



**Essais agronomiques dans le cadre du PAT Jaoul**

## **Quelle fertilisation azotée optimale en céréale d'hiver et maïs ensilage ?**

**Dans le cadre du Plan d'action territorial PAT Jaoul qui couvre cinq communes du Ségala, la mission agronomie de la Chambre d'agriculture a conduit en 2016 des essais en orge d'hiver et maïs ensilage. Il s'agissait de comparer différentes modalités de fertilisation azotée, en s'appuyant sur la méthode de calcul du bilan azote mise au point par Arvalis Institut du Végétal. Résultats et commentaires.**

Le Plan d'Action Territorial Jaoul (PAT Jaoul) concerne une partie des communes de La Capelle Bleys, La Salvétat Peyralès, Lescure Jaoul, Rieupeyrroux et Vabre Tizac. L'un des objectifs de ce programme (démarré en janvier 2016 pour une durée de 5 ans) est d'améliorer la qualité physico-chimique des eaux sur le bassin versant du Jaoul (pour notamment protéger des espèces aquatiques telles que la moule perlière), en diminuant les pollutions ponctuelles et diffuses. Pour cela, plusieurs actions sont mises en place, dont une qui consiste à «accompagner l'optimisation de la fertilisation par des rencontres

de terrains et des suivis de parcelles».

Cette action sur la fertilisation s'est concrétisée sous la forme d'essais au champ en culture d'orge d'hiver et de maïs ensilage : l'idée était de mettre en comparaison les pratiques habituelles des agriculteurs avec les préconisations théoriques délivrées quand on utilise la méthode du bilan azote et les références locales ou régionales qui s'y rattachent (calcul du reliquat azote, fourniture du sol, effet prairie...). Ce calcul théorique s'appuie sur la méthode Arvalis qui permet d'optimiser les pratiques d'un point de vue technico-économique, tout

en s'assurant qu'elles n'auront pas d'impact sur l'environnement (équilibre de la fertilisation).

### **Caractéristiques et déroulement des essais**

Les deux essais, l'un sur orge d'hiver et l'autre en maïs ensilage, étaient localisés sur la commune de La Salvétat Peyralès. Dans les deux cas, le précédent était une prairie (voir tab.1) : ce choix est volontaire, car c'est avec ce type de précédent que l'on peut avoir le plus d'écart entre le conseil théorique issu de la méthode du bilan azote et les pratiques des agriculteurs.

Dans chaque essai, on intègre

systématiquement un témoin noté T0, qui ne reçoit ni engrais organique ni engrais minéral (voir tab.2). Il permet d'évaluer les four-

nitures en azote du sol, et par différence avec les autres modalités, l'effet de l'engrais minéral ou d'un apport organique.

**Tab. 1 - Caractéristiques des essais**

	Orge d'hiver	Maïs ensilage
Altitude	530 m	
Type de sol	Ségala profond	
Rotation	prairie temporaire / céréales	prairie longue durée / maïs ensilage
Précédent	ray-grass 2 ans	prairie de 4 ans
Implantation	labour	labour
Date de semis	15/10/15	10/06/16
Objectif de rendement	60 q/ha	17 TMS/ha
Autres interventions	désherbage, 1 fongicide	désherbage, 3 passages d'irrigation

**Tab. 2 - Modalités testées**

	Essai orge d'hiver	Essai maïs ensilage
Sans azote	Témoin 0 (T0)	Témoin 0 (T0)
Préconisation "Méthode du bilan azote" (1)	Ammonitrate 50 UN/ha le 19/03/16	Fumier de bovin 30 T/ha, le 09/05/16 avant labour
Pratique de l'agriculteur	Ammonitrate 2 x 50 UN/ha (soit 100 UN au total) apportées les 19/03 et 10/04/16	Fumier 30 T/ha le 09/05/16 + urée 100 kg/ha au semis

(1) Voir détail du calcul dans le tableau 4 en page 6

**Tab. 3 - Observations, mesures et analyses réalisées**

	Essai orge d'hiver	Essai maïs ensilage
Mesure du reliquat azote	16 février 2016	1 <sup>er</sup> avril 2016
Comptages à la levée	non réalisé	4 juillet, au stade 4 feuilles
Observations diverses	Epi 1 cm : 14 mars Obs. maladies en mai	12 feuilles : 29 juillet Pilotage irrigation avec tensiomètres
Comptages composantes rendement	Nombre d'épis /m <sup>2</sup> Poids de 1000 grains Nombre de grains /épi	Nbre de pieds /ligne récoltée Poids /pied
Pesées, rendement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 répétitions de 1 m<sup>2</sup> / modalité</li> <li>• Battage, analyse %MS et % MAT dans le grain et la paille</li> <li>• Calcul du rendement : poids des grains à 15 % d'humidité, poids sec de la paille</li> <li>• Echantillon récolté le 02/07/16</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 répétitions de 10 m<sup>2</sup> / modalité</li> <li>• Poids frais plante entière</li> <li>• Analyse MS et valeur alimentaire au labo (dont % MAT)</li> <li>• Rendement en TMS/ha</li> <li>• Echantillon récolté le 30/09/16</li> </ul>

### ► Notations et composantes évaluées

En plus de l'évaluation du rendement, des notations, observations et analyses complémentaires propres à chaque culture ont été réalisées (voir tab.3).

Une analyse de la teneur en matière azotée totale (MAT), faite sur grain et paille pour l'orge et sur plante entière pour le maïs, a permis de calculer les quantités d'azote absorbées dans chaque modalité et d'en déduire les quantités d'azote fournies par le sol et les différents apports.

### Résultats de l'essai sur orge d'hiver

#### ► Résultats sur le rendement

##### • Témoin 0

Le témoin 0 estime le rendement obtenu grâce à l'unique effet de l'azote fourni par le sol, soit 46,5 q/ha de grains et 3,7 TMS/ha de paille (voir graph.1 en page 6). Cet azote englobe le reliquat en sortie d'hiver (la mesure réalisée en février a donné 47 UN/ha), la minéralisation du sol et l'effet du précédent prairie (azote issu de la dégradation des résidus de la prairie après son retournement).

##### • Gains obtenus par la fertilisation minérale azotée

Par rapport au T0, le gain obtenu sur le rendement en grains est de + 14% avec 50 UN (rendement de 53,1 q/ha), et de + 47% avec 100 UN (rendement de 68,2 q/ha). Pour la paille, l'écart entre les deux doses d'azote est de 0,5 TMS/ha.

##### • Comparaison gains obtenus / gains attendus

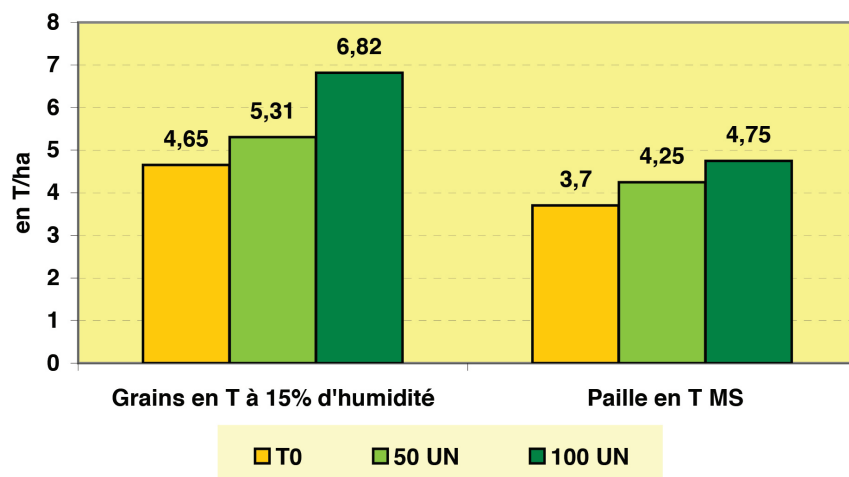
La quantité d'azote apportée dans la modalité «méthode du bilan azote» (= 50 UN, voir calcul dans le tableau 4) a été déterminée pour un objectif de rendement de 60 q/ha : il ne manque donc que 7 q/ha entre cette dose calculée a priori et le résultat (53,1 q au lieu des 60 prévus).

Si on applique le calcul théorique pour la dose 100 UN/ha (= modalité agriculteur), ce sont 79 q/ha qu'il aurait fallu atteindre, mais le résultat obtenu n'affiche que 68 q, soit 11 quintaux de moins.

##### • Effet de l'azote sur les composantes du rendement

L'analyse des résultats a été affinée en détaillant les composantes du rendement (voir tableau 5), en sachant que l'azote joue normalement sur le nombre

**Graph. 1 - Rendement en grain et paille pour chaque modalité (essai ferti azotée orge d'hiver - 2016)**



**Modalité 2 : apport d'une dose de 50 unités d'azote / ha, sous forme d'ammonitrate au 19 mars.**

**Tab. 4 - Détail du bilan azote théorique**

<p><b>Besoin de la culture (orge d'hiver)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>60 q/ha x 2,5 UN/q = 150 UN/ha</li> <li>Azote restant dans le sol : Rf = 20 UN/ha</li> </ul>	<p><b>Besoin total = 170 UN/ha</b></p>
<p><b>Fournitures d'azote</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Effet précédent prairie 2 ans = 21 UN/ha</li> <li>Minéralisation du sol = 60 UN/ha</li> <li>Reliquat azote théorique = 46 UN/ha</li> </ul>	<p><b>Fournitures totales = 127 UN/ha</b></p>
<p><b>Bilan dose à apporter</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Besoin - fournitures = 43 UN/ha</li> <li>CAU* bonnes conditions = 0,9</li> </ul>	<p><b>Dose à apporter : 43 / 0,9 = environ 50 UN/ha</b></p>

(\*) CAU : coefficient apparent d'utilisation de l'engrais minéral (= coefficient d'efficacité de l'engrais)

d'épis/m<sup>2</sup> (tallage et capacité des talles à faire des épis) et le nombre de grains par épi (taille des épis notamment).

On observe que l'apport d'azote de 50 UN a effectivement amélioré ces deux composantes par rapport au T0, et que les 50 UN complémentaires ajoutées dans

la modalité agriculteur ont aussi joué en faveur de ces deux composantes.

Remarque : le poids de 1000 grains (PMG) est une composante déterminée par les conditions climatiques au moment du remplissage des grains, indépendamment du facteur azote.

**Tab. 5 - Essai fertilisation orge : composantes du rendement par modalité au 2 juillet 2016**

	épis / m <sup>2</sup>	grains / épi	PMG (g)
T0	547	18	46,7
50 UN	586	19	46,6
100 UN	609	21	52,7

**Tab. 6 - Azote absorbé par ha par la culture (moyenne des répétitions exploitables pour chaque modalité)**

Origine de l'azote	Témoin 0	Modalité 2 50 UN	Modalité 3 100 UN
Sol	88 UN	88 UN	88 UN
1 <sup>er</sup> apport 50 UN	0	22,4 UN	22,4 UN
2 <sup>ème</sup> apport 50 UN	0	0	52,7 UN

► **Réponse à l'azote de la plante et efficacité de l'engrais minéral**

• **Azote absorbé**

Comme dit précédemment, à partir des analyses de matière azotée totale (dans le grain et la paille), on a pu calculer l'azote absorbé par la céréale dans chaque modalité et en déduire ainsi l'azote apporté à la culture (voir tab. 6).

On est parti de l'hypothèse que la minéralisation du sol et l'effet du premier apport sont les mêmes pour les modalités 2 et 3.

Le sol a fourni au global 88 UN / ha. Sur les 50 UN apportées par le premier apport, 22,4 UN ont bien été absorbées par la plante (cela représente une efficacité de presque 50 %). Dans la modalité 3, toutes les unités apportées par le deuxième apport d'ammonitrate ont été efficaces (52,7 UN absorbées pour 50 épanchées).

• **Courbe de réponse à l'azote**

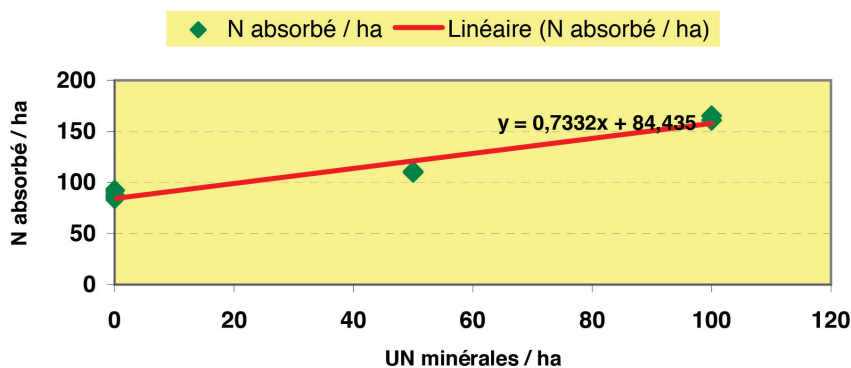
Une courbe de réponse à l'azote (voir graph. 2) a été tracée à partir des 3 répétitions du témoin 0 et de 2 répétitions pour les autres modalités (l'une des 3 répétitions n'étant pas exploitable). La droite issue de ces résultats traduit l'efficacité globale des apports d'engrais azoté pour cet essai, soit 73 %.

► **Discussion des résultats**

• **Ecart entre la méthode du bilan azote et les pratiques de l'agriculteur**

La méthode du bilan azote a conseillé une dose totale de 50 UN/ha à apporter sur l'essai pour atteindre 60 q/ha (voir tab. 4). Au final,

## Graph. 2 - Essai fertilisation azotée sur orge d'hiver : courbe de réponse à l'azote



il a manqué 7 q/ha sur le rendement réellement obtenu. Cette différence peut s'expliquer par ordre d'importance :

- par l'écart entre les fournitures du sol, évaluées à 127 UN/ha dans la méthode du bilan et mesurées à 88 UN/ha dans l'essai,
- par un coefficient d'efficacité de l'engrais un peu moindre dans l'essai : 73 % au lieu de 90 % dans le calcul théorique.

Le bilan théorique est un "calcul a priori" qui table sur des conditions de fonctionnement des sols et de la culture optimales. Dans les conditions de l'essai sur l'année 2016, la dose théorique a été légèrement

sous-évaluée : il aurait probablement fallu 25 UN/ha supplémentaires pour atteindre le rendement de 60 quintaux.

### • Discussion sur la modalité agricole

Avec 100 UN au total, l'agriculteur a obtenu un rendement de 68,3 q/ha. La méthode du bilan azote aurait conseillé cette dose pour un objectif de rendement de quasiment 79 q/ha. On peut donc faire la même analyse : les fournitures du sol et le CAU réels de l'essai, inférieurs aux données théoriques utilisées dans la méthode, n'ont pas permis d'atteindre l'objectif

visé, le rendement réel étant inférieur de 10 q/ha.

Mais on relève aussi que l'objectif de 60 q/ha fixé pour la mise en place de l'essai était en dessous du potentiel de la parcelle, puisqu'en mettant plus d'azote on a pu améliorer le rendement.

Il faut bien garder à l'esprit le fait que l'azote n'est pas le seul facteur jouant sur le résultat. La présence de maladie, la concurrence des mauvaises herbes ou encore les conditions climatiques ont leur propre influence sur le rendement et peuvent aussi expliquer des écarts.

### • A retenir

Cet essai montre qu'il est important au départ de bien fixer l'objectif de rendement en relation avec le potentiel de la parcelle et la conduite technique (utilisation de produits phytosanitaires par exemple).

Concernant les écarts constatés entre les données mesurées au champ et les références utilisées par la méthode du bilan azote, l'emploi d'une méthode de pilotage de l'azote en cours de culture peut y remédier, et permet de réajuster la dose d'azote réellement nécessaire en fin de cycle.

## Résultats de l'essai en maïs ensilage

### ► Résultats sur le rendement

Au préalable, pour une juste interprétation des résultats, il a été vérifié que le nombre de pieds à la levée puis au moment de la récolte était relativement similaire d'une modalité à l'autre.

#### • Témoin 0

Comme pour l'essai orge, le témoin zéro permet d'estimer le rendement obtenu grâce à l'unique effet de l'azote fourni par le sol, soit en l'occurrence 13,6 TMS/ha (voir graph.3). Cet azote englobe le reliquat présent au semis du maïs (mesure réalisée en avril avant l'épandage du fumier = 31 UN/ha), la minéralisation du sol et l'effet du précédent prairie (azote issu de la dégradation des résidus de la prairie après son retournement).

#### • Gains obtenus avec la fertilisation azotée et comparaison avec les gains théoriques calculés

Par rapport à la modalité T0, le gain permis par le fumier est de 2,4 TMS/ha, soit 18% de plus, et

le gain permis par la modalité «fumier + urée» est de 3,3 TMS/ha, soit 24% de plus.

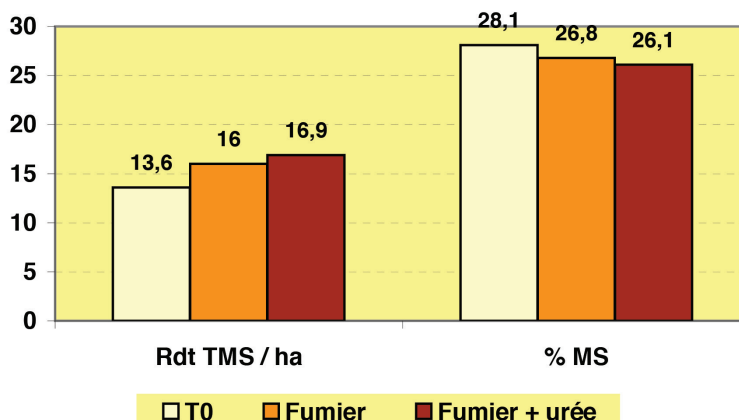
L'écart entre le fumier seul et «fumier + urée» est de 0,9 TMS, soit à peine 6% de plus obtenu avec 100 kg/ha d'urée. L'objectif fixé en utilisant la méthode du bilan azote était de 17 TMS/ha avec 30 t/ha de fumier seul (voir tab. 7) : à 0,9 TMS près, c'est ce que l'on a obtenu. Avec 100 kg d'urée supplémen-

taire et l'utilisation des données de références du bilan azote, on aurait dû atteindre presque 20 TMS/ha. Cela n'a pas été le cas, du fait d'autres facteurs limitants liés au potentiel de la parcelle et aux conditions de l'année (semis réalisé en juin).

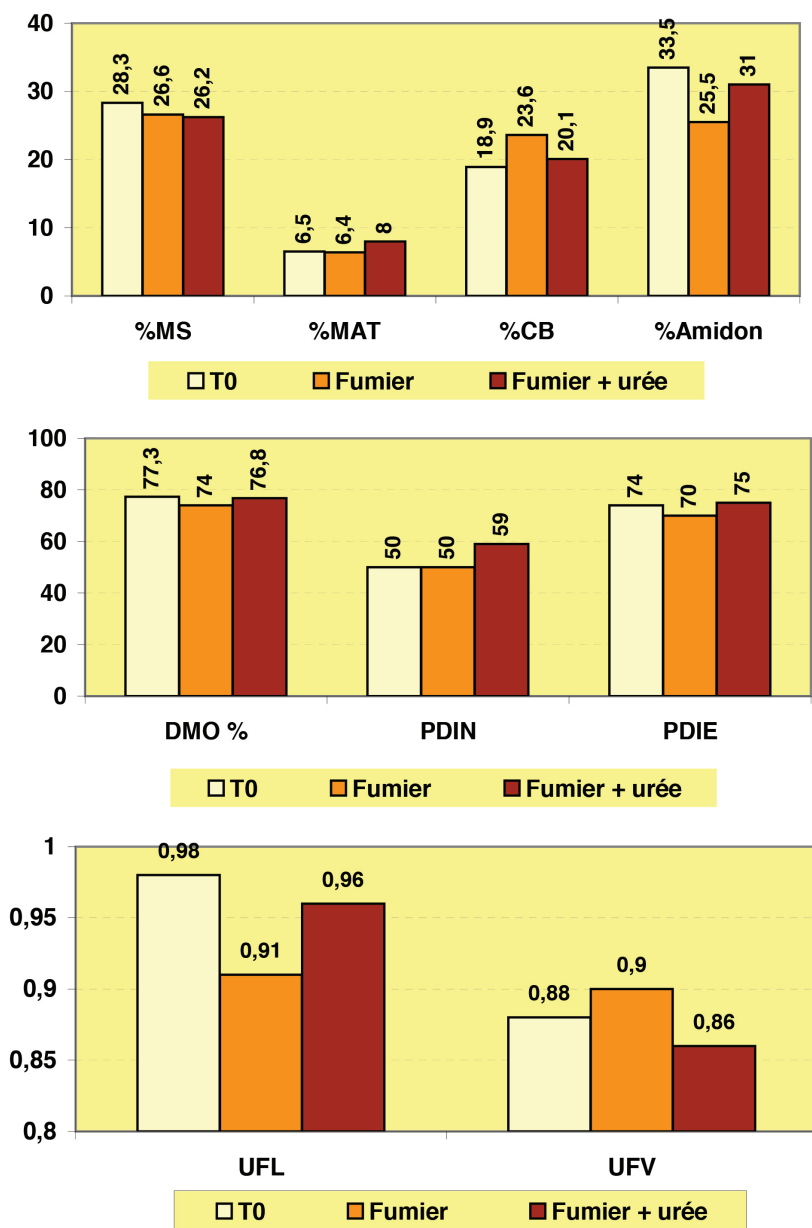
### ► Résultats sur la valeur alimentaire

La valeur alimentaire a été analysée par la méthode infra-rouge

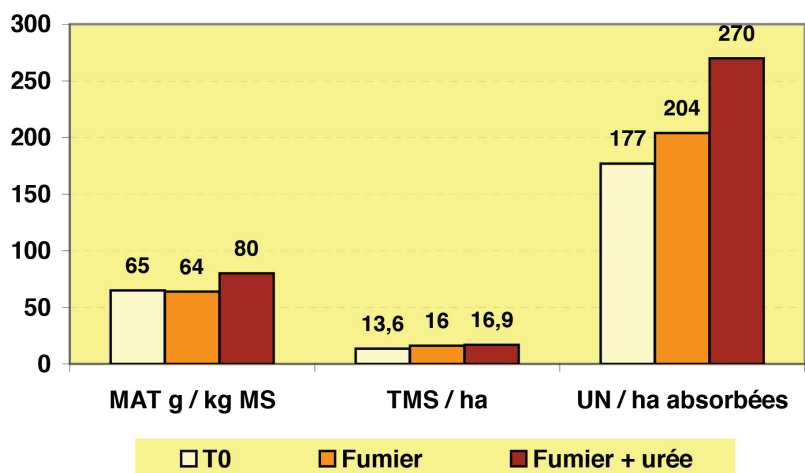
## Graph. 3 - Essai fertilisation azotée du maïs : rendement et taux de MS par modalité (2016)



**Graph. 4-5-6 - Essai fertilisation azotée du maïs : composantes de la valeur alimentaire par modalité (2016)**



**Graph. 7 - Essai fertilisation du maïs : taux de MAT, rendement et azote absorbé par modalité (2016)**



sur un échantillon moyen issu des trois répétitions par modalité. Les résultats (reportés sur les graphiques 4 à 6) ne permettent pas de dégager de tendance nette, excepté sur le pourcentage de matière azotée totale, et donc sur les PDIN, avec un résultat en faveur de la modalité «fumier + urée».

La dose d'azote déterminée par le bilan théorique (voir tab. 7) plaçait la modalité 2 (fumier seul) à l'optimum. Dans les faits, cette modalité a bien apporté un gain significatif de rendement par rapport au témoin (+ 2,4 TMS).

Dans la modalité 3, avec 100 kg/ha d'urée supplémentaire, on n'obtient que 0,9 TMS/ha en plus et une légère augmentation du taux de MAT et de la valeur en PDIN. Pour le reste, la valeur alimentaire n'est pas améliorée par rapport au témoin 0 ou au fumier seul.

Dans cet essai, l'optimum technico-économique et environnemental se trouve donc bien à la dose d'azote donnée par la méthode du bilan azote.

**► Azote absorbé et efficacité des apports**

Comme pour l'essai orge, la mesure du taux de MAT dans la plante entière a permis de calculer pour chaque modalité l'azote absorbé et ainsi d'en déduire la part issue du sol, du fumier et de l'urée (voir tab.8).

L'azote du sol absorbé dans le témoin 0 (177 UN/ha) est inférieur à la valeur théorique utilisée pour le bilan N (voir tab. 9) : l'écart est de 34 UN/ha, soit 16% de moins. Cependant, si l'on regarde les données dans la modalité «fumier + urée», au maximum l'urée a fourni 46 UN/ha, ce qui signifie que les 20 UN supplémentaires d'azote absorbé mesurées ont été apportées par l'effet «sol + fumier». Il est possible qu'il y ait un gradient sur la fertilité du sol dans la parcelle en faveur des deux modalités fertilisées. Dans ce cas, on ne serait pas très éloigné de la valeur théorique de fourniture du sol.

Pour la modalité fumier seul, en faisant l'hypothèse que la minéralisation du sol est la même que pour le témoin 0, la part d'azote mesurée à affecter au fumier est de 27 UN (tab.8).

Pour un fumier de bovin enfoui juste avant semis du maïs, le coef-

**Tab. 7 - Détail du bilan azote théorique**

<b>Besoin de la culture (maïs ensilage)</b> ■ 17 TMS x 13 UN/tonne = 221 UN/ha ■ Azote restant dans le sol : Rf = 20 UN/ha	<b>Besoin total = 241 UN/ha</b>
<b>Fournitures d'azote</b> ■ Effet précédent prairie 4 - 5 ans = 70 UN/ha ■ Minéralisation du sol = 110 UN/ha ■ Reliquat azote théorique* = 15 UN/ha ("culture intermédiaire")	<b>Fournitures totales = 195 UN/ha</b>
<b>Bilan dose à apporter</b> ■ Besoin - fournitures = 46 UN/ha ■ Fumier bovin : 30 tonnes, soit 30 x 5,8 x 0,3	

(\*) On prend en compte un reliquat "culture intermédiaire" car la prairie n'est pas détruite suffisamment tôt avant le maïs pour pouvoir jouer sur la quantité de reliquat au semis... Tout se passe comme si on avait une culture en place jusqu'au dernier moment et qui joue un rôle de piège à nitrates (type culture intermédiaire). Dans ce cas, le reliquat trouvé au semis du maïs est beaucoup plus faible, comme la mesure réelle l'a effectivement montré (31 UN). Si on avait tablé sur un reliquat théorique avec précédent prairie, on aurait utilisé la valeur de 93 UN/ha, bien trop éloignée du 31 UN mesuré.

**Tab. 8 - Répartition de l'azote absorbé (UN/ha)**

	T0	Fumier	Fumier + urée
Sol*	177	177	177
Fumier bovin 30 t/ha	0	27	27
Urée 100 kg/ha	0	0	66
Total	177	204	270

(\*) Englobe le reliquat + la minéralisation + effet précédent prairie

**Tab. 9 - Calcul théorique des fournitures du sol**

■ Reliquat mesuré = 31 UN/ha ■ Minéralisation du sol (Ségala profond irrigué) = 110 UN/ha ■ Arrière effet prairie = 70 UN/ha	<b>Total théorique = 211 UN/ha</b>
--	------------------------------------

**Tab. 10 - Calcul théorique de l'efficacité du fumier**

■ Valeur du fumier (mesurée) = 4,2 UN/tonne brute ■ Quantité théorique apportée = 30 t brutes/ha	<b>N total apporté = 126 UN/ha</b>
Azote total apporté = 126 UN/ha Azote absorbé = 27 UN/ha Coefficient d'efficacité = 21,4%	

ficient d'équivalence engrais (Kéq) est de 30%. Or dans l'essai, nous avons mesuré un coefficient de 21,4 % (voir tab. 10), donc légèrement inférieur. Cette valeur de coefficient est en fait très dépendante des conditions météorologiques et des conditions de sol. Ce qui est aussi particulier dans cet essai, c'est que le fumier a été épandu le 9 mai, pour un semis de maïs au 10 juin !

► **A retenir**

Dans cet essai sur maïs en précédent prairie, il y a une assez bonne correspondance entre la méthode du bilan azote et la dose qui a permis d'obtenir le meilleur compromis technique et économique. Ces résultats confortent des données déjà acquises par le passé, à savoir que le maïs, culture de printemps à cycle court, valorise bien les fournitures du sol et d'un apport de fumier au printemps. S'il y a en plus un précédent prairie longue durée, il n'est pas nécessaire de réaliser un complément minéral, et ce même sur des maïs à bon potentiel irrigués.

Nous remercions particulièrement les agriculteurs qui ont accepté de mettre en place ces essais dans leur parcelle, de même que ceux qui ont apporté leur aide au moment des récoltes.

Muriel Six,  
conseillère agronomie



Modalité 3 : apport de fumier (30 t/ha) + urée (100 kg/ha)

Les actions mises en œuvre dans le cadre du PAT Jaoul sont financées par le Syndicat mixte de bassin versant du Viaur (SMBVV) et l'Agence de l'Eau Adour-Garonne.