

Valorisation, sur prairie et maïs, de la fertilisation organique et minérale. Etude sur le long terme

L. Théliér - Huché¹, J.C. Simon², L. Le Corre³, J. Salette¹

Il est souvent difficile d'estimer l'incidence, à long terme, de pratiques agricoles usuelles sur la culture (niveau de production, état de nutrition), la parcelle (état de fertilité) et son environnement. Afin de répondre à cette problématique, la station I.N.R.A. d'Agronomie de Quimper (Finistère) a suivi différents types de rotations fourragères caractéristiques des systèmes laitiers intensifs bretons pratiquant des apports de lisier au moins une fois par an sur chaque parcelle.

Les bilans minéraux théoriques établis à l'échelle de l'exploitation montrent pour ces systèmes d'élevage un important excédent pour P et un équilibre ou un léger déficit pour K (COPPENET, 1974 ; COPPENET, GOLVEN, 1984) entraînant à long terme un fort enrichissement des sols en P₂O₅ (Dyer) et pour K, un enrichissement des sols uniquement en exploitation porcine (COPPENET et al., 1993). Par ailleurs, SALETTE et HUCHÉ (1989) ont proposé un mode de caractérisation de la dynamique de nutrition minérale d'une culture bien adapté à l'estimation de l'incidence à long terme de pratiques agricoles sur le couple «sol-plante». Pour suivre la dynamique de nutrition d'un élément minéral M à long terme, ils proposent de relier le cumul des exportations en un élément minéral donné (M_{cum}) au cumul des productions de

MOTS CLÉS

Azote, Bretagne, évolution, fertilisation, fertilisation minérale, fertilisation organique, lisier, maïs, nutrition de la plante, phosphore, potassium, ray-grass anglais.

KEY-WORDS

Brittany, evolution, fertilization, maize, mineral fertilization, organic fertilization, nitrogen, perennial ryegrass, phosphorus, potassium, plant nutrition, slurry.

AUTEURS

1 : I.N.R.A., Laboratoire d'Agronomie de la Prairie, F-49071 Beaucozé cedex.

2 : I.N.R.A., Laboratoire associé INRA/Université, F-14032 Caen cedex.

3 : I.N.R.A., Station d'Agronomie, F-29000 Quimper.

matière sèche (MS_{cum}) sur plusieurs années d'une culture ou d'une succession de cultures. La courbe qui en résulte : $M_{cum} = f(MS_{cum})$ représente la dynamique de nutrition de la culture sur la période d'étude. Son ajustement à une fonction puissance ($M_{cum} = \alpha (MS)^{\beta}$) permet d'estimer le degré d'évolution (β) de la biodisponibilité à long terme de l'élément M pour la culture. Un coefficient β très proche de 1 traduit un comportement constant du couple «sol-plante» soumis à un ensemble de pratiques agricoles donné. La courbe précédente peut alors être ajustée à une droite : $M_{cum} = b (MS_{cum})$ dont la pente (b) a valeur d'une teneur et correspond à une consommation moyenne ajustée de la culture en l'élément minéral M.

Si, à la représentation de la dynamique de nutrition à long terme d'une culture, on associe le suivi dynamique des apports en l'élément minéral M (représentation des apports cumulés en fonction du cumul des productions ; HUCHÉ et al., 1990), on visualise et quantifie sur une longue période l'évolution de l'équilibre apport-prélèvement et les conséquences d'un éventuel déséquilibre sur la production et les exportations de M à la récolte. Ce mode de représentation permet, de plus, d'estimer les risques éventuels pour l'environnement d'un choix de pratiques agricoles (importance du déséquilibre apport-prélèvement à long terme).

Le suivi dynamique de l'équilibre apport-prélèvement n'est fiable que si les quantités d'éléments fertilisants apportés sur la parcelle sont calculées avec une précision suffisante. S'il y a utilisation de fumure organique, cela nécessite de connaître non seulement les volumes réellement épandus sur la parcelle mais aussi les valeurs fertilisantes des fumiers ou lisiers. Il est bien connu que les concentrations en éléments fertilisants varient énormément avec le degré d'évolution des fumiers ou la nature et le niveau de dilution des lisiers (COPPENET, 1974) et une analyse de la composition minérale du produit épandu est indispensable.

Matériels et méthodes

La station d'Agronomie de Quimper a suivi de 1978 à 1989 sur un même site, 11 types de rotations fourragères caractéristiques des systèmes bretons laitiers intensifs, avec apport de lisier chaque année (environ 50 m³/ha).

L'expérimentation a été conduite sur le domaine du lycée agricole de Kerbernez (au sud-ouest de Quimper dans le Finistère). Le climat y est typiquement océanique (moyennes de 1978 à 1989) : pluviométrie de 1 110 mm/an, ETP de 640 mm/an, températures moyennes de 6,0°C en janvier et 17,6°C en juillet. Le sol, sablo-argilo-limoneux, s'est développé sur granite de Pont L'Abbé - Penmarc'h (roche claire massive à grains moyens, riche en muscovite et feldspath). Il est acide, riche en matière organique et bien pourvu en P₂O₅ et K₂O (tableau 1).

Granulométrie (% terre)		Analyse chimique		Type de rotation	Fumure organique (lisier : 50 m ³ /ha/an)	Fumure minérale (kg/ha/an)
A	17	pH eau	5,8	A : maïs en monoculture sans lisier	aucune	N : 120 K ₂ O : 180 P ₂ O ₅ : 75
LF	17,5	MO (%)	4,9			
LQ	17,5	P ₂ O ₅ (Dyer, mg/kg)	370			
SF	18	K ₂ O échangeable (mg/kg)	270			
SG	30					
TABLEAU 1 : Composition granulométrique et chimique de la couche labourée (0-25 cm) à la mise en place de l'essai.				B : maïs en monoculture avec lisier	avant labour	N : 60 K ₂ O : 180
TABLE 1 : Granulometric and chemical composition of the ploughed soil layer (0-25 cm) at the beginning of the trial.				E : maïs-RGI* 12 mois (semé au printemps et exploité en fauche)	avant maïs avant RGI	maïs : N=60 RGI* : N=300 (50/cycle) K ₂ O=180-360
				I : RGA* (exploité en fauche)	au printemps	N : 200-300 (50/cycle) K ₂ O : 180
				* RGI : ray-grass d'Italie ; RGA : ray-grass anglais		

TABLEAU 2 : Caractéristiques des 4 rotations retenues.

TABLE 2 : Characteristics of the 4 studied rotations

Nous ne présenterons dans cet article que les résultats relatifs à 4 des 11 rotations suivies (tableau 2). Pour chaque rotation, 4 parcelles de 145 m² ont été suivies avec :

- mesure de la production à la récolte et détermination des quantités d'azote (N), de potassium (K) et de phosphore (P) exportées,
- détermination des quantités N, P et K apportées (analyse chimique des lisiers),
- contrôle du niveau de fertilité des parcelles par analyse de sol (couche labourée : 0-25 cm), en fin de rotation ou au moins tous les 4 ans : détermination du taux de matière organique (N x 20), des teneurs en K échangeable par extraction à l'acétate d'ammonium et du P assimilable par extraction à l'acide citrique (méthode Dyer).

Résultats et discussion

1. Valorisation de l'azote apporté par le lisier

La dynamique d'exportation de l'azote par le maïs en monoculture (figure 1) est constante sur toute la durée de l'étude (14 ans) et quasiment identique entre les 2 rotations (sans ou avec apport de lisier). Malgré un effet positif de l'apport de lisier sur la production cumulée du maïs, la consommation moyenne ajustée en azote a été identique : 11 kg N/t de matière sèche récoltable élaborée. Cet effet positif sur la production peut être attribué à deux facteurs :

- des apports d'azote (lisier + engrais) globalement plus importants sur la rotation B recevant du lisier (figure 2) ; sur la rotation A sans apport de lisier, les apports

FIGURE 1 : Dynamique d'exportation à long terme (1978 à 1990) de l'azote par le maïs en monoculture, avec ou sans apport de lisier. Les prélèvements cumulés d'azote en fonction du cumul des quantités de matière sèche récoltées suivent des ajustements linéaires dont les pentes représentent des consommations moyennes ajustées en azote (kg N/t MS récoltée) : 10,9 pour le maïs sans lisier et 11,1 pour le maïs avec lisier.

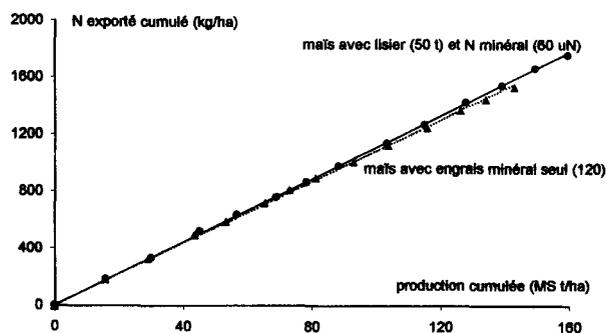


FIGURE 1 : Long term (1978 to 1990) dynamics of nitrogen uptake by a maize monoculture with or without application of slurry. Cumulated nitrogen uptake versus cumulated production of dry matter is linearly adjusted, the slopes representing mean consumptions of nitrogen (kg N/t DM) : 10.9 for maize without slurry and 11.1 for maize with slurry.

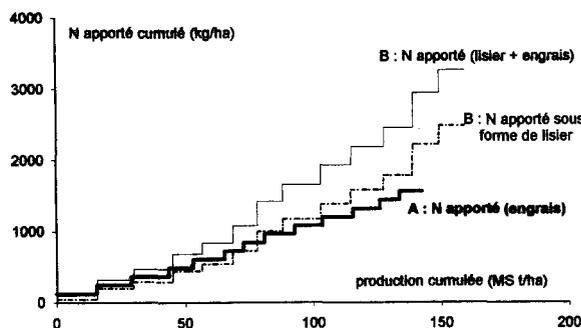


FIGURE 2 : Dynamique des apports d'azote à long terme en fonction du cumul des productions pour les 2 monocultures de maïs, sans (A) ou avec (B) apport de lisier.

FIGURE 2 : Cumulated nitrogen supply versus cumulated dry matter production for two monocultures of maize : without (A) and with (B) application of slurry.

d'engrais azotés ont juste compensé les exportations par la culture et ont peut-être limité la production ;

– un effet du lisier sur la minéralisation de la matière organique du sol ; le taux de destruction apparent de la matière organique a été plus fort dans la rotation B : 1,49 contre 1,19 pour la rotation A (en %/an, moyenne sur 13 ans).

Si l'on compare une utilisation du lisier par le maïs à une utilisation par le ray-grass anglais, on constate qu'à long terme le ray-grass anglais, récolté à un stade proche du stade pâture, prélève plus d'azote que le maïs en monoculture (figure 3), malgré une production cumulée plus faible. Le ray-grass anglais valorise donc mieux que le maïs l'azote apporté (lisier + N minéral).

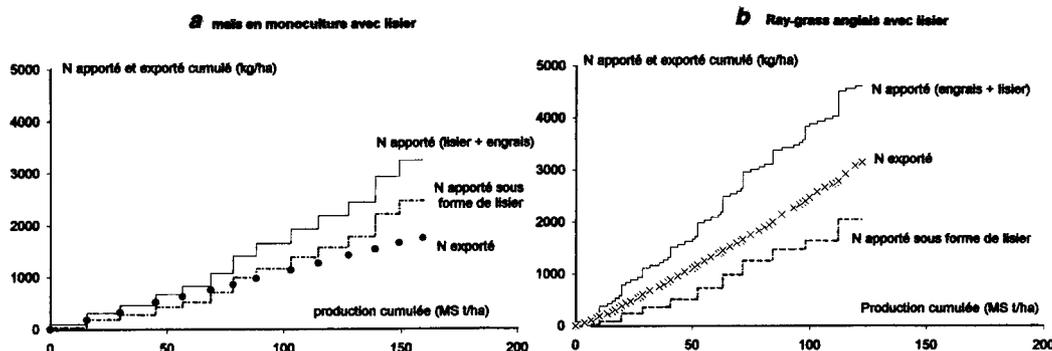


FIGURE 3 : Dynamique des exportations et des apports d'azote à long terme en fonction du cumul des productions de matière sèche pour 2 types de rotations recevant du lisier au printemps : maïs en monoculture de 1978 à 1990 (a) et ray-grass anglais de 1979 à 1989 (b). On remarque une nette différence dans la dynamique d'exportation de l'azote entre les deux cultures.

FIGURE 3 : Long-term cumulated nitrogen removal and supply versus cumulated dry matter production for two rotations with slurry applications in spring : (a) monoculture of maize (1978 to 1990), and (b) perennial ryegrass (1979 to 1989). An appreciable difference is to be noticed between the uptake dynamics of the two crops.

ZIEGLER (1994) propose d'affecter, aux quantités d'azote épandues sous forme organique, un coefficient d'équivalence engrais minéral (égal à 0,8 pour du lisier de porc ou de bovin épandu au printemps sur maïs ou sur prairie, si la parcelle en reçoit tous les ans). Nos résultats ne nous permettent pas de vérifier la pertinence de ce coefficient d'équivalence (pas de traitement N minéral seul avec le même niveau de production que le traitement lisier).

Dans un objectif de gestion optimale de la fertilisation azotée, le suivi dynamique des apports et des exportations d'azote sur la rotation à base de ray-grass anglais (figure 3b) montre que les apports d'azote sous forme minérale auraient dû être réduits en fin d'été et en automne (apport de 50 kg/N par cycle alors que les niveaux de productions étaient faibles) ; ceci aurait permis de réduire le déséquilibre apport-prélèvement et les risques de perte d'azote par lessivage.

2. Valorisation du potassium apporté par le lisier

Quel que soit le type de culture (maïs, ray-grass d'Italie ou ray-grass anglais), la dynamique d'exportation de K est constante pour une culture donnée sur toute la durée de l'étude (figure 4). On remarque une forte différence dans la consommation moyenne en K par t de MS récoltée entre le maïs et la prairie (liée à un stade de récolte différent).

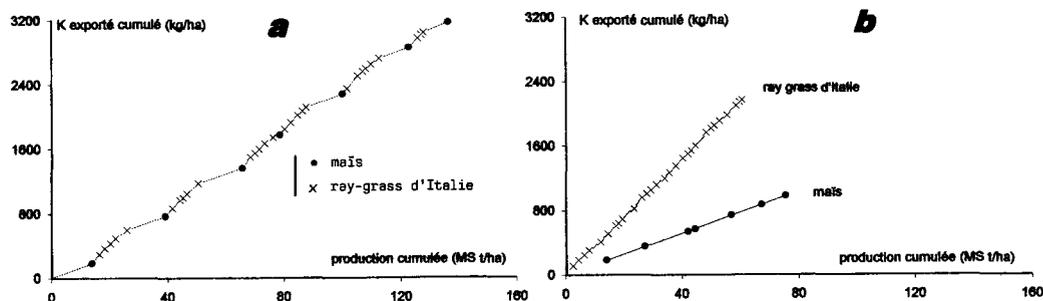


FIGURE 4 : Dynamique d'exportation de K à long terme (de 1978 à 1990) (a) en fonction du cumul des productions de matière sèche pour une rotation de type maïs - ray-grass d'Italie de 12 mois. Pour une culture donnée (b), la dynamique d'exportation à long terme est constante, la pente de la droite d'ajustement traduit une consommation moyenne ajustée en K par tonne de MS récoltée : 12,9 pour le maïs et 36,0 pour le ray-grass d'Italie.

FIGURE 4 : Long-term (1978 to 1990) cumulated potassium removal versus cumulated dry matter production for a rotation based on maize and Italian ryegrass of 12 months (a). For a given crop (b), the K uptake dynamics is constant ; the slope of the linear ajustement represents the mean adjusted K consumption (kg/t DM) : 12.9 for maize and 36.0 for Italian ryegrass.

Sur la rotation ne comportant que du ray-grass anglais, la forte consommation de potassium par la prairie (33 kg K/t MS) entraîne à long terme un déséquilibre du bilan agricole en K (exportations > apports) malgré des apports conjoints de lisier et de chlorure de potassium (figure 5). Ce déséquilibre n'affecte pas l'état de

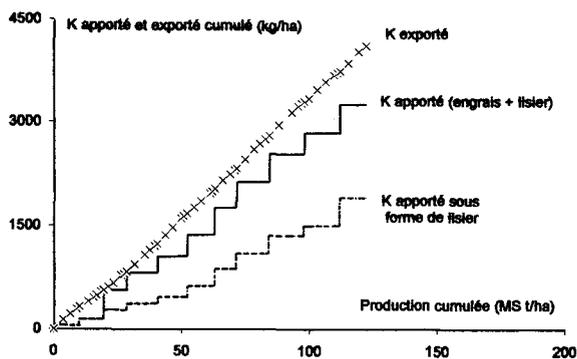


FIGURE 5 : Dynamique des exportations et des apports de potassium à long terme (de 1979 à 1989) en fonction du cumul des productions de matière sèche pour une prairie de ray-grass anglais. Le déséquilibre croissant entre apports et prélèvements ne modifie pas la dynamique d'exportation du K par le ray-grass anglais à long terme.

FIGURE 5 : Long-term (1979 to 1989) cumulated K removal and supply versus cumulated dry matter production for perennial ryegrass. The increasing unbalance between uptake and supply does not affect long-term K uptake dynamics.

FIGURE 6 : Niveau de nutrition potassique du ray-grass anglais au printemps. Diagnostic par analyse du végétal à partir des relations entre teneur en azote et teneur en potassium de l'herbe. Les lettres délimitent des zones caractéristiques d'état de nutrition excédentaire (E), satisfaisant (S), limite (L) et insuffisant (I) (SALETTE ET HUCHÉ, 1991). Les chiffres (1 à 11) représentent les années d'expérimentation (1979 à 1989).

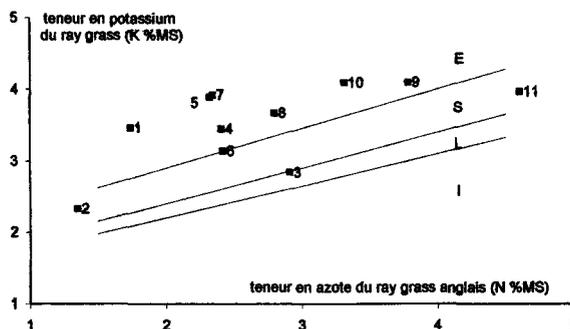


FIGURE 6 : Level of K nutrition in perennial ryegrass. Diagnosis based on the relationship between N and K herbage contents in spring. The letters defines characteristic areas of K nutrition : excessive (E) , satisfactory (S) , limiting (L) and insufficient (I). The numbers (1 to 11) represent the years of experimentation (1979 to 1989).

nutrition potassique du ray-grass anglais au printemps, jugé excessif 8 années sur 11 (figure 6). Ceci traduit une consommation de luxe en potassium et confirme que sur prairie il n'est pas nécessaire de compenser en totalité les exportations même sur des parcelles exclusivement fauchées.

L'évolution des quantités de K échangeable dans le sol au cours de la période d'étude n'est pas corrélée à l'évolution des bilans agricoles (figure 7). Ce résultat peut être comparé à ceux de COPPENET et al.(1993) qui constatent sur des parcelles

FIGURE 7 : Evolution des quantités de K échangeable dans la couche labourable (en kg/ha) depuis l'implantation de l'essai en fonction du bilan agricole (K apporté - K exporté) cumulé depuis l'implantation de l'essai pour 3 rotations : maïs en monoculture, maïs - ray-gras d'Italie de 12 mois et ray-grass anglais. Les chiffres (4, 8 et 12) représentent le nombre d'années depuis le début de l'essai.

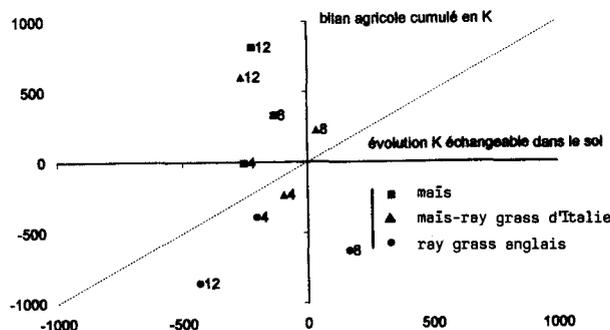


FIGURE 7 : Evolution, from the beginning of the experiment, of the contents of exchangeable K (kg/ha) according to K balance (supply - removal), for 3 rotations : maize monoculture, maize - Italian ryegrass (12 months) sequence, and perennial ryegrass. The numbers (4, 8, 12) represent the years of experimentation.

recevant de 50 à 100 m³ de lisier par ha et par an (enquête parcellaire sur 15 ans), un léger appauvrissement en K échangeable sur des exploitations bovines et un enrichissement sur des exploitations porcines (surtout pour des sols à teneur initiale en K₂O faible (200 mg/kg), les teneurs en K₂O tendant vers une limite supérieure voisine de 400 mg/kg).

3. Valorisation du phosphore apporté par le lisier

Sur prairie, l'absence d'apport de phosphore sous forme d'engrais minéral n'affecte pas le niveau de nutrition phosphatée du ray-grass anglais au printemps (figure 8). Le suivi dynamique des apports et exportations de phosphore (figure 9) révèle pour la rotation maïs - ray-grass d'Italie de 12 mois un déséquilibre du bilan agricole (apports > prélèvements) dû à 3 apports de lisier excessivement riche en P (1, 2 et 3). Ce déséquilibre n'a pas modifié la dynamique de prélèvement du phosphore par les cultures : sur la période d'étude, pour le maïs, le ray-grass d'Italie et le

FIGURE 8 : Niveau de nutrition phosphatée du ray-grass anglais au printemps. Diagnostic par analyse du végétal à partir des relations entre teneur en azote et teneur en phosphore de l'herbe (les symboles utilisés sont les mêmes que pour la figure 6).

FIGURE 8 : Phosphorus nutrition level in perennial ryegrass. Diagnosis based on the relationship between N and P herbage contents in spring. Letters and numbers as in figure 6.

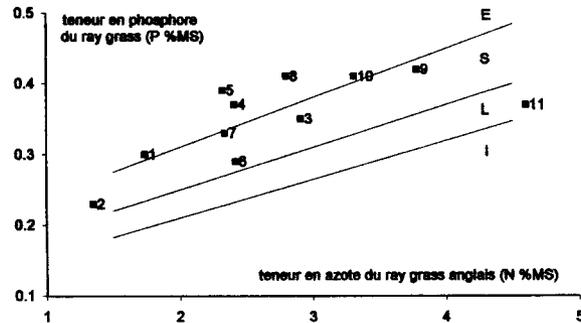
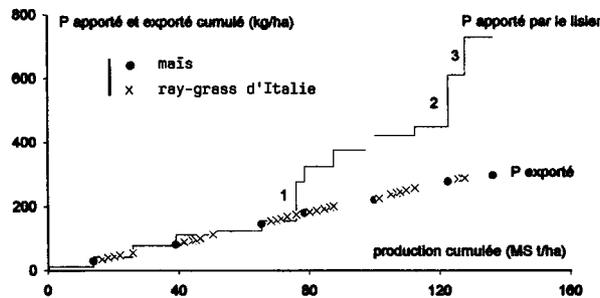


FIGURE 9 : Dynamique des exportations et des apports de phosphore à long terme (de 1978 à 1990) en fonction du cumul des productions de matière sèche pour une rotation du type maïs - ray-grass d'Italie de 12 mois. Le déséquilibre entre apports et prélèvements cumulés est dû à 3 apports excessivement riches en P (chiffres 1, 2 et 3).

FIGURE 9 : Long term (1978 to 1990) cumulated P removal and supply versus cumulated dry matter production for a rotation based on maize - italian ryegrass (12 months). The unbalance between cumulated supply and removal of P is due to three applications of slurry very rich in P.



ray-grass anglais, les consommations moyennes ajustées ont été respectivement de 1,5 , 2,6 et 3,3 kg P/t MS récoltée.

Les bilans agricoles cumulés sont proches de l'équilibre pour la rotation à base de ray-grass anglais ou très nettement excédentaires pour les rotations comportant du maïs (teneur en P plus faible à la récolte). Mais comme pour le potassium, on ne constate aucune corrélation entre les bilans agricoles cumulés et l'évolution des quantités de P assimilable dans le sol (figure 10). L'état de fertilité phosphatée du sol a plutôt tendance à se dégrader mais la méthode utilisée (Dyer) ne permet d'extraire que 66% de l'acide phosphorique apporté par le lisier (COPPENET ET GOLVEN, 1984).

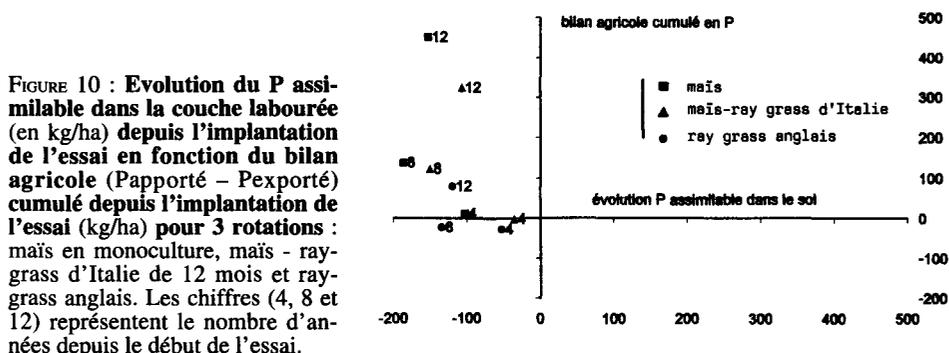


FIGURE 10 : Evolution du P assimilable dans la couche labourée (en kg/ha) depuis l'implantation de l'essai en fonction du bilan agricole (P apporté - P exporté) cumulé depuis l'implantation de l'essai (kg/ha) pour 3 rotations : maïs en monoculture, maïs - ray-grass d'Italie de 12 mois et ray-grass anglais. Les chiffres (4, 8 et 12) représentent le nombre d'années depuis le début de l'essai.

FIGURE 10 : Evolution, from the beginning of the experiment, of the contents of assimilable P (kg/ha) according to P balance (supply - removal), for 3 rotations : maize monoculture, maize - Italian ryegrass (12 months) sequence, and perennial ryegrass. The numbers (4, 8, 12) represent the years of experimentation.

Conclusions

Plusieurs enseignements se dégagent du suivi à long terme de rotations typiques des systèmes d'élevage laitiers intensifs bretons :

– La dynamique d'exportation d'un élément minéral (N, P ou K) à long terme est constante pour une culture donnée. Les consommations moyennes ajustées en N, P et K d'une culture dépendent essentiellement du stade de récolte et sont donc beaucoup plus élevées sur prairie récoltée au stade pâture que sur maïs ensilé. De ce fait, la prairie fauchée peut utiliser et valoriser les éléments fertilisants apportés par le lisier en proportion plus importante que le maïs.

– La politique de fertilisation choisie (apport de lisier et d'engrais minéraux) a conduit soit à des bilans agricoles excédentaires (cas de l'azote et du phosphore) et

donc à une gestion potentiellement polluante, soit à une consommation de luxe par les cultures (cas du potassium).

Dans cette étude, la valorisation des apports est comparée entre maïs et ray-grass pour des niveaux d'apports différents mais considérés comme faisant partie des systèmes de cultures couramment pratiqués au cours de ces 15 dernières années. **Sur ces systèmes de culture, une gestion plus cohérente de la fertilisation est souhaitable avec une valorisation maximale des lisiers** en particulier sur prairie et une réduction de l'utilisation des engrais minéraux (très peu d'apports d'azote sur prairie en fin d'été et à l'automne, pas d'apports de PK autres que le lisier). Une réduction des apports d'engrais minéraux tant sur maïs que sur prairie augmenterait probablement encore le niveau de valorisation du lisier. Compte tenu du niveau de fertilité actuel de ces sols, les risques de dégradation à long terme de leur état de fertilité semblent peu importants, aucune corrélation n'étant apparue entre l'évolution des bilans agricoles et l'évolution des teneurs en K échangeable ou en P assimilable (méthode Dyer).

Accepté pour publication, le 17 juillet 1994.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- COPPENET M. (1974) : «L'épandage du lisier de porcherie. Ses conséquences agronomiques», *Ann. Agron.*, 25 (2-3), 403-423.
- COPPENET M., GOLVEN J. (1984) : *Enquête «lisier-sol-plante» : bilan de 10 années de suivi dans une soixantaine d'exploitations intensives du Finistère*, brochure éditée par la Chambre d'Agriculture du Finistère et la station d'Agronomie de Quimper, 33 p. + annexes.
- COPPENET M., GOLVEN J., SIMON J.C., LE CORRE L., LE ROY M. (1993) : «Evolution chimique des sols en exploitations d'élevage intensif : exemple du Finistère», *Agronomie*, 13 (2), 77-93.
- HUCHÉ L., JOURDAN O., HNATYSZYN M., RAMON J., QUÉMENER J., SALETTE J. (1990) : «Nutrition azotée et potassique de peuplements prairiaux : évolution et équilibre à long terme. Influence du mode d'exploitation», *Fourrages*, 123, 223-239.
- SALETTE J., HUCHÉ L. (1989) : «Modelling nutrient uptake by a grass sward : long term studies over several years», *Proc. XVIth Int.Grassl. Congr.*, Nice, 63-64.
- SALETTE J., HUCHÉ L. (1991) : «Diagnostic de l'état de nutrition minérale d'une prairie par analyse du végétal : principes, mise en oeuvre, exemples», *Fourrages*, 125, 3-18.
- ZIEGLER D. (1994) : «Valorisation agronomique des engrais de ferme sur prairies de fauche», *Fourrages*, 139 (à paraître).

RÉSUMÉ

La valorisation agronomique d'apports de lisier au printemps (50 m³/ha/an) est étudiée sur des rotations typiques des systèmes laitiers intensifs bretons : maïs en monoculture, ou maïs - ray-grass d'Italie, ou ray-grass anglais. Sur les 14 années de suivi, sur sol bien pourvu en P et K et riche en matière organique, la dynamique d'exportation d'un élément minéral (N, P ou K) est constante pour une culture donnée et dépend essentiellement du stade de récolte. Les consommations moyennes en N, P et K par tonne de matière sèche récoltée sont beaucoup plus élevées sur ray-grass récolté au stade pâture que sur maïs ensilé et la prairie valorise mieux que le maïs les éléments fertilisants apportés par le lisier au printemps.

L'utilisation conjointe de lisier et d'engrais minéraux a conduit à des bilans (apports-exportations) largement excédentaires en N et P et à une consommation de luxe de K sur prairie.

SUMMARY

Utilization by pastures and maize of organic and mineral fertilizers nutrients. Long-term study

On intensive dairy farms, slurry and manure constitute considerable stores of nutrients which it matters to utilize efficiently. The utilization of the nutrients contained in slurry (applied at a rate of 50 m³/ha/year) was studied in rotations typical of the intensive dairying systems of Brittany : maize monoculture, maize - Italian ryegrass sequence, perennial ryegrass. When the soils are rich in organic matter and sufficiently provided with P and K, the observations of 14 years show that the dynamics of uptake of the nutrients N, P or K are constant for a given crop and depend mainly on the stage of the cut. The average removals of N, P and K (per ton of harvested dry matter) are much larger for ryegrass cut at the grazing stage than for maize cut for silage. There is thus a better utilization of the nutrients contained in the slurry by pastures than by maize.

In the systems studied, the joint use of slurry and mineral fertilizers induces an excess of N and P in the soil (supply > uptake), and a luxury consumption of K by the herbage. It is advised to improve the fertilization of pastures by applying optimal rates of slurry, with no mineral P or K fertilizers, and with no mineral N in late summer and autumn, when the herbage yielding potential is low.