

LA CULTURE DE LA LUZERNE ET DU TRÈFLE VIOLET, PURS OU EN ASSOCIATION ASPECTS AGRONOMIQUES

LA RÉUSSITE DANS L'IMPLANTATION ET LE DÉVELOPPEMENT DES PLANTES EST EN GRANDE PARTIE FONCTION DE L'ADAPTATION AUX CONDITIONS DE MILIEU, C'EST-À-DIRE *le climat* et *le sol*, afin que se réalise le meilleur équilibre biologique : « climat - sol - plante ».

Le climat a des caractéristiques moyennes régionales pouvant déterminer une certaine aptitude générale, mais il reste assez fluctuant d'une année sur l'autre.

Par contre, par ses caractères intrinsèques, *le sol* peut déjà largement conditionner l'adaptation des plantes et influencer au premier plan sur les conditions de la production végétale. Mais il reste encore trop souvent méconnu, pas suffisamment pris en compte dans sa dimension réelle, son fonctionnement physique, chimique et biologique, vis-à-vis des systèmes racinaires qui doivent l'exploiter.

En effet, si la plante a une partie aérienne, au rôle très important puisqu'elle reçoit l'énergie, on ne doit pas oublier qu'elle a également un *système racinaire bien défini, qui doit exploiter un « milieu sol », sur une certaine profondeur et pendant une ou plusieurs années.*

Il faut alors considérer l'offre potentielle du sol sur cette profondeur utile vis-à-vis des systèmes racinaires.

Dans le cas de la luzerne et du trèfle violet, on est en présence de deux systèmes racinaires différents et l'aspect agronomique de l'offre potentielle du sol est alors :

— tout d'abord, d'assurer à la plante des possibilités d'implantation et de développement racinaires convenables ;

— et ensuite, d'apprécier au mieux les possibilités d'alimentation des systèmes racinaires en place, en fonction des réserves naturelles d'une part, et d'un objectif de production raisonné d'autre part, afin de déterminer les apports minéraux complémentaires nécessaires.

Enfin, il convient aussi d'apprécier le rôle de ces cultures dans l'assolement.

Pour la présentation de l'étude, on traitera les trois points suivants :

- L'aptitude du milieu sol pour ces cultures.
- Les conditions d'une fertilisation minérale raisonnée.
- Les avantages et les inconvénients de ces cultures dans la rotation.

TABLEAU I
EXPORTATIONS RÉELLES PAR LES RÉCOLTES :
LUZERNE ET ASSOCIATION
(en kg/ha)

Plante	Rendement (t/ha/MS)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S
Luzerne seule (/ 3 ans)	26.3 racines (après 3 ans)	752 11	129 16	699 56	- -	40 -	45 -
Association RGI x TV (/ 2 ans)	23.5	486	150	491	383	111	-

TABLEAU II
EXPORTATIONS MOYENNES :
LUZERNE, TRÈFLE VIOLET ET ASSOCIATION
(en kg/t de matière sèche produite)

Plante	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S
Lucerne	28	5	25	25	2,5	2,5
Trèfle violet	27	7	20	21	6	-
Association RGI x IV	20	6	20	16	4	-

A) L'APTITUDE DU SOL A LA CULTURE DE LA LUZERNE ET DU TRÈFLE VIOLET

1. La luzerne

Si la luzerne a une adaptation climatique très large — pratiquement des zones arides ou sub-arides, avec irrigation, aux zones froides du Québec —, au point de vue sol, elle trouve un optimum de développement dans des sols sains, non hydromorphes, profonds, à bonne réserve hydrique, de réaction neutre ou basique, mais avec une nette préférence pour les sols calcaires ou bien pourvus en calcium échangeable.

Son système racinaire est pivotant et il exige une possibilité de pénétration en profondeur ; cette profondeur utile est de l'ordre de 0,60 m à 1 m pour des périodes d'exploitation de 2 à 3 ans. Cette exigence exclut les divers accidents pédologiques : horizons compactés ou indurés, de type encroûtement calcaire par exemple, ou très argileux et hydromorphes.

a) *L'état hydrique du sol*

— *Besoin en eau et réserve hydrique*

Pour assurer une production végétale correcte, une excellente réserve hydrique est nécessaire. En effet, si on estime globalement que la plante évapore et transpire 0,4 m³ d'eau pour élaborer 1 kg de matière sèche, la production moyenne de 12 t/ha de M.S. par an nécessite : 4800 m³/ha soit 480 mm. Sous climat tempéré, les réserves moyennes du sol à la sortie de l'hiver sont de l'ordre de 100 mm et disponibles pour couvrir les besoins de la première coupe ; mais les coupes d'été restent alors tributaires du fonctionnement de la réserve hydrique profonde vis-à-vis du système racinaire en place, ou de la climatologie estivale.

La production de 2 à 3 coupes d'été, soit 6 à 7 t/ha de M.S. nécessiterait donc une disponibilité de 240 à 280 mm. Sachant que les pluies d'été n'intéressent que fort peu la réserve hydrique du sol, car rapidement reprises par l'évaporation de surface, *toute la production estivale, repose donc sur la réserve hydrique profonde et sa disponibilité journalière.*

C'est là l'un des facteurs essentiels de la production de la luzerne en été. L'illustration de cette production est constituée par le développement de la luzerne en Champagne, où le substratum crayeux constitue une excellente réserve hydrique.

— *L'excès d'eau*

La luzerne est très sensible à l'excès d'eau prolongé et tout engorgement du sol en période de végétation apparaît néfaste. L'activité des rhizobiums exigeant un milieu aérobie ainsi que la croissance racinaire, toute condition d'hydromorphie du sol engendre des conditions d'anoxie pour la racine et de perturbation du métabolisme azoté de la plante.

De plus, en sols hydromorphes, les conditions géochimiques déterminent une augmentation de la teneur en manganèse échangeable et il peut y avoir excès de manganèse et toxicité manganique (GRAVEN et al., 1965).

Tous ces phénomènes sont classiquement couplés, l'hydromorphie déterminant :

- un milieu privé d'oxygène, donc déjà défavorable à la respiration racinaire (BLANCHET et al., 1974), et par suite,
- un milieu réducteur, accentuant la teneur en manganèse échangeable.

Il est donc nécessaire d'affecter à la luzerne des sols bien drainés, naturellement de préférence.

b) L'état calcique et le pH du sol

La luzerne préfère les sols calciques, neutres ou basiques. Cette plante mobilise en effet des quantités importantes de calcium (20 à 30 kg CaO/t de M.S. selon les milieux) ; ce besoin doit être couvert par les réserves du sol et du sous-sol.

Si les sols sont calcaires, l'approvisionnement en calcium est naturellement suffisant. Par contre, en milieu non calcaire, il faut tenir compte de la disponibilité en calcium échangeable, en liaison assez étroite avec le pH (du moins en milieu non salin). Pour ces diverses raisons, il convient de réserver à la luzerne soit des sols à $\text{pH} \geq 6,5$, soit des sols dont la teneur en calcium échangeable est de 4 à 5 ‰ environ.

Des implantations sont possibles en sols acides avec inoculation. Cependant, cette technique ne doit pas faire oublier la satisfaction des besoins de la plante d'une part (20 kg CaO/t de M.S. en sol non calcaire) et les pertes par lessivage hivernal d'autre part (80 à 100 kg CaO/ha/an).

De tels besoins impliquent donc une connaissance du pH et de l'état calcique du sol sur une profondeur suffisante (0,60 m à 1,00 m), en vue d'effectuer les amendements calciques et magnésiens ramenant le sol à un pH et à une teneur en calcium échangeable convenables, sur une profondeur de 0,40 m à 0,50 m.

c) Les conditions thermiques

Il s'agit principalement du froid en période hivernale. L'action est due essentiellement aux phénomènes successifs de « gel-dégel », qui engendrent :

— des accidents d'ordre physique sur le sol et se répercutant sur les jeunes plantes de l'année par un déchaussement (semis en terre nue d'été) ;

— des accidents d'ordre physiologique : dénaturation des noyaux du cytoplasme et plasmolyse des cellules de la couronne (BOLDUC, PESANT, DRAPEAU, 1977).

Les phénomènes décrits concernent surtout le cas de sols gelés où il y a des dégels partiels de la couche gelée, suivis de nouveaux gels.

2. Le trèfle violet

Cette légumineuse offre la particularité d'une adaptation aux sols acides, mais toutefois avec la limite inférieure de pH = 5,5. On sait en effet qu'en dessous de cette valeur, les sols peuvent présenter des problèmes de toxicité aluminique.

Le système racinaire est de type fasciculé. Il se développe beaucoup moins profondément que celui de la luzerne, sur 0,30 m à 0,40 m environ.

Par contre, comme pour la luzerne, l'aspect réserve hydrique est très important. Lorsque cette réserve est faible, le trèfle violet est alors très sensible aux conditions climatiques et on dit plus simplement qu'il *résiste mal à la sécheresse*.

Toutefois, il permet de valoriser des sols plus argileux, acides, moins bien drainés, où la luzerne n'aurait guère de chances de réussite d'implantation et de productivité.

3. Les associations

Dans les associations de chacune de ces deux légumineuses avec une graminée, la réussite de l'association reste conditionnée par l'adaptation de la légumineuse au milieu. Les graminées sont en effet mieux adaptées aux conditions difficiles de sol : sols lourds, sols acides ou sols hydromorphes ; il en résulte un meilleur développement de la graminée et très rapidement une dominance dans l'association.

De plus, si le milieu est favorable pour la légumineuse, on constate que c'est la fertilisation minérale qui peut régler et orienter l'équilibre du fonctionnement de l'association.

En définitive, c'est l'adaptation de la légumineuse du milieu d'abord et la fertilisation ensuite qui peuvent définir le fonctionnement des associations.

B) LA FERTILISATION MINÉRALE DE LA LUZERNE, DU TRÈFLE VIOLET ET DES ASSOCIATIONS

1. Principe et approche d'une fertilisation raisonnée

La fertilisation minérale a pour but de maintenir à la disposition du système racinaire une certaine quantité d'éléments fertilisants, nécessaires pour satisfaire les besoins de la plante en temps opportun.

Les besoins de la plante sont connus par l'analyse du végétal : racines, tiges, feuilles.

Par ailleurs, l'analyse du sol sur une certaine épaisseur renseigne sur l'état des réserves disponibles, naturelles (sous-sol) ou acquises (sol).

L'expérimentation et une certaine connaissance du fonctionnement des sols régionaux permettent ensuite un raisonnement de fertilisation, conditionné par le comportement dans les sols des divers éléments à apporter.

2. Les besoins des plantes

a) Composition de la matière sèche des végétaux

Il est difficile de donner une composition moyenne, car la composition minérale des tissus végétaux varie en fonction :

- de la nature des sols, pour Ca et Mg principalement ;
- de la période des coupes, pour N et S ;
- du niveau de richesse des sols, pour P, K et S.

TABLEAU III
COMPOSITION MOYENNE DE LA LUZERNE,
DU TRÈFLE VIOLET ET D'UNE ASSOCIATION
(en % de la matière sèche)

Plantes	Organes	N	P	K	Ca	Mg	S
Luzerne	Moyenne/parties aériennes	2.6 à 3.5	0.20 à 0.25	1.6 à 2.3	1.7 à 2.4	0.1 à 0.2	0.2 à 0.4
	Racines (sur 0,50 m)	0.6	0.4	2.5	-	-	-
Trèfle violet	Moyenne/parties aériennes	2.6	0.2	1.6	1.7	0.4	-
Ray-grass d'Italie	Moyenne/parties aériennes	1.8	0.3	2.5	0.6	0.2	-
Association RGI x T.V.	Mélange des parties aériennes	2.6	0.3	1.6	1.5	0.3	-

(d'après INRA CHALONS, BORDEAUX et SCPA COLMAR).

A titre indicatif, il a été fourni cependant des valeurs moyennes (tableau I). On constate que les tissus végétaux de la luzerne et du trèfle contiennent huit fois plus de K que de P et des quantités équivalentes de K et de Ca. Les teneurs en azote sont légèrement plus élevées chez la luzerne.

b) Exportations par les récoltes

C'est l'exportation réelle par les parties aériennes exploitées. Dans des conditions de fertilisation moyenne, on a indiqué (tableau II) des valeurs d'éléments fertilisants exportés pour la luzerne (contrôle pendant trois ans sur luzerne en Champagne avec neuf coupes) et une association ray-grass d'Italie-trèfle violet (contrôle sur deux ans, en Alsace).

Les résultats traduits en unités fertilisantes commerciales montrent bien l'exportation massive de potasse, fait dominant de ces analyses. Traduits en kg/t de matière sèche exportée, ces résultats montrent des exportations moyennes de :

P_2O_5 = 5 à 7 kg/t de M.S.

K_2O = 20 à 25 kg/t de M.S.

MgO = 2,5 à 5 kg/t de M.S.

CaO = 21 à 25 kg/t de M.S.

S = 2,5 kg/t de M.S.

3. Comment raisonner la fertilisation minérale

a) *Rappels sur la dynamique des éléments dans le sol et prévision de fumure*

Les travaux d'aménagement étant supposés réalisés (assainissement, drainage) ainsi que la correction d'acidité (amendements calciques et magnésiens), la fertilisation porte essentiellement sur la fertilisation phosphopotassique, puis éventuellement sur les oligo-éléments.

Rappelons simplement que, dans des sols de texture moyenne, les éléments P, K, Ca, Mg ne migrent que fort peu et la mise à disposition des systèmes racinaires ne peut être assurée que par l'enfouissement au labour. La migration lente profonde est principalement assurée par le turn-over biologique des systèmes racinaires.

Seuls les nitrates et sulfates peuvent être considérés comme très mobiles à l'échelle annuelle.

Les valeurs d'exportations minérales indiquées montrent l'intérêt que l'on doit apporter à l'appréciation des réserves du sol avant l'implantation des légumineuses pures ou en association, sachant que :

- la luzerne est une plante à enracinement profond ;
- les éléments nécessaires (P, K, Mg, Ca) diffusent très lentement dans le sol.

Ceci conduit à envisager une politique de *fumure prévisionnelle* capable d'assurer, principalement en potassium, la couverture du besoin des plantes pendant deux à trois ans.

b) La fertilisation azotée

Elle n'est pas nécessaire pour les cultures pures de légumineuses et ne peut être justifiée que dans des sols pauvres en matière organique ou à minéralisation difficile.

Par contre elle est très importante et délicate pour les associations. La fertilisation azotée règle en effet l'équilibre des constituants de l'association. Dans l'association ray-grass-trèfle violet, l'azote favorise la production du ray-grass et réduit celle du trèfle, ceci de façon d'autant plus importante que l'alimentation potassique est moins bien assurée, en raison de la faculté plus grande du ray-grass à utiliser le potassium disponible du sol (CHEVALIER, 1981).

c) La fertilisation phosphatée

Les besoins en phosphore sont relativement peu importants, mais cet élément ne migre pratiquement pas en milieu calcaire ou argileux ; sa redistribution dans le sol ne peut être assurée que mécaniquement par le labour ou biologiquement par les cycles annuels des systèmes racinaires. Ceci conduit à exclure les apports phosphatés de surface pour les cultures en place, principalement pour la luzerne.

Il est donc nécessaire de s'assurer des réserves du sol avant implantation des cultures et d'effectuer les apports correctifs en conséquence, les besoins pratiques étant : exportations réelles + 50 % pour la part des insolubilisations en milieu calcaire ou blocages divers en milieu argileux (30 % des apports annuels). Pour les rendements moyens suivants, les apports prévisionnels d'entretien sont alors :

— luzerne (25 t/2 ans)	200 kg/ha de P ₂ O ₅
— trèfle (15 t/1 an)	150 kg/ha de P ₂ O ₅
— association ray-grass d'Italie-trèfle violet (24 t/2 ans)	220 kg/ha de P ₂ O ₅

d) *La fertilisation potassique et magnésienne*

Par suite des exportations massives (20 à 25 kg/t de M.S.), tant en culture pure qu'en association, le niveau des réserves doit être apprécié par l'analyse du sol et du sous-sol.

Pour les sols naturellement pauvres, le besoin élevé (625 kg K pour 25 t/ha de M.S.) implique une prévision de fumure étalée pour deux raisons : des apports correctifs, ou d'entretien, importants peuvent être générateurs d'une « carence induite » en magnésium et d'une consommation de luxe en potassium. Il en résulte un équilibre K/Mg à maintenir au niveau du sol, voisin de 4 (DUTIL, BALLIF, 1976).

Pour la luzerne en Champagne, des enquêtes sur les rendements en fonction des teneurs du sol et du sous-sol ont permis de fixer des valeurs pratiques de niveaux de fertilisation à respecter (DUTIL, 1978) :

Teneurs (‰)	Sol (0-20 cm)		Sous-sol (20-40 cm)	
	K ⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺
luzerne A ₁	0,280	0,060	0,200	0,040
luzerne A ₂	0,220	0,050	0,160	0,040

En sols argileux, théoriquement bien pourvus en potassium et magnésium échangeables, il est donc nécessaire de bien connaître ces réserves.

Il convient toutefois de rappeler que, dans les associations, la graminée ayant une meilleure capacité d'absorption du potassium interfoliaire des minéraux argileux, le trèfle violet est progressivement éliminé par la graminée, et restera toujours plus sensible à un apport insuffisant en potasse (STEFFENS et MENGEL, 1981).

e) *La fertilisation soufrée*

Dans les sols bien pourvus en matière organique, la minéralisation annuelle peut satisfaire les besoins des plantes. Toutefois, en sols pauvres

en matière organique, ou à minéralisation difficile, des apports sont nécessaires et sont pratiqués sur la base de 100 kg/ha à l'implantation ou dès la première année d'exploitation (DELAS, DUTIL, JUSTE, TAUZIN, 1967 ; JUSTE, DELAS, TAUZIN et MENET, 1969).

TABLEAU IV
RELIQUATS D'AZOTE MINÉRAL EN N-NO₃
DANS LE SOL (COUCHE 0-60 CM) A LA SORTIE DE L'HIVER
EN FONCTION DU PRÉCÉDENT CULTURAL
(en kg/ha)
(I.N.R.A. - Châlons-sur-Marne)

Précédent cultural	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	Moyenne
Betterave	37	48	45	58	30	40	37	40
Luzerne	33	61	36	48	32	46	-	42
Maïs-grain	25	21	22	32	20	36	-	24
Pomme de terre	20	70	36	34	29	42	-	38
Blé	21	-	29	-	20	34	24	37
Colza	35	-	29	-	37	39	33	34

f) Les oligo-éléments

— *Bore* : Les légumineuses sont sensibles à la carence en bore et principalement la luzerne. Dans les assolements avec betterave, où il y a apport systématique de bore, les déficiences sont rares. Toutefois en sols très calcaires, le bore s'insolubilise assez fortement et il est nécessaire avant l'implantation d'effectuer un apport de 20 kg/ha de borate de soude et de toutes façons lorsque la teneur du sol est inférieure à 0,5 ppm.

— *Molybdène* : Des expérimentations effectuées sur luzerne avec apports de soufre seul ou molybdène seul n'apportent qu'une légère amélioration du rendement. Par contre, des essais d'apports couplés de soufre et de molybdène ont montré une interaction positive sur le rendement de la luzerne. Toutefois, l'apport de molybdène doit être limité à 100 g/ha, afin

de diminuer les risques d'intoxication des animaux par ingestion de luzerne trop riche en molybdène ; l'apport de soufre correspondant est de 150 kg/ha (JUSTE, DELAS et TAUZIN, 1971) ; DELAS, JUSTE et TAUZIN, 1973 ; MENET, TAUZIN, DELAS et JUSTE, 1974).

— *Manganèse* : En sols hydromorphes, on peut observer des phénomènes de toxicité manganique de légumineuses ; dans ce cas, le drainage peut seul améliorer la situation.

En sols acides, un chaulage brutal, ramenant le pH au voisinage de 7 peut provoquer la carence en manganèse (HANSON, 1975).

C) LES AVANTAGES ET LES INCONVÉNIENTS AGRONOMIQUES DE LA CULTURE DE LA LUZERNE ET DU TRÉFLE VIOLET, PURS OU EN ASSOCIATION

D'une manière générale, ces cultures constituent un bon précédent cultural et les inconvénients sont minimes et peuvent être palliés facilement.

— *L'effet azote* apparaît excellent et les légumineuses constituent un bon précédent pour le blé d'hiver. L'effet azote est maintenant chiffré régulièrement en grande culture pour déterminer la dose optimale d'apport complémentaire. D'après les valeurs obtenues concernant le reliquat d'azote minéral présent dans le sol à la sortie de l'hiver, on constate que la luzerne se situe en tête des divers précédents de grande culture (tableau IV). En sols lourds, ce reliquat devrait être meilleur, par limitation des pertes lors du drainage hivernal.

— *L'effet nettoyant* : Il est généralement constaté qu'après ces légumineuses les terres contiennent beaucoup moins de mauvaises herbes ; ceci est dû principalement pour la luzerne, aux coupes fréquentes effectuées sur la durée d'exploitation.

— *L'effet physique* est appréciable également. La pénétration racinaire profonde de la luzerne provoque une meilleure structure du sous-sol et

contribue à une meilleure aération. Le trèfle peut également améliorer de façon nette l'état structural de surface et sa production intense contribue à un assainissement du sous-sol, principalement en secteurs assez humides.

Par contre, en culture intensive, la récolte des fourrages verts est souvent génératrice de tassements de surface exagérés. En sols lourds, il convient donc de récolter autant que possible dans des conditions climatiques et de ressuyage favorables.

— *L'effet organique* est relativement faible. En effet, après trois ans de luzerne, la restitution racinaire s'élève seulement à 1.900 kg de M.S./ha, soit 630 kg/ha/an. Pour le trèfle, cette restitution racinaire doit être plus faible. Il apparaît que l'effet physique des racines est meilleur que l'effet humique.

— *Le transfert d'azote* dans l'association graminée-légumineuse est encore mal apprécié, à défaut de méthodologie d'étude rigoureuse, même avec de l'azote marqué (^{15}N). On peut simplement rappeler que les sources d'azote ne sont pas les mêmes pour les deux plantes. La légumineuse fixe l'azote de l'air du sol pour la constitution de ses protéines ; une partie des folioles, riches en azote, retombe sur le sol et le produit de leur minéralisation est repris par la graminée, qui produit effectivement plus d'azote protéinique qu'il n'a été apporté d'azote minéral en vue de son alimentation.

— Au point de vue *valorisation des sols lourds*, ou légèrement hydromorphes, le trèfle violet et surtout l'association trèfle-graminée constituent des cultures efficaces et améliorantes.

— Enfin, dans ces types de sols difficiles, le trèfle et l'association trèfle-graminée peuvent contribuer à une économie de fertilisants, essentiellement pour le potassium et le magnésium. La « fatigue » des sols, notamment pour la luzerne, pourrait correspondre à un certain épuisement des réserves du sous-sol en ces éléments.

Aussi en sols pauvres, les avances pour ces deux éléments doivent être très importantes et correctement raisonnées.

En zones d'élevage, les fumiers et lisiers recyclant en grande partie le potassium, le problème peut être facilement résolu.

CONCLUSION

La luzerne et le trèfle violet constituent deux cultures pouvant valoriser des milieux très différents. Si la luzerne est mieux installée dans les sols calcaires, sains mais à bonne réserve hydrique, le trèfle violet peut être implanté dans des sols assez humides, même légèrement acides. Dans les associations, c'est la légumineuse, plus fragile, qui règle les conditions d'adaptation au milieu.

L'association graminée-trèfle violet s'avère une culture excellente pour valoriser efficacement des terres lourdes.

Toutefois, la production de ces cultures, pures ou en association, peut être limitée par les réserves en eau du sol et la fertilisation minérale.

Cette fertilisation doit être raisonnée en fonction de l'état des réserves du sol et du sous-sol, naturelles ou acquises, et ajustée en conséquence. En sols pauvres, c'est le besoin important en potassium et l'équilibre K/Mg qui doivent être surveillés.

Enfin, ces légumineuses ne peuvent que constituer de très bons précédents culturaux, principalement pour le blé d'hiver, par l'effet du reliquat d'azote, mais aussi par un certain pouvoir nettoyant vis-à-vis des mauvaises herbes et par une amélioration structurale profonde, principalement pour la luzerne.

P. DUTIL,

*I.N.R.A., Chalons-sur-Marne
(Marne).*

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BLACHET R., BOSCH M., MAERTENS C. et MARTY J.R. (1974) : « Influence de divers régimes hydriques sur l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par les cultures : III - Alimentation minérale des plantes en culture irriguée ou non et répercussions sur la fertilisation », *Ann. Agron.*, 25 (6) ; 821-836.

BOLDUC R., PESANT A. et DRAPEAU R. (1977) : « Adaptation à l'hiver et rendement potentiel de quelques luzernières du QUÉBEC au cours des hivers 1973-74 et 1974-75 », *Can J. Plant Sc.*, 57, 883-889.

- CHEVALIER H. (1981) : « Fertilisation azotée et potassique d'associations de ray-grass d'Italie et de trèfle violet. Un exemple expérimental », S.C.P.A., *dossier K₂O*, n° 20.
- DELAS J., DUTIL P., JUSTE C. et TAUZIN J. (1967) : « Carence en soufre de la luzerne en sol de Charente : I - Résultats d'essais en serre », *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 53, 947-956.
- DELAS J., JUSTE C. et TAUZIN J. (1973) : « Carence en soufre de la luzerne en sol de Charente : IV - Nouvelles observations sur l'interaction soufre-molybdène », *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 59.
- DUTIL P. et BALLIF J.L. (1972) : « Mobilisations totales et exportations réelles en éléments minéraux des principales cultures de la Champagne Crayeuse », *Trvx. Stat. Châlons*, Public. n° 8.
- DUTIL P. et BALLIF J.L. (1976) : « Recherche de l'équilibre potassium-magnésium dans la fertilisation de la luzerne en Champagne Crayeuse », *C.R. Acad. Agric. Fr.*, n° 8, 515-528.
- DUTIL P. (1978) : « Relations entre la fertilisation potassique et magnésienne et les rendements de luzerne », *Trvx. Stat. Châlons*, Public. n° 54.
- GRAVEN E.H., ATTOE O.J. et SMITH D. (1965) : « Effet of liming and flooding on manganese toxicity in alfalfa », *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.*, 29, 702-706.
- HANSON C.H. (1975) : « Alfalfa science and technology », *Ann. Soc. Agron. Monog.*, n° 15, Madison, Wisc.
- JUSTE C., DELAS J., TAUZIN J. et MENET M. (1969) : « Carence un soufre de la luzerne en sol de Charente : II - Efficacité comparée de diverses sources de soufre », *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 55, 420-424.
- JUSTE C., DELAS J. et TAUZIN J. (1971) : « Carence en soufre de la luzerne en sol de Charente : III - Interaction soufre-molybdène dans un essai réalisé en vase de végétation », *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 57, 1134-1139.
- MENET M., TAUZIN J., DELAS J. et JUSTE C. (1974) : « Peut-on augmenter le rendement et la qualité de la luzerne dans les sols calcaires de Charente ? », *Fourrages*, n° 60, 43-65.
- PICARD J. (1979) : « Caractéristiques générales des légumineuses », *B.T.I.*, pp. 338-339.
- STEFFENS D. et MENGEL K. (1981) : « Comparaison de l'absorption du potassium interfoliaire des minéraux argileux par le ray-grass anglais et le trèfle violet », S.C.P.A., *dossier K₂O*, n° 20.