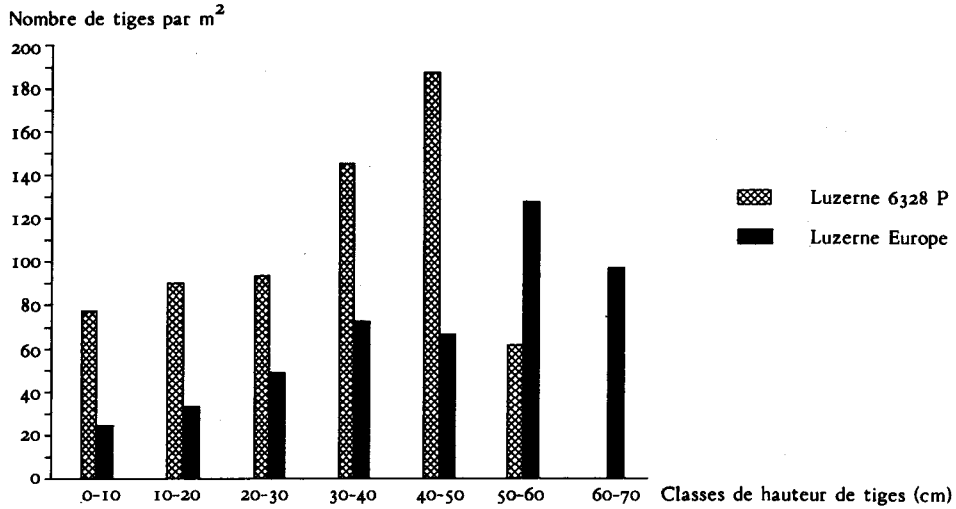


FIGURE 8 : Comparaison de la structure du peuplement de 2 génotypes de luzerne (6328P et Europe) en fin de repousse au premier cycle.

FIGURE 8 : Compared stand structures of 2 lucerne genotypes (6328P and Europe) at the end of 1st cycle regrowth.

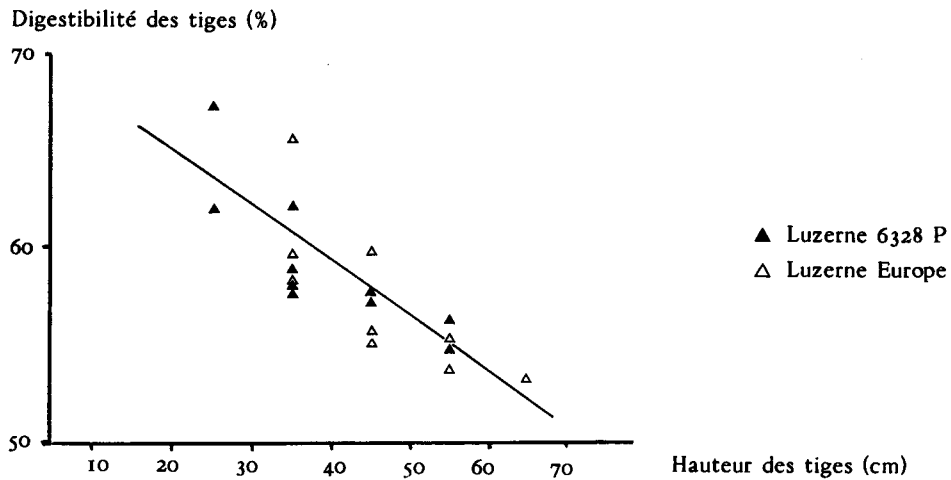


FIGURE 9 : Digestibilité des tiges dominantes du peuplement en fonction de leur hauteur au cours d'une repousse pour les 2 génotypes de luzerne (6328P et Europe).

FIGURE 9 : Digestibility of dominant stems in the stands of 2 lucerne genotypes according to the cutting height, during regrowth (6328P and Europe).

lée à la biomasse aérienne. L'effet de la sécheresse agit de manière analogue par la diminution de la croissance en hauteur des tiges, l'augmentation relative du nombre de tiges ne permettant pas de compenser la diminution de croissance en matière sèche.

Ainsi, on peut affirmer que la diminution de la digestibilité de la luzerne au cours d'une repousse est liée à la croissance en hauteur des tiges dominantes. Ceci se traduit par une disparition rapide des petites tiges, par une réduction importante du nombre total de tiges, par une diminution du rapport F/T du fait de l'accroissement de la taille des entre-nœuds et par une diminution de la digestibilité intrinsèque des tiges les plus grandes. Toute accélération du processus de croissance des tiges, qu'il soit dû à la variabilité génétique ou qu'il soit induit par le milieu (irrigation, fortes températures,...) se traduit donc inévitablement par une accélération de la diminution de la valeur énergétique de la luzerne.

La courbe de la figure 7 permet d'établir le niveau de production maximum à ne pas dépasser pour obtenir un niveau déterminé de digestibilité. Ce type de relation bien qu'encore très lâche doit permettre, en utilisant les modèles de prévision de production, de déterminer les modes d'exploitation de la luzerne pour optimiser le rapport "productivité - qualité". Le tableau 1 donne les résultats d'une simulation effectuée à partir des équations (1) à (8) et des données moyennes des 30 dernières années de température et de rayonnement de Grignon. On peut observer qu'une digestibilité moyenne annuelle de 64% et une teneur en MAT de 21% correspondant à un fourrage de bonne qualité pour des rations de vaches laitières ne sont obtenus qu'avec un intervalle de fauche de 35 jours ne permettant d'extérioriser qu'une production potentielle de 16 t MS comparativement à une production de 20 t obtenues avec un intervalle de coupe de 60 jours mais ne permettant d'atteindre qu'une qualité très médiocre.

	REGIME 1 (60 jours)	REGIME 2 (45 jours)	REGIME 3 (35 jours)	REGIME 4 (28 jours)
MS (T/ha)	19.97	17.83	16.06	14.28
PROT (T/ha)	3.09	3.25	3.35	3.36
%MAT	15.50	18.21	20.89	23.55
%DIG	57.74	60.98	63.93	66.52

TABLEAU 1 : Simulation de la production et de la qualité moyenne de la luzerne récoltée selon 4 régimes de coupe.

TABLE 1 : Simulated production and mean quality of lucerne harvested according to 4 cutting schedules.

• Interventions possibles

Pour améliorer la qualité à niveau de productivité constante il serait nécessaire de modifier la structure du peuplement (tiges plus nombreuses et moins hautes). Cependant, les connaissances que nous avons sur les autres espèces nous indiquent que les compensations entre le nombre d'individus et la taille des individus dans un peuplement végétal ne sont jamais complètes et que le maintien d'un grand nombre d'individus de taille réduite peut se traduire par une diminution de la productivité du peuplement (DURU et LANGLET, 1988). L'autre possibilité d'amélioration de la qualité serait de modifier la qualité intrinsèque des tiges de luzerne, c'est à dire d'obtenir une augmentation de digestibilité des tiges à hauteur constante. Une telle variabilité génétique doit très probablement exister, mais on ignore actuellement son ampleur et des études en cours devraient assez rapidement nous renseigner sur les chances d'amélioration possible par cette voie.

Pour maintenir un niveau de qualité déterminé, l'augmentation de la production doit se faire à productivité par coupe constante. Ceci peut se réaliser à la fois par un prolongement de la saison de croissance, à l'automne, et par l'utilisation de génotypes à croissance plus rapide, ce qui devrait permettre d'augmenter le nombre de coupes dans l'année. Cette possibilité est potentiellement réaliste compte tenu de la variabilité génétique naturelle exploitable ; elle rencontrera cependant une limite qui est l'adaptation de ce nouveau matériel végétal à des rythmes d'exploitation plus rapides et le maintien d'une pérennité acceptable des peuplements.

Pérennité de la luzerne

L'accélération souhaitable des rythmes de coupe de la luzerne en vue d'une optimisation de la qualité risque de poser à terme le problème de la pérennité des peuplements. Si le progrès génétique nous permet d'avoir à notre disposition des génotypes à vitesse de repousse plus rapide après les coupes, est-on certain de pouvoir les exploiter à niveau de production constant, comme l'analyse de l'optimisation de la qualité nous l'indique, sans handicaper la pérennité de ces peuplements ?

La littérature nous a montré de façon abondante que la capacité de repousse d'une luzerne était liée à la restauration des réserves carbonées du pivot racinaire. Des études plus récentes (KIM et al., 1993 ; LEMAIRE et al., 1992) ont permis de montrer qu'en réalité ce sont essentiellement les réserves azotées des pivots racinaires qui sont utilisées dans la repousse des parties aériennes après une coupe. La diminution des réserves carbonées correspond en fait à leur utilisation pour la respiration de maintenance du système racinaire pendant la période d'activité photosynthétique nulle ou faible après défoliation. La figure 10 montre que la vitesse de croissance de la luzerne après une coupe est directement dépendante de la quan-

tité de réserves azotées laissées en place après la coupe (KIM et al., 1993). En effet, après une défoliation, la fixation de N₂ ainsi que l'absorption du nitrate sont inhibées jusqu'à ce que la plante ait restauré un certain indice foliaire et que l'activité photosynthétique ait atteint un niveau suffisant. Durant cette période qui peut être de 2 semaines environ dans les conditions naturelles, la plante remobilise jusqu'à 40 kg N/ha de ses réserves racinaires, soit environ 25 % de la quantité totale exportée lors d'une repousse. Au-delà de ces deux premières semaines de repousse, les vitesses de fixation de N₂ et d'absorption du nitrate deviennent plus importantes que la consommation d'azote dans la croissance des parties aériennes ; le surplus d'azote prélevé permet de reconstituer les réserves racinaires et assure ainsi la pérennité des plantes. La figure 11 montre que, dans les conditions du champ, la reconstitution des réserves azotées est réalisée lorsque la repousse atteint entre 4 et 5 t/ha de matière sèche.

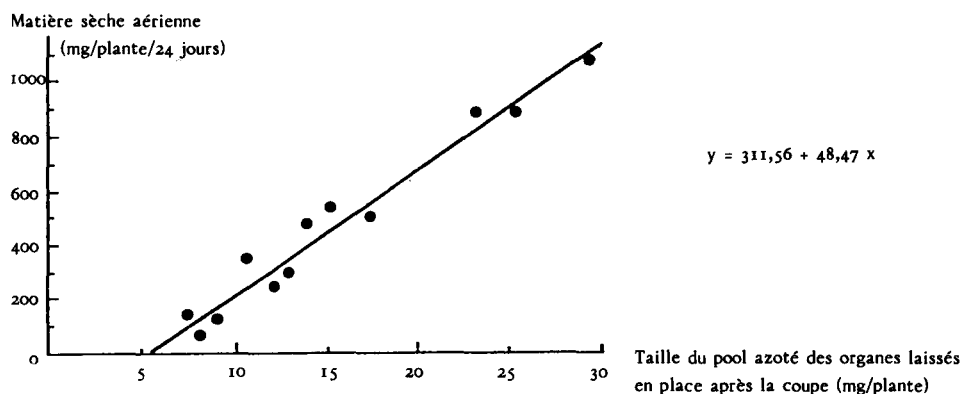


FIGURE 10 : Relation entre le potentiel de repousse d'une plante après défoliation et la quantité de réserves azotées en début de repousse (d'après KIM, 1992).

FIGURE 10 : Relation between regrowth potential after defoliation and storage of protein reserves at beginning of regrowth (after KIM, 1992).

On peut raisonnablement penser que la dynamique d'utilisation et de reconstitution des réserves azotées de la luzerne dépend très étroitement de la dynamique de croissance foliaire après la coupe et de la restauration d'un bilan énergétique favorable de la plante. La cinétique d'évolution des réserves carbonées du pivot n'est, par ailleurs, que le reflet de ce bilan énergétique. Ainsi, un génotype ayant une croissance foliaire rapide après une défoliation totale devrait pouvoir reconstituer ses réserves azotées plus rapidement et donc être capable de supporter une nouvelle défoliation rapprochée. Un tel génotype devrait donc pouvoir produire la même quantité de matière sèche pendant un temps de repousse plus court, tout en assurant une bonne pérennité du peuplement. Des études écophysologiques et

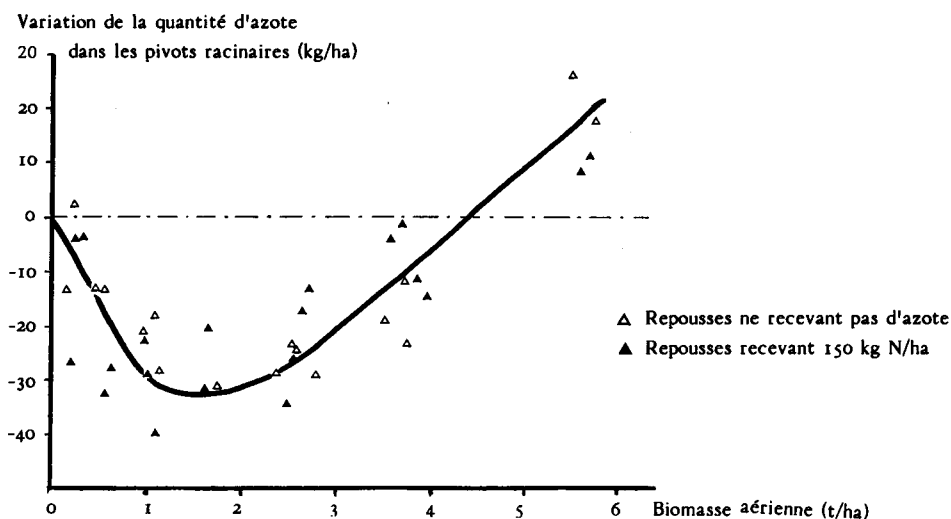


FIGURE 11 : Evolution de la quantité d'azote dans les pivots racinaires de la luzerne au cours de repousses recevant 0 ou 150 kg N/ha (d'après LEMAIRE et al., 1992).

FIGURE 11 : Evolution of amounts of protein in tap roots of lucerne during regrowth periods, with or without application of 150 kg N/ha (after LEMAIRE and al., 1992).

génétiques en cours permettront de tester cette hypothèse et de quantifier l'amélioration possible. De tels types de luzerne existent dans les oasis sahariennes ; cette aptitude à la repousse rapide semble pouvoir être transférable à des types plus septentrionaux. Il peut s'agir d'une voie possible pour augmenter très sensiblement la qualité du fourrage de luzerne récolté tout en maintenant un niveau de productivité important.

Conclusion

La relance de la culture de la luzerne et de son utilisation dans l'alimentation des ruminants passe indéniablement par une meilleure maîtrise de l'antagonisme entre production et qualité. Nous avons essayé dans cet article de dégager quelques voies permettant d'optimiser simultanément la productivité, la valeur alimentaire et la pérennité de la luzerne. Cependant, d'autres freins à l'utilisation de la luzerne se situent au niveau de la maîtrise de la récolte et de la conservation et sont relativement indépendants des études écophysiologiques et génétiques. La déshydratation permet de s'affranchir des conditions climatiques lors des chantiers de récolte et l'utilisation des modèles présentés dans cet article permet d'ores et déjà

une meilleure organisation des chantiers de récolte à l'échelle d'une usine pour optimiser la qualité du produit commercialisé. Cependant, l'avenir de la déshydratation dans le cadre de la nouvelle PAC est mal défini et ce mode de récolte et de conservation ne peut pas être généralisé dans toutes les régions. Il est possible que les techniques d'enrubannage puissent se développer et permettent une meilleure maîtrise des récoltes de premier cycle. Un effort expérimental et technologique doit être entrepris dans ce sens si l'on veut que les principes de maîtrise de la qualité du fourrage de luzerne que nous avons développés puissent être appliqués sur le terrain.

Nous n'avons pas traité de l'adaptation de la luzerne au pâturage. Des surfaces très importantes de luzerne sont pâturées en Argentine et aux USA, pays dans lesquels la météorisation semble bien maîtrisée, et où des systèmes d'élevage performants font appel à cette technique d'exploitation pourtant réputée peu favorable à la luzerne. Certaines régions françaises possèdent des conditions de sols favorables à une telle exploitation. Il existe des aptitudes génotypiques assez nettes de résistance au pâturage qui mériteraient d'être exploitées. L'analyse de certaines pratiques dites traditionnelles à la lumière de nos connaissances écophysiologiques actuelles mériteraient d'être entreprises.

Travail présenté aux Journées d'information de l'A.F.P.F.,
"Les légumineuses : nouvelle PAC, nouvelles chances ?",
les 30 et 31 mars 1993.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CANAL A. (1993) : *Etude de la variabilité génétique chez la luzerne (Medicago sativa L.) pour la repousse d'été et la repousse d'automne*, mémoire de Master, Institut Méditerranéen de Saragosse (Espagne), 92p. + annexes.
- DURU M., LANGLET A. (1988) : "Indice foliaire, structure du peuplement de tiges et biomasse des repousses d'une luzerne irriguée", *Agronomie*, 8(7), 603-611.
- GOSSE G., CHARTIER M., LEMAIRE G. (1984) : "Mise au point d'un modèle de prévision de production pour une culture de luzerne", *C.R. Acad. Sci. Paris*, 298, 18, 541-544.
- GOSSE G., VARLET-GRANCHER C., BONHOMME R., CHARTIER M., ALLIRAND J.M., LEMAIRE G. (1986) : "Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal", *Agronomie*, 6(1), 47-56.
- KHAITY M., LEMAIRE G. (1992) : "Dynamics of shoot and root growth of lucerne after seeding and after cutting", *Eur. J. Agron.*, 1(4), 241-247.
- KIM T.H. (1992) : *Mobilisation des réserves azotées et contribution de l'azote du milieu à la repousse de Medicago sativa L. après une coupe*, thèse, Université de Caen, 101 p.
- KIM T.H., OURY A., BOUCAUD J., LEMAIRE G. (1993) : "Partitioning of nitrogen derived from N₂ fixation and reserves in nodulated Medicago sativa L. during regrowth", *J. Exp. Bot.*, 44, 555-562.

- LEMAIRE G., CRUZ P., GOSSE G., CHARTIER M. (1985) : "Etude des relations entre la dynamique de prélèvement d'azote et la dynamique de croissance en matière sèche d'un peuplement de luzerne", *Agronomie*, 5(8), 685-692.
- LEMAIRE G., KHAITY M., ONILLON B., ALLIRAND J.M., CHARTIER M., GOSSE G. (1992) : "Dynamics of accumulation and partitioning of N in leaves, stems and roots of lucerne (*Medicago sativa* L.) in a dense canopy", *Ann. Bot.*, 70, 429-435.
- PHILLIPS D.A., TEUBER R.L. (1990) : "Enhanced nitrogen fixation by genetically improved alfalfa grown under field conditions", *Nitrogen fixation : Achievements and objectives*, Gresshoff, Roth, Stacey and Newton (eds), Chapman and Hall, New York, London.

RÉSUMÉ

Après un rappel des modèles permettant d'estimer la croissance potentielle de la luzerne en situation non limitante, plusieurs possibilités d'amélioration de la productivité de cette espèce sont envisagées : prolongement de la saison de production en automne, accélération de la restauration de l'indice foliaire après une coupe.

Les modèles qui permettent de coupler l'évolution de la qualité de la luzerne au cours d'une repousse à la croissance en matière sèche montrent que toute augmentation de production à une coupe donnée se traduit par une diminution des teneurs en MAT et de la digestibilité. La seule possibilité d'accroissement de la production à qualité constante est l'augmentation du rythme de coupe et par conséquent du nombre de coupes annuel. Une telle modalité d'exploitation pose le problème de la pérennité des peuplements. Des résultats récents montrent que cette dernière semble en grande partie déterminée par la mise en réserve et la remobilisation de l'azote des pivots racinaires dont la dynamique semble liée à la vitesse de reconstitution de l'appareil foliaire. Ainsi, des génotypes à croissance rapide devraient pouvoir être récoltés plus fréquemment permettant une meilleure optimisation des relations entre productivité, qualité et pérennité.

SUMMARY

Relationship between growth and quality of lucerne : genotype-management interaction

Productivity models for lucerne are briefly presented. They give two possible ways of improving crop yield : i) by extending the growth season in autumn or ii) by speeding up the development of the leaf area after cutting.

The models that relate the decrease in quality of lucerne to the rate of dry matter accumulation show that a yield increase at a given cut is always compensated by a decrease in both protein content and digestibility of the forage. The only way of increasing the yield without loss of quality is by increasing the cutting frequency and the number of cuts per year. This type of management would however entail a poorer persistency. Recent observations show that the persistency of lucerne is mainly determined by the level of protein reserves in the roots. The dynamics of storage and utilization of protein reserves in tap roots are directly connected with the dynamics of leaf area development after cutting. Genotypes with a high rate of leaf area development should therefore be able to withstand frequent cuts and make possible a better balance between productivity, quality and persistency.