

## Maïs semence et azote

## Des besoins très spécifiques

**Le raisonnement de la fertilisation azotée du maïs semence s'effectue à l'aide des mêmes équations que celle du maïs fourrage ou du maïs grain. Ses besoins sont cependant différents et les campagnes d'essai ont permis de les affiner. Les apports doivent être effectués en végétation au plus près des besoins les plus forts. Les cultures intermédiaires, seigle et vesce ont toujours un effet bénéfique sur l'environnement.**

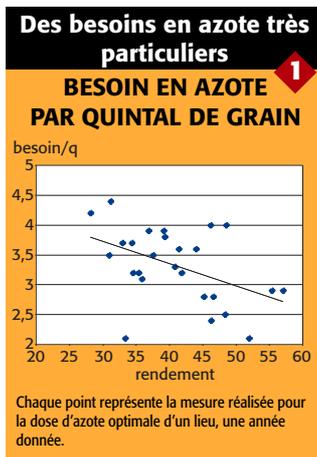
**M**aïs semence, maïs fourrage ou maïs grain : les essais réalisés sur le terrain ont montré que le raisonnement de l'apport d'azote se réalisait à l'aide de la même équation.

Compte tenu du rythme de renouvellement des lignées cultivées, l'objectif de rendement retenu est le plus souvent le rendement de référence, modulé à partir de la connaissance de la parcelle. Comme ce rendement de référence tient compte du dispositif de semis (4-2, 6-3,...), alors que la fertilisation concerne toute la surface cultivée, y compris la surface semée en mâles dont les besoins en azote n'ont jamais été mesurés, il est nécessaire de recalculer le rendement obtenu comme si les femelles occupaient 100 % de la surface.

Très rapidement (dès 1990), et en particulier à partir de résultats d'essais comportant des apports d'engrais contenant du N15, il est apparu que les besoins en azote du maïs semence pour élaborer un quintal de grain, sont nettement différents de ceux du maïs grain. Cette différence

Philippe Desvignes  
p.desvignes@arvalisinstitutduvegetal.fr

ARVALIS – Institut du végétal



est d'autant plus grande que le rendement est faible. Un regroupement des données recueillies sur un nombre significatif d'essais permet de construire la *figure 1* et d'en tirer des préconisations, malgré la variabilité des résultats en fonction de la lignée, mais aussi de l'année climatique. Des besoins en azote très particuliers :

- 2,5 kg/q pour un objectif de rendement réel de 50 à 60 quintaux,
- 3 kg/q pour un objectif de rendement réel de 40 quintaux,
- 3,5 kg/q pour un objectif de rendement réel de 35 quintaux,
- 4 kg/q pour un objectif de rendement réel de 25 à 30 quintaux.

En général, les chiffres obtenus en matière d'absorption

d'azote sur des témoins très peu fertilisés (30 à 50 kg N au semis) sont très proches de ceux obtenus pour des maïs ordinaires, à savoir 50 à 70 kg dans des sols sableux pauvres en matière organique, ou dans des sols très limoneux battants comme certaines boulbènes du Gers. Mais, ces quantités absorbées peuvent atteindre des valeurs supérieures à 100 kg/ha dans des sols profonds et bien pourvus en azote comme les terres noires, les sols de marais... Il a donc été convenu de retenir les mêmes valeurs que pour le maïs grain ou le maïs fourrage (cf. "Manuel de référence technique de production du maïs grain et du maïs fourrage" pour les données régionales).

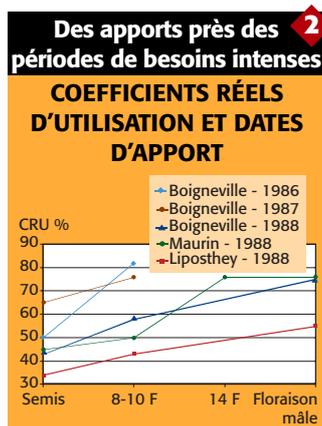
Par contre, lorsque le potentiel de rendement de la li-

gnée est très faible (inférieur à 40 q/ha), le développement végétatif de la lignée est réduit et on peut supposer que le développement racinaire l'est, et, donc, est incapable d'exploiter complètement le sol. Dans ce cas, il conviendrait de ne prendre en compte que 80 % des valeurs indiquées régionalement.

### 80 % d'utilisation des apports en cours de végétation

Les essais conduits sur maïs de 1986 à 1988 ont permis de montrer, à partir des résultats d'absorption obtenus avec des engrais apportant de l'azote 15, que, pour le maïs comme pour beaucoup d'autres espèces, plus les apports sont effectués près de la période de besoins intenses, plus le coefficient d'utilisation est élevé (*figure 2*). La gamme des valeurs est différente pour chaque lieu et chaque année. Compte tenu de ces résultats, les valeurs retenues pour le maïs en général, et le maïs semence en particulier, sont de 60 % pour des apports effectués jusqu'au stade 2 à 3 feuilles du maïs et 80 % pour des apports effectués en cours de végétation (à partir de 6-8 feuilles). Par contre, en conditions difficiles (sols battants, pluviométries printanières excessives,...), ce coefficient apparent d'utilisation est souvent limité à 70 %. Ces valeurs s'appliquent aussi bien à l'azote des engrais minéraux qu'à celui des produits organiques.

Afin de le démontrer, à partir de critères de rentabilité (rendement en grain), mais aussi de critères de qualité (teneur en nitrate des eaux de drainage et teneur en azote mi-





**Il est possible de produire autant en faisant courir moins de risques à l'environnement.**

néral du sol), de 1995 à 1997, ce mode de raisonnement de la fertilisation azotée a été appliqué, chaque année chez deux producteurs, sur des parcelles appelées "îlots raisonnés". Les résultats obtenus ont été comparés à ceux obtenus par ces producteurs sur des parcelles conduites conventionnellement (figure 3).

La figure 3 met bien en évidence qu'en général (5 cas sur 6) les rendements obtenus sont identiques pour les deux conduites, alors que la fumure azotée apportée est en moyenne inférieure de 90 kg N/ha.

### Eviter les carences précoces en phosphore

Entre la levée et le stade 6 feuilles, les besoins du maïs sont très faibles. Ils n'excèdent pas 5 kg pour l'azote et 1 kg pour le phosphore pour un hectare de maïs au rendement en grain de 100 q/ha. Théoriquement, tous les sols sont capables de fournir ces quantités d'éléments fertilisants. Mais les racines sont alors peu développées et n'explorent qu'un faible volume de sol. D'autant plus qu'elles ne peuvent absorber que les éléments dissous dans la proche solution du sol (de l'ordre du millimètre pour le phosphore). Enfin, elles ne fonctionnent normalement que si les conditions de pH, d'aération du sol et de tem-

pérature sont convenables.

Les essais conduits par l'INRA de Bordeaux (A. Mollier) sur une variété commercialisée montrent clairement l'effet que peut avoir une carence en phosphore à un stade jeune sur une culture de maïs. L'effet est significatif sur la production de biomasse aérienne et racinaire. Il se traduit par l'émission retardée des feuilles et par une réduction de la surface foliaire (25 à 40 %) particulièrement visible du stade 5 feuilles au stade 8 feuilles.

Les effets recherchés des engrais starters sont :

- la garantie d'une alimentation équilibrée près des racines ;
- l'amélioration de la vitesse d'installation du maïs ;
- l'amélioration de l'homogénéité de culture (aspect capital en maïs semences) ;
- l'avancement de la floraison ;
- le léger avancement de la précocité à la récolte (moindre humidité du grain ou un peu plus de matière sèche dans la plante entière) ;
- l'augmentation éventuelle de rendement selon les sols (tableau 1).

Bien entendu, l'effet est variable suivant le type de sol et le climat. Cette différence d'autant plus marquée que les printemps sont froids et que les sols se réchauffent mal. Ainsi, pour le Sud-Ouest, l'effet va décroissant des touyas

Les essais réalisés en maïs semence sur la période 1990-2000 ont permis d'établir que le raisonnement de la dose d'azote peut se faire, comme pour les autres maïs, à partir d'un bilan dont l'écriture est la suivante :

$$Yb = No + CAU. (Xa + X_{H_2O} + X)$$

Dans cette formule :

**Y** est l'objectif de rendement ;

**b** est le besoin d'azote par quintal de grain produit ;

**No** est la quantité d'azote absorbée par la culture sur un témoin ne recevant pas d'engrais, ni de déjections animales ;

**CAU** est le coefficient apparent d'utilisation de l'azote l'année de l'apport ;

**Xa** est l'équivalent engrais minéral de l'azote apporté sous forme de déjections animales ou autre produit organique (cf. brochure "Fertiliser avec des engrais de ferme" IE, ITAVI, ITCF, ITP) ;

**X<sub>H<sub>2</sub>O</sub>** est l'azote apporté par l'eau d'irrigation jusqu'au début du mois d'août.

Ensuite, cet azote ne profite plus à la culture ;

**X** est la quantité d'azote minéral que l'on cherche à déterminer.

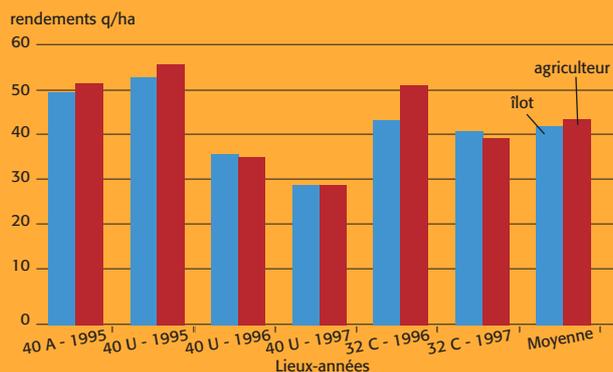
aux sables, aux bouldiers battants, aux bouldiers de co-teaux et aux argiles.

Cette pratique doit être considérée comme une méthode d'apport de la fumure phosphatée de fond et comme une participation au fractionnement de la fertilisation azotée.

L'application de microgranulés starter localisés à l'aide du microgranulateur est en

### Baisser la dose sans perdre en rendement malgré 90 kg N/ha de différence

#### ILOT RAISONNÉ 1995 - 1997 - RENDEMENTS





La fertilisation correspond bien aux besoins en apports d'azote du maïs semence.

cours d'étude. Cette nouvelle technique pourrait présenter les mêmes avantages, sans apporter des quantités de phosphore aussi importantes et sans nécessiter autant de manipulations de sacs.

**Le pilotage en cours de culture est possible**

L'ajustement proposé ci-dessus permet d'ajuster les doses d'azote apportées. Néanmoins, à l'époque où ce calcul est réalisé (au plus tard à 6 feuilles), il existe encore une part d'incertitude sur le climat effectif de l'année en cours, donc sur les quantités d'azote qui vont effectivement minéraliser. Les essais réalisés sur du maïs, en particulier sur du maïs semence (figure 4), permettent d'affirmer que l'azote apporté tardivement (entre le stade 15 feuilles et la floraison mâle) est aussi bien valorisé que l'azote apporté jusqu'au stade 6-8 feuilles. Il est donc possible, entre le stade 15 feuilles et la floraison, de corriger une éventuelle carence en azote, dans la mesure où cette carence est détectée et reste limitée (pas plus de 50 kg/ha).

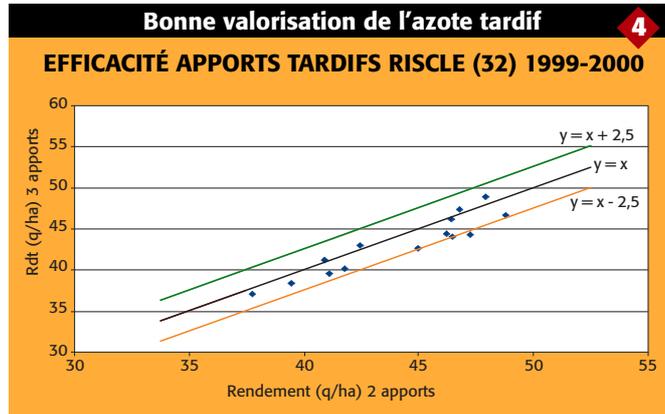
La démarche est alors la suivante : l'utilisation du bilan défini plus haut permet d'indiquer une dose d'azote à apporter. En réalisant ses apports "classiques", l'agriculteur apporte cette dose diminuée de 40 à 50 kg qui seront apportés près de la floraison, si nécessaire.

Depuis quelques années sont développés des outils qui s'appuient sur des résultats scientifiques (indice de nutri-

**La fumure starter favorise l'implantation**

ESSAI FUMURE STARTER RÉALISÉ EN 1990 SUR LA LIGNÉE MBS 847, EN SOL SABLEUX, SUD DES LANDES (40)

Traitement	Rdt q/ha	H <sub>2</sub> O	P1000	Nbre grains/m <sup>2</sup>
Sans engrais starter	41,8	34,4	228	2449
Starter = 112 kg/ha 18-46	50,3	32,5	241	2782
Starter = 114 kg/ha Super 45	45,7	34,4	243	2510



tion azotée par exemple) et qui permettent de caractériser, un peu avant la floraison, l'état de nutrition azotée d'une production de maïs. Deux outils sont utilisables : Jubil® et Hydro N-Tester.

Jubil®, actuellement commercialisé par Challenge Agriculture et par Agro-Systèmes, est basée sur la mesure de la teneur en nitrate des jus extraits de la base des tiges. On peut considérer que, lorsque cette teneur dépasse un certain seuil, la culture est bien alimentée en azote.

Les seuils Jubil® ont été déterminés à partir d'essais. Ils sont bien établis pour des hybrides, tardifs en particuliers. Par contre, les observations effectuées sur des lignées semblent indiquer que chaque li-

gnée a son seuil, et qu'il peut varier d'année en année. Cette méthode est donc à utiliser avec précaution en production de semences pour le moment.

La pince Hydro N-Tester (HydroAgri — ARVALIS-Institut du végétal), consiste à mesurer, à partir du pincement de 30 feuilles consécutives de l'épi, un indice très lié à la teneur en chlorophylle des feuilles. Cette teneur est elle-même directement liée à l'alimentation en azote de la culture. L'indice est lu directement sur l'appareil au trentième pincement.

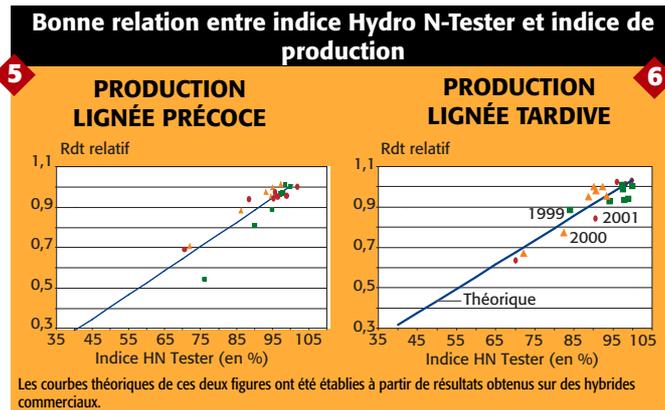
Les essais conduits par l'ITCF et AGPM-Technique ces dernières années permettent de conclure que les mesures doivent être réalisées, comme pour Jubil®, une seule

fois entre le stade 15 feuilles et la floraison mâle, les mesures étant effectuées sur le tiers médian de la feuille de l'épi.

L'interprétation des indices lus doit se faire en référence à la mesure réalisée sur un "étalon" surfertilisé, placé dans la parcelle (par exemple la largeur d'un épandeur sur 20 mètres de long). L'étalon peut recevoir le double de la culture suivie (ce qui peut se réaliser assez facilement en passant à deux reprises au même endroit). Le rapport des valeurs lues sur la parcelle suivie et sur l'"étalon" permet de calculer un "indice N-tester". Le regroupement des résultats obtenus en maïs grain et en maïs fourrage ces dernières années montre qu'on obtient, par groupe de précocité, une bonne relation entre l'indice "N-Tester" et l'indice de production (rendement observé/rendement optimum). Les observations effectuées ces deux dernières années sur des lignées précoces et tardives sont très encourageantes quant aux possibilités de diagnostic des carences en azote peu de temps avant la floraison femelle (figures 5 et 6).

Cette démarche se heurte, bien sûr à la possibilité de réaliser des apports d'azote à la floraison, ce qui suppose un apport soit avec l'eau d'irrigation, soit avec des épandeurs montés sur enjambeurs et équipés de pendillards. Mais, compte tenu de l'importance de l'irrigation en production de semence, l'apport par l'eau d'irrigation semble devoir être préconisé, même si sa mise en œuvre est assez exigeante, en particulier pour les points suivants :

- uniformité des apports d'eau ;
- utilisation de pompes doseuses, électriques ou hydrauliques ;
- stockage de l'azote en solution conforme aux normes réglementaires et dispositifs de sécurité à l'injection (clapets anti-retour) ;



-rinçage de l'installation après l'utilisation pour éviter la corrosion.

Au-delà de cette stratégie, la fertigation autorise un fractionnement plus poussé des apports, qui limite les risques de lessivage précoce dans les sols très filtrants.

Cet ajustement de la dose présente un triple intérêt :

- physiologique pour la culture puisqu'il est démontré que des excès d'azote peuvent dégrader la qualité des semences produites (fissuration) et le niveau de rendement (digitation) ;
- économique pour le producteur ;
- environnemental car l'azote en excès se retrouve presque intégralement dans les reliquats en fin de culture.

### Les cultures intermédiaires minimisent les risques d'erreur...

En production de maïs semence, encore plus qu'en maïs grain ou en maïs fourrage, les incertitudes sur le rendement sont grandes (accidents de fécondation, parasites,...). Les inadéquations dose d'azote-rendement sont donc fréquentes. Mais il est toujours possible de minimiser les risques pour l'environnement en implantant une culture intermédiaire aussitôt après la récolte, compte tenu de la précocité relative de celle-ci et de l'efficacité démontrée de cette technique en production de semences.

Afin d'évaluer les effets des cultures intermédiaires sur la maîtrise du lessivage de l'azote du sol pendant l'hiver, des essais de cultures pièges à nitrates ont été conduits par la FNPSMS sur deux campagnes (1998/2000). Les expérimentations ont été réalisées chez cinq multiplicateurs du syndicat Béarn. Dans chaque situa-

**L'apport d'azote doit être effectué au plus près de la période de besoins intenses, c'est-à-dire en végétation.**

Le même raisonnement d'apport avec ou sans cultures intermédiaires						
DOSES D'AZOTE OPTIMUM DE LA PARTIE COUVERTE PAR UNE CULTURE INTERMÉDIAIRE PAR RAPPORT À LA DOSE OPTIMALE DE LA PARTIE SOL NU (X) ET FOURNITURE D'AZOTE SUPPLÉMENTAIRE AU TÉMOIN						
Lieu	Type de sol	Espèce	Dose optimum après CI		Fourniture d'azote supplémentaire (kg N/ha)	
			1998-1999	1999-2000	1998-1999	1999-2000
Soustons (40)	sable	vesce	X	X	13	25
Uzein (64)	touya	seigle	X-70	X	-4	-4
Caubios (64)	limon	seigle	X-50	X	-16	-3
Espes-Undurein (64)	limon	avoine	X + 50	X + 50	-10	-25
Mont-Disse (64)	limon	seigle	X	X	-30	-14

tion, une parcelle était semée en culture intermédiaire après la récolte pour moitié, et laissée nue pour l'autre moitié (tableau 2).

Les objectifs des observations réalisées étaient de :

- comparer à différentes périodes de l'année l'effet des cultures intermédiaires sur les quantités d'azote minéral présentes dans le sol ;
- préciser dans quelle mesure l'implantation d'une culture intermédiaire à l'automne modifie la fourniture d'azote par le sol pendant la campagne suivante et justifie une modification de fertilisation azotée de la culture maïs semence qui suit.

### ...car elles diminuent l'azote minéral du sol

Dans les cinq situations, les cultures intermédiaires ont

été correctement implantées et se sont développées normalement. Les figures 7 à 9 retracent les variations des teneurs en azote minéral du sol (0 à 90 cm) pour la partie sol nu et pour la partie portant une culture intermédiaire à l'automne.

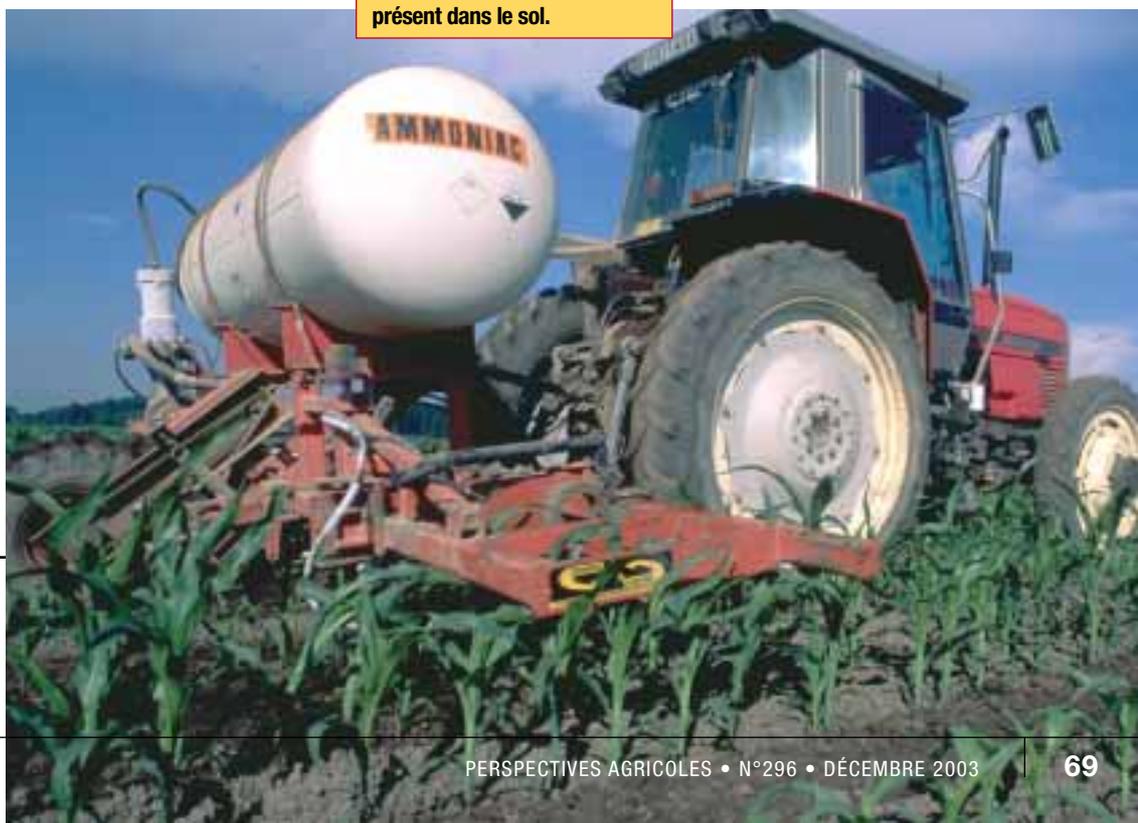
Une exception toutefois pour l'avoine à Espes-Undurein (64). Dans cette situation, de l'automne 1999 à la sortie de l'hiver 1999-2000, la présence d'avoine augmente la teneur du sol en azote minéral.

Par rapport au sol nu, les

parcelles qui ont porté une culture intermédiaire pendant l'hiver présentent souvent des quantités d'azote minéral plus élevées pendant la culture du maïs suivant. Cela traduit peut-être la libération d'azote suite à la décomposition de la culture intermédiaire. Il faut remarquer en particulier que :

- l'utilisation de la vesce, une légumineuse qui devrait avoir tendance à enrichir le sol en azote puisqu'elle fixe l'azote de l'air, n'entraîne à aucun moment une augmentation des quantités d'azote minéral dans le sol, même après son enfouissement. Les risques pour l'environnement sont même réduits à l'automne et au printemps.
- l'effet des couvertures hivernales sur la réduction des teneurs du sol en azote miné-

**Pendant les périodes de risque pour l'environnement (automne, hiver et début du printemps), la présence d'une culture intermédiaire a toujours un effet positif en diminuant la quantité d'azote minéral présent dans le sol.**

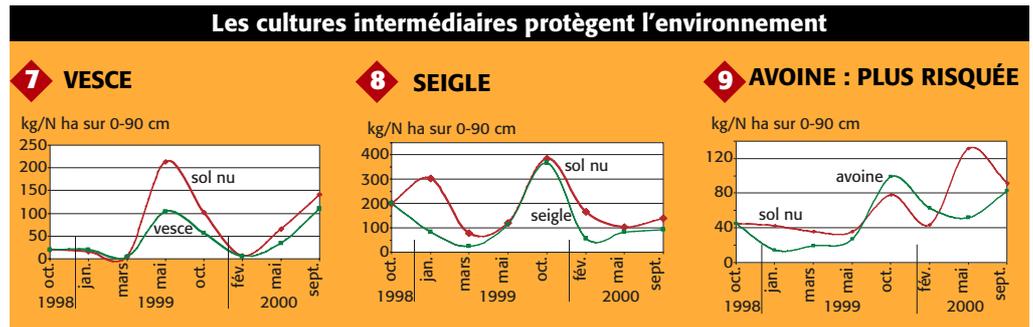


ral au cours de l'hiver est le plus souvent nettement supérieur aux quantités d'azote absorbées par ces couvertures hivernales, et pourrait s'expliquer par un effet de blocage d'azote par les racines.

## Seigle ou vesce : le bon intermédiaire

Le *tableau 2* indique, pour les différentes situations, pour chacune des deux années de suivi, les doses d'azotes optimales qu'il aurait fallu apporter au maïs semence selon la présence ou l'absence de culture intermédiaire l'hiver précédent.

A deux exceptions près, (*Uzein et Caubios en 1999*), les résultats obtenus montrent que, lorsque la culture intermédiaire est du seigle ou de la vesce, la dose X pour le maïs, déterminée *a posteriori*, est la même avec ou sans culture intermédiaire. Après



l'avoine, il faut augmenter la dose d'azote de 50 kg/ha pour atteindre le rendement optimum.

La présence d'une culture intermédiaire de seigle ou d'avoine pendant l'hiver n'augmente pas le prélèvement d'azote par un témoin peu fertilisé. Au contraire, on observe, en particulier pour l'avoine, une diminution des quantités d'azote absorbées par le maïs qui suit. Par contre, si la culture intermédiaire est la vesce, le prélèvement d'azote par le maïs sui-

vant est augmentée de 10 à 20 kg/ha.

Il faut retenir de ces deux campagnes d'observations que, en production de maïs semence, il est le plus souvent possible de semer une culture intermédiaire après la récolte. Ceci assez tôt pour que celle-ci se développe suffisamment pour être efficace vis-à-vis des reliquats d'azote minéral dans le sol. Par contre, utilisée sur le court terme (1 à 2 ans), cette culture intermédiaire ne justifie pas de modifier le raisonne-

ment de la dose d'azote à apporter sur le maïs qui suit. Pour le choix de l'espèce à semer, il faut orienter les producteurs vers le seigle, ou à défaut la vesce. Mais, il faut éviter l'avoine qui, même correctement développée, absorbe plutôt moins d'azote que les autres espèces suivies, et oblige à augmenter la dose d'azote sur le maïs qui suit, augmentant, ainsi, les incertitudes quant à l'adéquation entre l'azote apporté et l'azote utilisé.

