

Complémentarité herbe - cultures dans les rotations

P. Viaux¹; J.M. Bodet², A. Le Gal³

Au cours des 40 dernières années, en France, la spécialisation des systèmes de production (en grandes cultures comme en élevage) a conduit les agriculteurs à réduire le nombre de cultures et la longueur des rotations. Cette évolution ne va pas sans poser un certain nombre de questions ... Quels types de rotations sont compatibles avec une agriculture durable?

RÉSUMÉ

La simplification des rotations (dont le cas extrême de la monoculture de maïs) a un certain nombre d'effets négatifs sur la fertilité du sol et l'environnement. A l'opposé, les rotations longues qui incluent des prairies, améliorent la fertilité du sol, réduisent les infestations d'adventices, diminuent l'érosion, augmentent les rendements et limitent leur variabilité; de plus, elles utilisent moins d'herbicide et moins d'énergie. L'introduction d'une prairie dans la rotation pose néanmoins le problème des fuites de nitrate lors de son retournement. Pour limiter ces fuites, il est conseillé de détruire la prairie avec un herbicide total non rémanent et d'implanter la culture suivante avec un travail superficiel. La dose d'azote de cette culture doit tenir compte de la minéralisation de la matière organique liée à la destruction de la prairie.

MOTS CLÉS

Analyse énergétique, environnement, fertilité du sol, lessivage, mauvaise herbe, monoculture de maïs, nitrate, pollution de l'eau, portance, prairie, production fourragère, retournement des prairies, rotation culturale, sécurité fourragère, système de production, système fourrager.

KEY-WORDS

Carrying capacity, crop succession, energy analysis, environment, forage production, forage security, forage system, leaching, maize monoculture, nitrate, grassland, ploughing-up of pastures, production system, soil fertility, water pollution, weed.

AUTEURS

1 : ITCF, Station expérimentale, F-91720 Boigneville.

2 : ITCF, Station expérimentale de La Jaillière, BP 32 La Chapelle-Saint-Sauveur, F-44370 Varades.

3 : Institut de l'Élevage, BP 67, Monvoisin, F-35650 Le Rheu.

La spécialisation des régions agricoles des 40 dernières années nous a habitués à penser qu'il y avait d'un côté des régions d'élevage et de l'autre des zones de grandes cultures. De plus, même dans les exploitations des régions d'élevage, on n'a maintenu de la prairie que sur les sols les plus difficiles à travailler et le reste est consacré aux cultures annuelles. Tout se passe comme s'il y avait des sols (pré)destinés à la prairie et d'autres aux cultures. Pourtant, historiquement, la complémentarité entre cultures et prairies était recherchée pour maintenir la fertilité du sol.

1. Choix des rotations et durabilité de l'agriculture

Les rotations longues, incluant quelques années de prairies de graminées (de 3 à 4 ans) ou de trèfle ou de luzerne ou d'associations (graminées - légumineuses), ont ainsi été progressivement abandonnées pour être remplacées par des monocultures ou des rotations extrêmement courtes, à tel point que les agronomes n'osent plus parler de rotation mais parlent plutôt de succession de cultures.

Pourtant, il nous semble que **de nombreuses raisons militent en faveur des rotations longues incluant des prairies d'au moins 3 ou 4 ans**. Il y a bien entendu un intérêt agronomique dans la mesure où les prairies reconstituent de manière efficace le stock de matière organique et créent, en quelques années, une structure du sol favorisant l'émiettement et la porosité du sol, favorable à l'implantation et au développement de toutes les cultures de la rotation (BODET, 1989). Dans certains limons battants, c'est probablement la seule solution pour maintenir à long terme la fertilité du sol. La conséquence de ces effets agronomiques positifs est l'amélioration et une régularisation des rendements.

Mais l'intérêt des prairies de longue durée en rotation ne se limite pas aux seuls aspects positifs sur les propriétés physiques du sol. On note aussi les effets favorables de ce type de rotation pour limiter le développement ainsi que la spécialisation de la flore adventice. Les conséquences de cette observation sont, d'une part, une plus grande facilité de désherbage, qui se concrétise par d'importantes économies d'herbicides. D'autre part, les quantités de matières actives utilisées pour désherber sont plus faibles et donc l'impact sur l'environnement est lui aussi plus faible.

Enfin, les prairies incluses dans une rotation posent le problème des risques de fuites de nitrate au moment de leur destruction. Il est vrai qu'une prairie favorise le stockage dans le sol de quantités non négligeables d'azote et de carbone qui auront tendance à se minéraliser au moment de son retournement. Il faut donc bien gérer les cultures qui suivent pour limiter au maximum les fuites de nitrate vers les nappes. Néanmoins, il ne faut pas considérer que l'aspect négatif de ce phénomène : l'azote qui minéralise est, s'il est bien valorisé, une source d'économie pour les cultures qui suivent. C'est aussi une manière d'améliorer le bilan énergétique du système, dans la mesure où l'engrais azoté représente pour les grandes cultures (sauf les légu-

mineuses) le plus gros poste de dépense énergétique. Remettre régulièrement en jeu l'azote qui se stocke dans une prairie (et en particulier dans les associations graminées - légumineuses) est donc plutôt positif quand on prend en considération l'ensemble du système.

Nous considérons donc que **la recherche, au sein d'une exploitation, d'une complémentarité herbe - cultures est un bon moyen d'aller dans le sens d'une agriculture économe et respectueuse de l'environnement.** Ce que l'on appelle aujourd'hui : une agriculture durable.

2. L'évolution des systèmes de production en zone d'élevage

■ Un peu d'histoire

Antérieurement à l'utilisation des engrais minéraux, il y avait complémentarité entre cultures et élevages. Cette complémentarité était une nécessité agronomique qui permettait d'améliorer sensiblement le rendement des cultures annuelles. Cependant, à l'échelle de l'exploitation, cette pratique aboutissait souvent à un transfert de fertilité des prairies permanentes vers les zones de cultures.

Avec le développement des engrais de synthèse, la dépendance entre élevages et cultures s'est estompée. Ainsi, on observe **une spécialisation croissante des régions et des exploitations** dans la période 1950-1970. On constate aussi que dans les zones où les grandes cultures étaient déjà développées, l'élevage a disparu rapidement. Les prairies temporaires ont été supprimées de l'assolement et les prairies permanentes ont été souvent drainées pour être cultivées. Cette spécialisation s'est accentuée dans la période suivante. Au sein des exploitations d'élevage, la prairie permanente a continué à régresser. On peut schématiquement dire que seules les prairies qui ne pouvaient pas être drainées sont restées en prairies permanentes. Ainsi, les parcelles des exploitations d'élevage se spécialisent. **Les terres labourables portent des rotations de plus en plus courtes:** ray-grass d'Italie (RGI)/maïs/blé puis RGI/maïs, puis monoculture de maïs. Cette dernière évolution est permise par la suppression de la litière et le développement du lisier, puisqu'il n'est plus nécessaire de disposer de paille.

■ Situation de la monoculture de maïs dans l'Ouest

En analysant plus finement la situation de la Bretagne, on constate qu'en 1997 les parcelles cultivées au moins deux années de suite en maïs représentaient 30% de la SAD. Le tableau 1 donne une vision plus détaillée de cette réalité. On constate que **le pourcentage de vraie monoculture** (au moins 5 ans de maïs sur la même parcelle) **est relativement peu important** (13%). Néanmoins, compte tenu des problèmes agronomiques et environnementaux que pose cette mono-

Succession de maïs pendant...	SAU concernée dans l'exploitation (%)
3 ans	15
4 ans	10
5 ans	7
6 ans	4

culture, ce chiffre est malgré tout inquiétant. En fait, la monoculture de maïs devient significative dès que la part de maïs fourrage dépasse 35% dans l'alimentation du troupeau.

Depuis 4 ou 5 ans, on observe néanmoins une légère tendance à la diminution de la monoculture de maïs. Celle-ci est remplacée par une rotation courte maïs/blé rendue possible par l'agrandissement des exploitations et/ou l'abandon de la production de taillon dans les systèmes laitiers.

■ Impact de la monoculture de maïs sur l'environnement

Les inconvénients de la monoculture de maïs sur le plan agronomique sont souvent évoqués. Il s'agit en particulier de la baisse de la teneur en matière organique et de l'augmentation du coût du désherbage. On évoque moins souvent les impacts sur l'environnement.

Maïs ensilage (% SFP)	Maïs en monoculture (% de la surface totale en maïs)	Nombre de traitements (/ha traité)	Matière active (g/ha traité)
0 - 20	0	2,20	1 830
20 - 35	3	2,30	2 450
> 35	23	2,35	2 490

Le tableau 2 donne les résultats d'une enquête réalisée conjointement par les EDE de Bretagne et l'Institut de l'Élevage. Ce tableau montre que les exploitations qui sont en monoculture de maïs traitent plus souvent leur culture et utilisent plus de matière active à l'hectare que les exploitations ayant peu de monoculture.

Ce n'est donc pas par hasard si le lindane, utilisé comme insecticide du sol, et l'atrazine (deux produits largement utilisés pour la culture du maïs) ont été détectés respectivement dans 64% et 94% des échantillons d'eau du réseau CORPEPBretagne entre 1990 et 1995. Ce sont d'ailleurs les produits les plus fréquemment détectés parmi les 15 matières actives surveillées durant cette période (tableau 3).

3. Les avantages d'une rotation longue avec prairie

Les rotations longues avec prairie présentent un certain nombre d'avantages agronomiques, environnementaux et économiques. Nous

TABLEAU 1 : La réalité de la monoculture en Bretagne (source : Agreste Bretagne, 1997).

TABLE1 : The reality of monoculture in Brittany (source: Agreste Bretagne, 1997).

TABLEAU 2 : Fréquence de la monoculture de maïs et pression polluante (enquête sur 113 exploitations bretonnes ; EDE Bretagne, Institut de l'Élevage).

TABLE2 : Frequency of maize monoculture and polluting pressure (survey of 113 farms in Brittany by Institut de l'Élevage and EDE Bretagne).

TABLEAU 3 : Fréquence de détection des pesticides dans les rivières de Bretagne (1990 à 1995 ; d'après GUIHO, 1995).

TABLE 3 : Frequency of pesticide detection in the rivers of Brittany (1990 - 1995; after GUIHO, 1995).

Matière active	Fréquence de détection (%)	Matière active	Fréquence de détection (%)
Atrazine	94	Mécoprop	27
Simazine	89	Linuron	20
Diuron	67	Bromoxinil	18
Lindane	64	Alachlore	18
Isoproturon	50	Neburon	9
Bentazone	37	Carbofuran	7
Dicamba	33	Chlortoluron	6
Dinoterbe	31		

nous proposons dans ce qui suit d'analyser quelques-uns des avantages parmi les plus marquants.

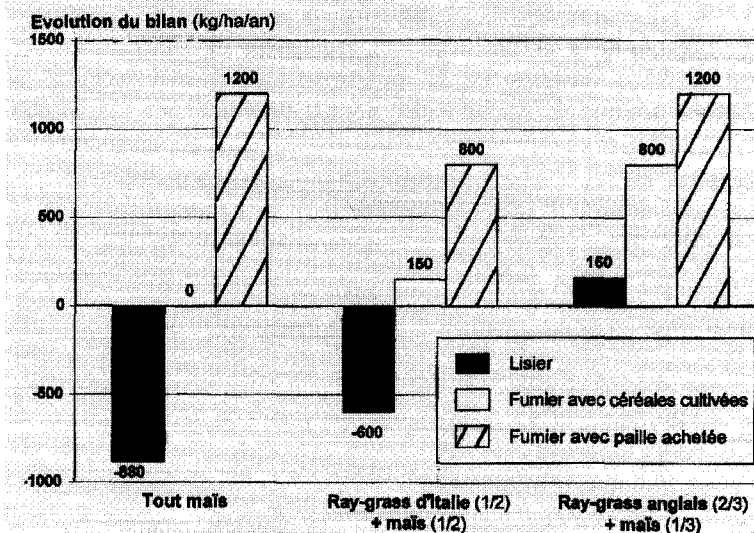
■ Intérêt agronomique: augmentation de la teneur en matière organique

L'évolution du taux de matière organique d'un sol dépend, sur le long terme, du bilan humique. Il est donc intéressant de regarder comment évolue ce bilan (LEGALL, 1997) en fonction du type de rotation (figure 1). Il est clair qu'en l'absence de restitution organique, la monoculture de maïs appauvrit le sol de manière importante.

C'est d'ailleurs ce que l'on constate dans les essais de longue durée. Dans un essai réalisé à Avrillé (Maine-et-Loire), la teneur en matière organique baisse de 11% en 6 ans (de 2,47% à 2,18%) dans une monoculture de maïs fertilisée uniquement avec de l'engrais minéral (BODET *al.*, 1993). Inversement, sur le même site, dans une rotation maïs/prairie (ray-grass anglais de 4 ans), la teneur progresse de 16,2%. Dans le site de Plélo (Côtes-d'Armor), où la teneur en matière organique est globalement plus élevée, la monoculture de maïs entraîne une baisse de 33% (de 3,56 à 2,35%) alors que dans la rotation avec prairie la baisse n'est que de 11% (de 3,74 à 3,30%).

FIGURE 1 : Bilan humique en fonction du système fourrager et du type de fumure (d'après LE GALL, 1997).

FIGURE 1 : Humus balance according to forage system and to type of fertilization (after LE GALL, 1997).



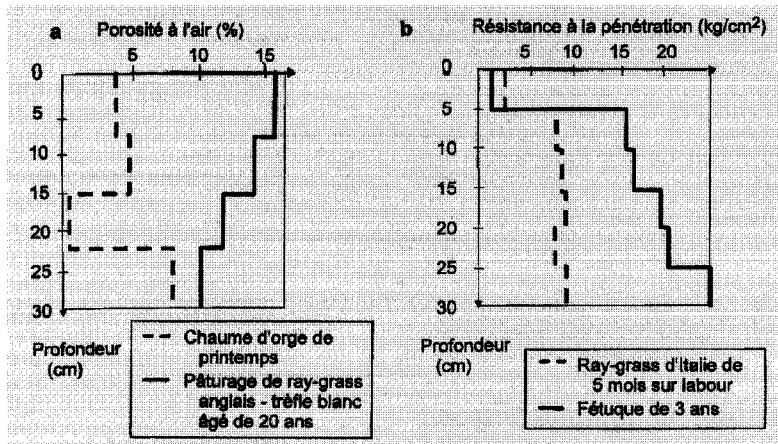


FIGURE 2 : Effet d'une prairie sur la porosité du sol et la résistance à la pénétration (TROCHARD, 1986).

FIGURE 2 : *Effect of a ley on the soil porosity and the resistance to penetration* (TROCHARD, 1986).

■ Augmentation de la porosité du sol et de l'activité biologique

La présence d'une prairie dans une rotation améliore de manière spectaculaire le profil cultural. La formation d'agrégats stables se fait en deux à trois ans. Cette amélioration de la structure du sol se traduit par une augmentation de la porosité. Ainsi, TROCHARD (1986) observe (figure 2a) que la porosité à l'air, mesurée à une humidité proche de la capacité au champ, est bien meilleure que sous culture. Une des raisons en est l'activité accrue des vers de terre qui sont plus nombreux sous prairie que sous culture annuelle. De plus, cette augmentation de la porosité a des effets favorables sur la vitesse de resuyage du sol.

■ Augmentation de la portance

Un autre effet bénéfique des prairies de longue durée est une augmentation de la portance grâce à une meilleure cohésion du sol. Cette meilleure cohésion est la conséquence de l'enrichissement en matière organique en surface. Elle permet de limiter les tassements

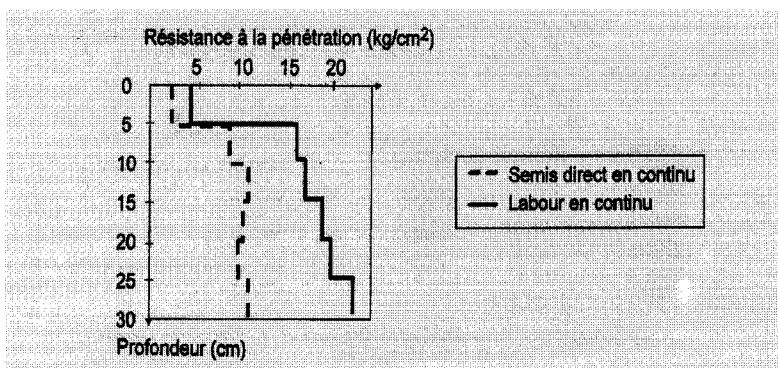


FIGURE 3 : Effet du type de travail du sol sur la portance (TROCHARD, 1986).

FIGURE 3 : *Effect of the type of soil cultivation on bearing capacity* (TROCHARD, 1986).

du passage des engins agricoles. Ainsi, une prairie de 3 ans a une meilleure portance: qu'un ray-grass d'Italie, 5 mois après son implantation sur labour (figure 2 b).

Un autre moyen d'améliorer la portance d'un sol est de supprimer le labour pour semer les cultures annuelles ou les prairies avec des techniques de travail du sol simplifié. En effet, ces techniques pratiquées en continu conduisent à une augmentation sensible de la teneur en matière organique du sol en surface: Cette accumulation de matière organique en surface: permet une amélioration de la cohésion du sol qui elle-même améliore la portance: et le maintien d'une bonne porosité du sol (figure 3).

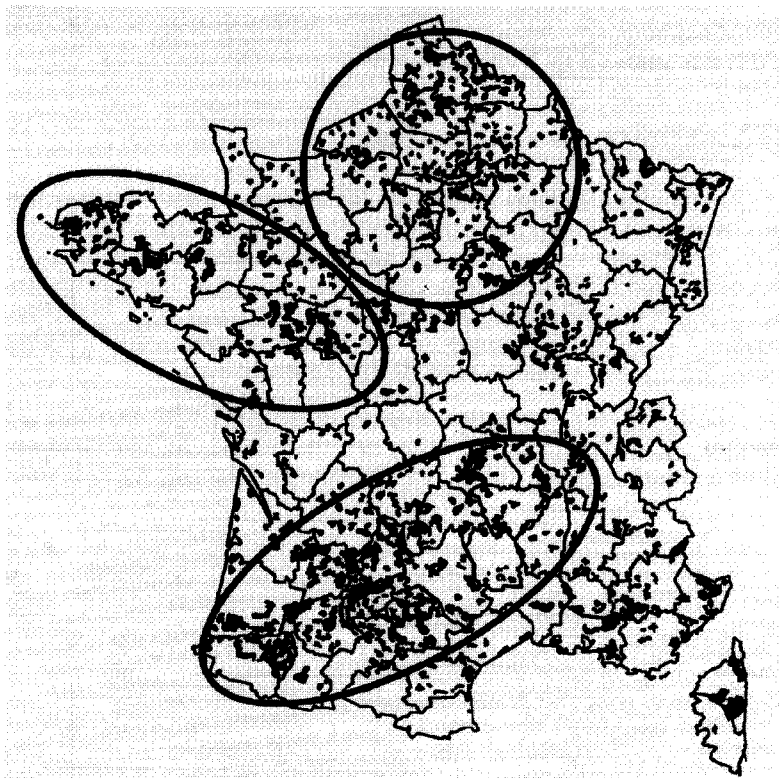
Ainsi, **il est concevable de combiner travail simplifié et rotation incluant des prairies d'au moins 3 ans.** Dans ces conditions, on rend possible l'amélioration de la fertilité d'un sol de limon dégradé ou la culture sur certains limons battants.

■ Meilleure résistance à l'érosion hydrique

Les prairies jouent un rôle important comme obstacle à l'érosion. Elles favorisent l'infiltration de l'eau et s'opposent à l'arrachement de particules du sol. Dans un bassin versant, quand il y a un maillage de cultures, faisant alterner des prairies et des cultures annuelles, ceci constitue un sérieux obstacle à l'érosion.

FIGURE 4: Importance de l'érosion hydrique en France : zones de coulées boueuses liées à l'érosion hydrique (en automne - hiver, de 1985 à 1995 ; d'après le Ministère de l'Environnement).

FIGURE 4 : Effect of water erosion in France: zones of mud flows linked to water erosion (in autumn-winter, from 1985 to 1995 ; after Ministry of Environment).



Contrairement à une idée répandue, il faut rappeler que **l'érosion n'est pas, en France, un phénomène rare**. Les pratiques actuelles comme l'agrandissement des parcelles, la suppression des haies ou la monoculture de maïs (au sens des géographes : % élevé dans l'assolement) conduisent à aggraver ce phénomène. On peut assez facilement repérer, sur une carte de France, les zones les plus touchées par l'érosion hydrique, grâce à l'analyse des coulées boueuses identifiées à partir des déclarations des communes sinistrées par ce phénomène. La carte (figure 4) montre l'importance en France de ces coulées sur la période 1985-1995. On peut repérer sur cette carte trois grandes zones : le Sud-Ouest, le Nord et la Picardie ainsi que le grand Ouest.

L'érosion a non seulement des conséquences importantes en termes de perte de fertilité, mais aussi en termes d'environnement. En effet, les matières en suspension entraînées par l'érosion contiennent du phosphore, de l'azote et des produits phytosanitaires qui polluent les eaux de surface. Par ailleurs, la turbidité des rivières créée par les matières en suspension perturbe gravement le fonctionnement des usines d'eau potable.

La simplification du travail du sol permet d'apporter une réponse partielle au contrôle de l'érosion. Ainsi, OSCHWAŁ Dal. (1996) ont montré aux Etats-Unis l'intérêt de cette technique sur maïs. Les pertes en terre entre le semis du maïs et le stade 8-9 feuilles étaient de 26 t/ha avec du labour en continu, alors qu'en semis direct en continu elle ne sont que de 1 t/ha. Bien entendu, la simplification du travail du sol doit être accompagnée d'autres mesures concernant l'aménagement des bassins versants : positionnement et taille des parcelles, maillage de haies et de talus.

■ Limitation des adventices

Avoir des rotations longues et diversifiées est probablement un des moyens les plus efficaces pour limiter le développement des adventices, réduire les risques d'apparition de résistance et donc de diminuer l'utilisation des herbicides. L'intérêt est donc à la fois économique et environnemental. Nous nous proposons d'illustrer ces propos par quelques résultats expérimentaux obtenus sur des rotations plus ou moins intensives à base de maïs (VIAUX, 1999).

Dans un essai de longue durée, réalisé par l'INRA de Quimper (tableau 4), on constate que le nombre de morelles (adventice résistante à l'atrazine) reste à un niveau acceptable dans une rotation avec

TABLEAU 4 : Effet du raccourcissement de la rotation à base de maïs sur le développement des mauvaises herbes (6^e année d'essai, 1993 ; d'après INRA Quimper ; VIAUX, 1999).

TABLE 4 : Effect of shortening a rotation based on maize on the development of weeds (6th trial year, 1993 ; after INRA, Quimper ; VIAUX, 1999).

	Monoculture	Maïs-RGI*	Maïs-RGI**	Maïs-blé-RGI*	Maïs-pois-RGI*
Désherbage du maïs à l'atrazine seul					
Morelles (nombre/m ²)	583	686	19	8	10
Rendement (t MS/ha)	4,1	2,1	15,8	11,7	11,0
Désherbage du maïs avec atrazine + bentazone					
Morelles (nombre/m ²)	173	109			
Rendement (t MS/ha)	8,7	5,4			

* : Ray-Grass d'Italie de 6 mois

** : Ray-Grass d'Italie de 18 mois

Fréquence du maïs	Rotation la plus fréquente	Parcelles n'ayant aucune graminée estivale (%)	Parcelles n'ayant que quelques pieds (%)	Parcelles infestées (%)
1 an sur 5 ans	prairie - maïs	33	67	0
2 à 3 ans sur 5 ans	blé - maïs	26	36	38
4 à 5 ans sur 5 ans	monoculture	0	40	60

TABLEAU 5 : Infestation du maïs en graminées estivales selon la fréquence du maïs dans la rotation (enquête sur 200 parcelles en 1995, Chambre d'Agriculture d'Ille-et-Vilaine ; VIAUX, 1999).

TABLE 5 : *Infestation of maize by summer grasses according to the frequency of maize in the rotation* (after survey of 200 plots in 1995 by Chambre d'Agriculture of Ille-et-Vilaine ; VIAUX, 1999).

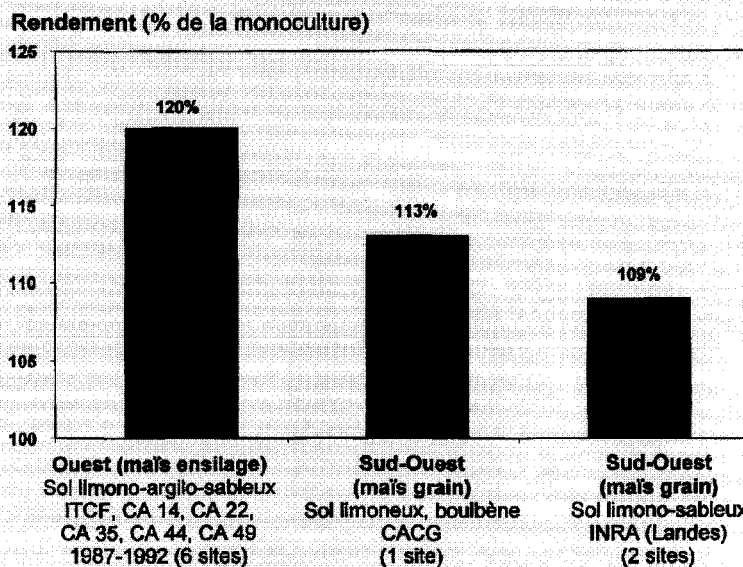
du blé, du pois ou du ray-grass d'Italie de 18 mois. En revanche, la monoculture de maïs s'accompagne d'une augmentation spectaculaire du nombre de morelles, ce qui entraîne une baisse importante du rendement. Si on utilise, en plus de l'atrazine, du bentazone, on améliore un peu la situation mais la maîtrise des morelles n'est pas totale. Dans cet exemple, on voit bien que **le seul choix de la rotation permet de minimiser le développement d'une mauvaise herbe**. En outre, même si la maîtrise du désherbage est possible dans une rotation courte, celle-ci entraîne un surcoût en herbicide qui peut être très important.

Le tableau 5, qui reprend les éléments d'une enquête réalisée par la Chambre d'Agriculture d'Ille-et-Vilaine, confirme ce phénomène sur d'autres adventices. Les graminées estivales (sétaires, dtgttates, etc.) se développent d'autant plus que la rotation est courte. **Les parcelles où la prairie alterne avec le maïs sont exemptes de graminées d'été.**

Ainsi, **une rotation diversifiée permet de limiter la spécialisation de la flore adventice**. Elle permet de limiter le développement de mauvaises herbes "maîtrisables", c'est-à-dire que l'on sait désherber chimiquement avec un coût supplémentaire, et "non maîtrisables" que l'on ne sait pas désherber avec les désherbants actuels ou qui sont devenues résistantes aux herbicides.

FIGURE 5 : Rendement du maïs après 3 à 5 ans de prairies par rapport à celui de la monoculture (d'après LE GALL, 1997).

FIGURE 5 : *Maize yield after 3 to 5 years of leys compared to monoculture maize yield* (after LE GALL, 1997).



■ Sécurisation des rendements

L'introduction d'une prairie dans une rotation a, nous venons de le voir, de nombreux effets agronomiques et environnementaux positifs. Ces effets positifs se traduisent logiquement par des conséquences sur les rendements des cultures. On constate en effet, **sur tous les essais de longue durée, une amélioration du rendement du maïs après prairie** quand on le compare au rendement obtenu dans une monoculture (figure 5).

Il semble, par ailleurs, que l'augmentation relative des rendements est d'autant plus élevée que le potentiel du milieu est faible. Ainsi, dans l'Ouest où le rendement moyen des essais est de 9,3 t/ha l'augmentation de rendement atteint 20%, alors que dans le Sud-Ouest, où le rendement des monocultures est plus élevé, le gain de rendement est relativement plus faible. De plus, dans le Sud-Ouest, les gains de rendement sont plus élevés sur des sols fragiles (les boulbènes, sols très limoneux) que sur les sols plus sableux des Landes.

On constate, par ailleurs, que **cette augmentation de rendement s'accompagne souvent d'une diminution de la variabilité de rendement interannuelle**. Par exemple, dans l'essai d'Avrillé (qui fait partie des 6 sites de l'Ouest évoqués dans la figure 5), le rendement du maïs progresse quand on passe d'une monoculture fertilisée avec de l'azote minéral, à un maïs avec fumier, puis à un maïs en rotation avec un ray-grass anglais de 3 ans. Mais surtout, la variabilité interannuelle de ces rendements, mesurée par l'écart type, est réduite de manière très importante (figure 6). L'écart type passe de 41 à 29 q, quand on passe d'une monoculture à un maïs derrière prairie.

Pour un éleveur, la sécurité des rendements est un élément important pour la prévision de son système fourrager. Cette sécurité a aussi en tant que tel un effet positif sur le plan économique.

■ Consommation d'énergie réduite

L'agriculture consomme des quantités non négligeables d'énergie fossile. On a l'habitude de considérer comme intrant énergétique non

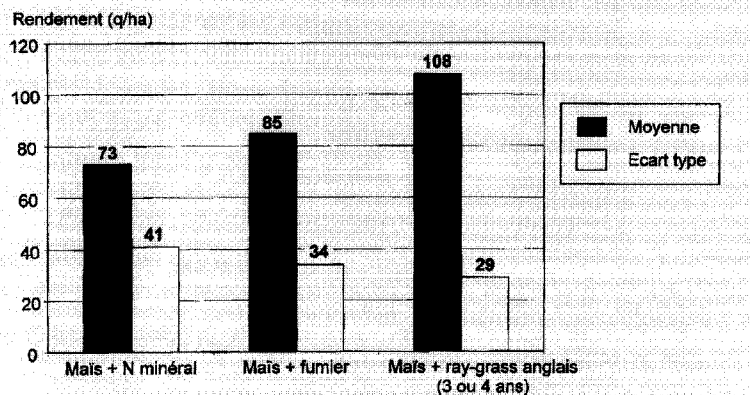


FIGURE 6 : Variabilité du rendement du maïs, en monoculture ou après prairie (source : BODET, 1993; essai d'Avrillé, 1988 à 1991).

FIGURE 6 : Variability of maize yields, in monoculture or after a ley (SOURCE: BODET, 1993., trial at Avrillé, 1988 à 1991).

TABLEAU 6 : Répartition des besoins en énergie dans une rotation maïs/blé avec ou sans prairie (d'après LAMBERT, 1996).

TABLE 6 : *Distribution of energy input requirements in a maize/wheat rotation with or without leys (after LAMBERT, 1996).*

	Maïs (10 t MS/ha)	Blé (75 q/ha)
Répartition des besoins en énergie dans une rotation maïs/blé sans prairie (% du total consommé par la culture)		
Produits phytosanitaires	4	3
Engrais	51	65
Semences	3	6
Mécanisation	7	6
Carburant	35	20
Besoins dans la rotation maïs/blé		
Total maïs + blé = 33 883 MJ	Maïs : 14 746 MJ (50 kg de N/ha)	Blé : 19 137 MJ (150 kg de N/ha)
Besoins dans la rotation prairie/maïs/blé (simulation)		
Total maïs + blé = 26 533 MJ	Maïs : 12 296 MJ (0 kg de N/ha)	Blé : 14 237 MJ (50 kg de N/ha)

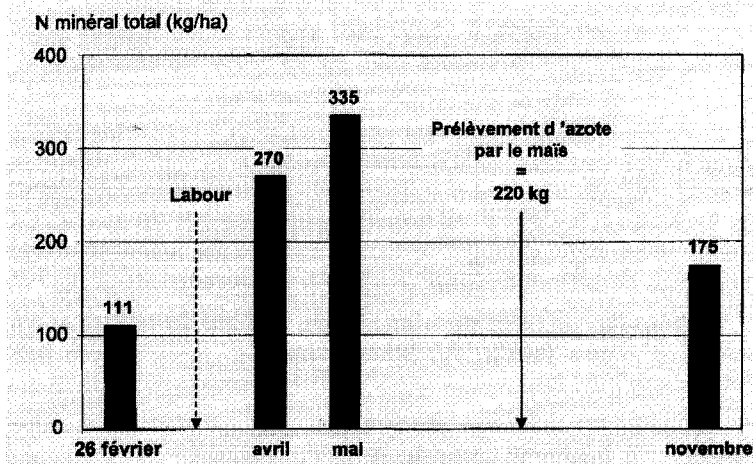
seulement l'énergie fossile directement utilisée (par exemple, le carburant pour les machines) mais aussi l'énergie utilisée pour fabriquer les intrants nécessaires à la production agricole. Le tableau 6 donne les parts d'énergie consommées par les intrants nécessaires à un maïs et un blé (par rapport au total consommé par chacune des cultures) : quelle que soit la culture, **les engrais représentent plus de la moitié de l'énergie fossile consommée. L'introduction d'une prairie dans la rotation, qui permet des économies d'engrais azoté sur le maïs, conduit à réduire de 22% la consommation énergétique de la succession maïs/blé (bas du tableau 6).**

4. Les limites des rotations avec prairie : nécessité d'une gestion précise de l'azote

Les prairies de longue durée favorisent le stockage dans le sol de matière organique, ce qui doit globalement être considéré comme un avantage. Néanmoins, cette matière organique contient du carbone et de l'azote (une prairie de 3 à 5 ans augmente le stock d'azote du sol d'environ 1 tonne). Quand on laboure une prairie, cet azote est assez

FIGURE 7 : Evolution du reliquat d'azote dans le sol après retournement de prairie (d'après DECAU, 1993).

FIGURE 7 : *Evolution of the nitrogen residue in the soil after ploughing under a ley (after DECAU, 1993).*



rapidement minéralisé. Les quantités de nitrate minéralisé après un labour peuvent être très élevées ce qui peut poser de sérieux problèmes d'environnement si on ne prend aucune précaution. L'exemple de la figure 7, illustre ce phénomène. Les quantités d'azote libérées après le labour du mois de mars sont prélevées par la culture de maïs mise en place.

La figure 8, qui est issue d'une autre expérimentation, donne les quantités d'azote lessivé après retournement de prairies avec différentes stratégies de conduite. Au cours de l'hiver qui suit la destruc-

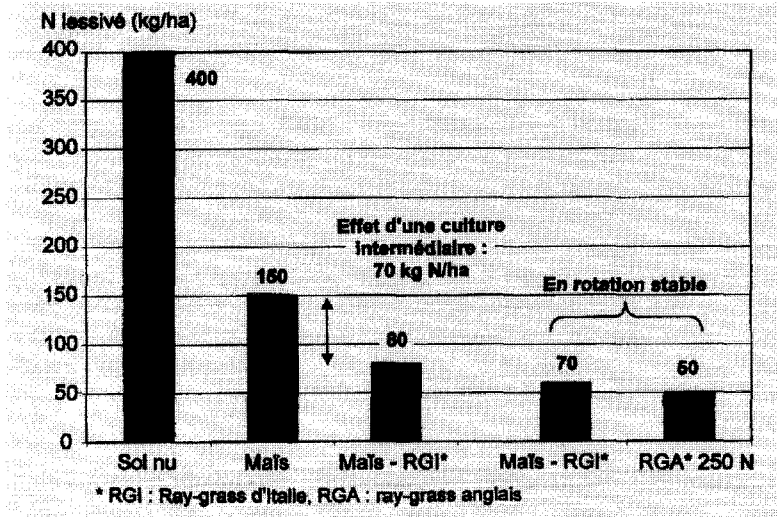


FIGURE 8 : Azote lessivé après retournement de prairie (hiver 1997-1998; d'après VERTÈS et al., 1998).

FIGURE 8 : Nitrogen leaching after ploughing under s ley (winter 1997-1998; after VERTÈS et al., 1998).

tion de la prairie, les pertes d'azote par lessivage atteignent 400 kg/ha si le sol reste nu. L'implantation d'une culture de maïs non fertilisée permet de réduire ces pertes à 150 kg/ha. Si après le maïs on cultive un ray-grass d'Italie, les pertes se réduisent encore. Le ray-grass d'Italie peut être assimilé à une culture "piège à nitrate" : il réduit de 70 kg/ha les quantités d'azote perdues par lessivage.

On retiendra de ces observations qu'il faut être très attentif à la gestion de la fertilisation azotée derrière prairie. Il est toujours utile de **faire un bilan prévisionnel avant tout apport de fertilisant organique ou minéral sur la culture qui suit un retournement de prairie.**

Deux exemples de bilan azoté prévisionnel sont présentés dans le tableau 7. Ces exemples montrent qu'un maïs après retournement de prairie au printemps ne doit pas recevoir d'apport d'azote complémentaire. Le bilan prévisionnel est même excédentaire de 20 kg/ha. En revanche, dans notre exemple, le blé implanté après une destruction de prairie en fin d'été aura besoin d'un petit complément de 50 kg/ha.

Pour limiter au maximum les risques de fuite de nitrate après destruction d'une prairie, on pourra appliquer les principes suivants:

- Détruire la prairie avec un herbicide total non persistant ; laisser le sol nu le minimum de temps après destruction.

TABLEAU 7 : Exemple de bilan azoté prévisionnel après retournement de prairie.

TABLE 7: Example of estimated nitrogen balance after ploughing under a ley.

	Maïs	Blé
Objectif de rendement (t/ha) <i>accessible 1 année sur 2</i>	14 t/ha	80 q/ha
Besoins (unités)	180 N (13 unités/t)	240 N (3 unités/q)
Fourniture du sol (unités)	200 N	190 N
Minéralisation de l'humus	60 N	60 N
Retournement de la prairie	100 N (printemps)	40 N (été)
Reliquat	40 N	90 N
Besoins - fourniture (unités)	- 20 N	+ 50 N

- Planter la culture suivante en travail superficiel (pour limiter la minéralisation de la matière organique, il faut éviter de labourer dans la mesure du possible).

- Ne pas apporter de fumure organique.

- Si nécessaire, compléter la fertilisation azotée avec un peu d'azote minéral ; pour cela, on utilisera avec profit un outil de pilotage de type Jubil..

- Faire suivre la culture principale par une culture intermédiaire (par exemple un ray-grass d'Italie).

5. Conclusion

Nous sommes aujourd'hui dans une situation où la notion de rotation culturale a perdu de sa force. Certains vantent la culture du maïs. C'est une production qui techniquement peut être conduite en monoculture et qui a des atouts en matière d'alimentation animale. D'autres vantent la prairie pour son caractère respectueux de l'environnement.. Nous avons voulu montrer dans cet article qu'il y a **complémentarité entre les cultures**. Il n'y a pas de culture idéale ! **Il n'y a que des rotations bien construites**. Celles-ci doivent minimiser les coûts d'intrants (en Francs ou en énergie), minimiser l'impact sur l'environnement dans toutes ses dimensions (pollution de l'eau par les nitrates, les pesticides, pollution de l'air, érosion, aspect paysager, etc.) et, bien entendu, s'insérer dans un système rentable.

Finalement, la rotation est une des techniques fondamentales de l'agriculture durable.

Travail présenté aux Journées d'information de l'A.F.P.F.,
"Agriculture durable et prairies",
les 30 et 31 mars 1999.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BODET J.M. (1989) : "Rôle de la prairie temporaire pérenne sur la fertilité physique des sols", *Fourrages*, 119, 243-252.
- BODET J.M. et al. (1993) : "Production du maïs fourrage dans l'Ouest", *Perspectives Agricoles*, n0179, 51- 57.
- GUIHOM. (1995) : "Les résultats du réseau de surveillance", *Colloque Qualité des eaux et produits phytosanitaires : du diagnostic à l'action*, 19-30.
- LAMBERT. (1996) : *Application de l'analyse de cycle de vie en agriculture, cas des grandes cultures*, mémoire de DEA, Université de Paris Val-de-Marne, 35 p.
- LE GALLA. (1997) : *La place du maïs ensilage dans les systèmes fourragers laitiers*, Institut de l'Elevage, 58 p.
- Ministère de l'Agriculture (1997) : Agreste Bretagne, W 25, décembre, 23 p.
- OSCHWALD W.R. et al. (1976) : "Conservation tillage : a perspective", *Agronomical Facts*, S.M. 30, Urbana, University of Illinois.
- TROCHARD. (1986) : *Compte rendu de l'essai travail du sol de longue durée*, ITCF La Jaillièrre, 38 p.
- VERTESF. et al. (1998) : "Quelle fertilisation azotée après retournement de prairies ?", *Elevage Rentabilité*, 345, 9-10.
- VIAUX P. (1999) : *Une 3^{ème} voie en Grande Culture: environnement, qualité, rentabilité*, Ed. Agridécision, 208 p, ISBN 2 - 912199 -05 -0.

SUMMARY

The complementary raies of leys and of arable crops in rotations

A specialization in the farming systems has been observed in France during the past 40 years. There are now purely arable farms, and, on the other hand, purely animal farms. As a consequence, farmers reduced the number of their crops, and hence the lengths of their rotations. On arable land, we now have mainly arable crops ; monocultures such as maize and winter wheat are more and more frequent. There are no more clovers or lucerne in the rotations, because of the absence of livestock to be fed on them. Besides, even on animal farms, leys are becoming rarer in the rotations.

Simplified rotations, and more particularly the extreme case of maize monoculture, have negative effects on soil fertility and on the environment. On the contrary, long rotations, that include leys, improve soil fertility, reduce weed infestation, decrease erosion, increase yields, and limit yield variability. The impact of long rotations on the environment is positive, because they require less herbicides and less energy input. Nevertheless, the introduction of leys raises the problem of nitrate leaching following the destruction of grass. To limit it, the best strategy is to use non-persistent total herbicides to kill the pastures, and use shallow cultivation for the following crop. The calculation of the N fertilizer rate will have to take into account the high level of mineralization of organic matter of the destroyed grass.