



**HAL**  
open science

## Signification du coefficient reel d'utilisation et consequences pour la fertilisation azotee des cultures.

Jean-Marie Machet, Daniel Pierre, Sylvie Recous, Jean-Claude Rémy

### ► To cite this version:

Jean-Marie Machet, Daniel Pierre, Sylvie Recous, Jean-Claude Rémy. Signification du coefficient reel d'utilisation et consequences pour la fertilisation azotee des cultures.. Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France, 1987, 73 (3), pp.39-55. hal-02722979

**HAL Id: hal-02722979**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02722979>**

Submitted on 22 Mar 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

1

**SIGNIFICATION DU COEFFICIENT REEL D'UTILISATION  
ET CONSEQUENCES POUR LA FERTILISATION AZOTEE DES CULTURES**

Real Utilization Coefficient Significance and Consequences  
for Nitrogenous Fertilization of Crops

**MACHET J.M. (1), PIERRE D. (2), RECOUS S. (3), REMY J.C. (4)**

(1) INRA, Station Agronomique de l'Aisne, BP 101, 02004 LAON Cedex

(2) CdF Chimie AZF, Centre de Recherche Agronomique, 132 route d'Espagne, 31057  
TOULOUSE Cedex

(3) Contrat CIFRE coll. COFAZ / Biol. des Sols LYON I / INRA Laon,  
adresse actuelle : Station d'Agronomie de l'Aisne, BP 101, 02004 LAON Cedex

(4) INRA, direction du Milieu Physique et de l'Agronomie, 145 rue de l'Université,  
75347 PARIS Cedex 07

## RESUME

A partir d'expérimentations N15 réalisées par plusieurs équipes ces dernières années en France, une réflexion est engagée sur le coefficient réel d'utilisation ( C.R.U. ) de l'azote, qui traduit la part de l'engrais retrouvée dans la plante. Des aspects méthodologiques liés à la mesure du C.R.U. sont abordés, notamment la date de mesure et la prise en compte du système racinaire pour quantifier le C.R.U. sur la plante entière. La signification réelle du C.R.U. est particulièrement appréhendée à travers la réorganisation microbienne qui semble le mécanisme principal entrant en compétition, pour l'azote, avec l'utilisation par la plante. On montre également que les facteurs comme la dose, la date d'apport et la forme de l'engrais affectent différemment le C.R.U., et ont des conséquences directes pour la fertilisation azotée des cultures. L'importance de la contribution du sol et sa signification sont étudiées.

Mots clés : **Fertilisation azotée, 15N, essai au champ, coefficient réel d'utilisation, azote absorbé, réorganisation microbienne, contribution du sol**

## SUMMARY

From 15N-labelled experiments made by several teams of french researchers during the last years, a reflection is opened about the Real Utilization Coefficient ( R.U.C. ) of nitrogen, which expresses the fraction of the fertilizer taken up by the crop. Methodological aspects bound with the determination of the R.U.C. are taken up, particularly the sampling date and the evaluation of the root system for quantifying the R.U.C. on the whole plant. The real significance of the R.U.C. particularly is apprehended through the microbial immobilization which appears as the main mechanism being in competition, for nitrogen, with the plant's uptake. Also it seems that factors such as the application rate, date and the form of fertilizer modify the R.U.C. These factors have immediate consequences for nitrogenous fertilization of the crops. The importance of the soil nitrogen contribution and its significance are examined.

Key words : **Nitrogenous fertilization, 15N field experiments, real utilization coefficient, plant uptake, microbial immobilization, soil nitrogen contribution**

## INTRODUCTION

Pour la prévision de la fumure azotée, les agriculteurs disposent d'un outil à caractère à la fois opérationnel et explicatif: la méthode du bilan (22,30). Ce bilan prévisionnel permet de calculer la quantité d'azote à apporter à une culture en équilibrant les besoins par un stock d'azote disponible. Il porte sur le compartiment azote minéral dans la zone exploitée par les racines pendant le cycle végétatif de la culture:

$$bY = ( Ri - Rf ) + Mh + Mr + Ma + X$$

bY = besoins du peuplement végétal

Ri = azote minéral à l'ouverture du bilan ( par exemple à la sortie de l'hiver pour le blé )

Rf = azote minéral à la sortie du bilan ( à la récolte )

Mh = minéralisation nette de l'humus du sol

Mr = contribution nette des résidus de récolte

Ma = contribution des amendements organiques

X = fumure minérale

Les termes Ri, Mh, Mr et Ma définissent les fournitures du sol FS.

Initialement, le bilan prévisionnel prenait peu en compte l'efficacité du transfert de l'azote du sol aux racines. On accordait au terme Rf une valeur minimale correspondant à une fraction d'azote minérale non "récupérable". La fourniture par le sol, de même que la fumure étaient considérées être utilisées à 100%. Un certain nombre d'échecs dans la prévision ont montré que l'azote n'est pas utilisé en totalité. Pour rendre le bilan opérationnel, un coefficient "k" a donc été introduit (32). Il exprime que la proportion d'azote valorisée est inférieure à 100% selon les conditions d'implantation du système racinaire et la coïncidence entre les besoins exprimés et les sources d'azote. On a donné un nom différent à ce coefficient décrit comme suit:

$$bY = k ( FS + X )$$

k est traduit, soit comme un coefficient d'interception racinaire, soit comme un coefficient de valorisation ou efficacité de l'azote du sol et de l'engrais. Les valeurs de k varient de manière relativement empirique, dans une gamme de 0,9 à 0,5. Ce coefficient, fort commode, cherche à traduire en fait de nombreux phénomènes.

Il existe deux moyens pour apprécier l'utilisation de l'engrais, correspondant à un coefficient  $k_f$  portant uniquement sur ce poste:

\* **le coefficient apparent d'utilisation ( C.A.U. )** calculé par la formule:

$$\text{C.A.U.} = \frac{(\text{Nm} - \text{No})}{\text{X}} \cdot 100$$

Nm : Azote absorbé par la culture fertilisée

No : Azote absorbé par la même culture non fertilisée

X : fumure appliquée

\* **le coefficient réel d'utilisation ( C.R.U. )** accessible directement par l'emploi du traceur N15, est déterminé comme suit :

$$\text{C.R.U.} = \frac{\text{Nm} \cdot e}{\text{X} \cdot e_0} \cdot 100$$

e : excès isotopique de la culture

e<sub>0</sub> : excès isotopique initial de l'engrais X

En pratique, la valeur du C.A.U. est, dans la plupart des cas, supérieure à celle du C.R.U. ( figure 1 ) et dépasse parfois 100 %. Cette surestimation de l'utilisation de l'engrais provient d'une estimation par excès de la différence ( Nm - No ), due à une sous-estimation du terme No. Cela signifie que la quantité d'azote du sol absorbée par la plante n'est pas identique entre la parcelle fertilisée et la parcelle témoin. On peut émettre l'hypothèse, soit d'une exploration racinaire plus importante, soit d'une fourniture en azote du sol plus élevée pour la parcelle fertilisée.

La mesure du C.R.U. reste le moyen le plus fiable pour déterminer l'utilisation de l'engrais par la plante. A travers les expérimentations N15 menées en France ces dernières années, nous allons aborder quelques réflexions sur la signification du C.R.U. et montrer de quelle manière ces résultats permettent de définir une stratégie de la fertilisation azotée .

## PROBLEMES METHODOLOGIQUES POSES PAR LA MESURE DU C.R.U.

L'objet des mesures de C.R.U. est d'approcher avec la précision maximale, l'utilisation de l'engrais par la culture. Or certaines incertitudes persistent, liées à la manière de mesurer ce C.R.U. .

L'une des premières difficultés réside dans le choix de la date de mesure du C.R.U. . Des expérimentations récentes tendent à montrer que les valeurs maximales de C.R.U., comme par ailleurs celles du maximum d'azote absorbé, ne sont pas toujours obtenues à la "récolte" définie au sens du stade d'intervention de l'agriculteur.

Sur le blé ( figure 2 ), un abaissement du C.R.U. en fin de culture de 10 à 30 % a été observé ( 3,7,29) dans le Nord du Bassin Parisien, alors qu'une augmentation continue est mesurée dans le Sud -Ouest Toulousain ( 5,6,10) . L'évolution du C.R.U. sur prairies, après une augmentation très rapide peut présenter une légère baisse en fin de cycle ( 15,16,33,35); il en est de même sur maïs ( figure 2 ) ( 12), colza et tournesol ( 27) .

Sur les essais réalisés sur colza et tournesol, cette chute de C.R.U. s'explique par une perte d'organes en fin de végétation. Par contre sur blé, cette perte quantitative d'azote n'est due ni à une diminution de la matière sèche, ni à une remobilisation de l'azote vers les racines ( 36). Comme d'autres auteurs, nous envisageons deux hypothèses: une exsudation des composés azotés par les racines dans le sol ( 20) ou une perte par volatilisation d'ammoniac au niveau du couvert végétal en début de sénescence ( 9,23). Ces phénomènes restent à quantifier.

La plante, comme les autres compartiments, est un compartiment transitoire. La détermination du C.R.U. à la récolte ou à une autre date n'est qu'une image de la contribution de l'azote à un instant donné.

L'utilisation réelle de l'engrais, mesurée à la récolte, peut donc dans certain cas, être fortement sous-estimée. Il semble donc qu'il soit nécessaire pour approcher l'utilisation maximale par la plante, de s'orienter vers des dates de prélèvement de plante plus proches du stade floraison que de la récolte et qu'il faille les définir en se référant à des notations des stades physiologiques.

Une seconde difficulté dans l'interprétation de la mesure des C.R.U. résulte de la prise en compte ou non de l'azote contenu dans la masse racinaire de la plante. La mesure du stock d'azote des racines étant délicate et fastidieuse, il est d'usage lorsque celle-ci n'est pas réalisée, de le préciser ( C.R.U. parties aériennes ) ou d'avoir recours à un facteur de majoration arbitraire appliqué sur les quantités mesurées dans les parties aériennes. Des

mesures réalisées par les auteurs ( tableau I ) mettent en évidence les erreurs commises par l'utilisation de tels facteurs. En effet nous observons d'une part une grande variabilité de la quantité de racines produites ( 1 à 5 tonnes de MS / ha ), d'autre part que les racines ont généralement un excès isotopique différent de celui des parties aériennes. L'écart est faible lorsqu'il s'agit de l'apport au tallage ( rapport des excès proche de 1 ), par contre, les excès des parties aériennes sont deux à sept fois plus élevés que ceux mesurés dans les racines pour les apports de début montaison, qui sont moins utilisés pour la formation des racines.

L'application systématique au C.R.U. parties aériennes du coefficient 1,3 (39), pratiquée pour le blé, est loin de représenter la réalité. Elle ne recouvre pas toutes les situations culturales et a entraîné souvent une surestimation du C.R.U. plante entière dans les zones du Nord de la France. L'emploi d'un autre coefficient moyen mais unique ne résoudra pas le problème et une valeur réelle du C.R.U. passe - pour chaque situation pédo-climatique - par une estimation correcte de la masse racinaire et une mesure de son excès isotopique.

On peut s'interroger enfin sur le bien-fondé d'une mesure du C.R.U. à la première récolte uniquement, qui ne prend pas en compte la contribution possible d'un apport d'azote à la nutrition azotée des cultures suivantes. Les mesures du C.R.U. réalisées sur des successions de culture annuelles ( ou d'exploitation dans le cas de plantes pérennes ), montrent le même type d'évolution ( tableau II ) : dès la seconde année ou seconde exploitation sous prairies, la valeur du C.R.U. n'est plus que de 5 à 10 % de celle de l'année de l'apport, pour se stabiliser rapidement à des valeurs proches de 1%. Le C.R.U. cumulé lors des récoltes ultérieures à la première année ne semble jamais dépasser 5% .

Ces faibles valeurs de C.R.U. cumulées ne remettent pas en cause le poids prépondérant de la première mesure de C.R.U. Il en résulte également que l'agriculteur, par des pratiques appropriées de fertilisation, cherchera la valorisation maximale et rapide de l'apport.

En résumé, les valeurs de C.R.U. doivent donc, d'une manière générale, être interprétées avec précaution en tenant compte principalement des conditions dans lesquelles elles ont été obtenues.

## L'INTERPRETATION DU C.R.U.

Le coefficient réel d'utilisation est la résultante d'un ensemble de processus qui interviennent dès l'apport d'azote au système sol-plante: mécanismes microbiens de transformation de l'azote ( réorganisation, nitrification, minéralisation, dénitrification ), mécanismes physiologiques ( absorptions racinaire et foliaire, assimilation, rhizodéposition ) et mécanismes physico-chimiques ( volatilisation, lixiviation ... ).

Les mesures des quantités d'azote  $^{15}$  réalisées dans la plante à la récolte, montrent que seule une partie de l'azote provenant de l'engrais est utilisée. Elles sont traduites par les valeurs de C.R.U. ( tableau III ) présentant des variations importantes en fonction des conditions pédo-climatiques, de l'espèce considérée et de la technique de fertilisation, les valeurs maximales même cumulées, atteignant 70 à 80 %.

La part non retrouvée dans la plante a longtemps été considérée comme perdue hors du système par volatilisation et dénitrification ( 12 ). Par contre la fraction réorganisée a été peu étudiée. Des mesures d'azote  $^{15}$  effectuées sur le compartiment azote organique du sol, montrent que 20 à 80 % des apports sont réorganisés ( tableau III ). Dans les types de sol et de climat de nos régions, les pertes d'azote à la fois par voie gazeuse et par lixiviation restent faibles ( 5,6,10,17,29 ) et on considère que la réorganisation microbienne est le mécanisme principal qui entre en compétition, pour l'azote, avec l'utilisation par la plante.

Si au laboratoire on connaît mieux l'influence de facteurs comme la nature et la quantité de carbone disponible, la forme d'azote, le type de sol ( 1,2,8,24 ) sur les processus de réorganisation, au champ et en présence de la plante, les phénomènes sont beaucoup plus complexes: par exemple, la plante d'une part favorise la réorganisation par l'exsudation de composés organiques et d'autre part la limite en utilisant l'azote minéral. A l'heure actuelle trop peu d'études au champ ont couplé des mesures effectives de réorganisation et des coefficients d'utilisation, en raison principalement de la lourdeur de l'expérimentation.

En fonction des conditions climatiques, de la date d'application de l'engrais, du stade physiologique de la plante, il semble que "l'avantage" aille à la réorganisation ou à l'absorption. Les données que nous possédons ne permettent pas de savoir si la réorganisation est :

- prioritaire et ainsi détermine la quantité d'azote minéral susceptible d'être utilisée par la plante,
- ou consécutive et liée au temps de séjour de l'azote sous forme minérale dans le sol



## LES FACTEURS DE VARIATION DU C.R.U.

Comme nous l'avons vu la plupart des mesures de C.R.U. réalisées au champ ne font pas état de bilan complet du devenir d'un apport et dans ce cas leur objet est de préciser quelles sont les techniques qui permettent une utilisation optimale de l'azote apporté. La dose, la date d'apport ainsi que la forme ont été expérimentées.

### 1- La dose

Sur des essais réalisés sur blé d'hiver (28) et sur prairies (33,34), l'effet de la dose d'azote sur le C.R.U. a été étudié (figure 3). Dans une situation donnée et pour la gamme des doses agronomiques expérimentées, le C.R.U. semble indépendant de la quantité d'azote apportée. Ainsi lorsque la fertilisation augmente, la quantité d'azote de l'engrais dans la plante croît proportionnellement à la quantité apportée. Tout se passe comme si la plante prélevait l'azote dans la solution du sol dont la concentration est croissante, l'interception par les racines restant inchangée. On observe par contre une relative constance des quantités prélevées provenant du sol. Cet aspect "azote sol" sera abordé plus globalement dans la suite de l'article. Lorsque l'on sort de la gamme des doses agronomiques, il semble qu'aux doses très élevées (4) comme aux doses très faibles (7) le C.R.U. diminue. Des essais complémentaires, dans ces gammes extrêmes, permettraient sans doute de mieux comprendre les mécanismes mis en jeu.

### 2- La date d'apport

Il a été observé pour le blé, sur un très grand nombre d'essais (tableau IV), une supériorité systématique des C.R.U. des apports réalisés au début montaison sur les apports tallage. Des expérimentations à dates rapprochées menées par l'INRA et l'ITCF ont confirmé ce fait et ont montré une augmentation continue du C.R.U. d'un apport réalisé au semis jusqu'à un apport fait à la floraison (figure 4). Au cours du temps la part de l'azote de l'engrais prélevée par la plante s'accroît, avec l'augmentation, d'une part des capacités d'absorption de la plante, d'autre part de ses besoins instantanés en azote (31). Mais, là encore, la quantité d'azote du sol absorbée par la plante est relativement constante (26,28,32).

Par ailleurs nous avons observé qu'un premier apport même mal utilisé permet de mieux valoriser le deuxième apport et améliore ainsi le C.R.U. global de la fertilisation. Cet écart de C.R.U. (5 à 15 %) entre un apport unique au stade début montaison et un

fractionnement classique, s'explique par le fait qu'une culture non fertilisée jusqu'au stade début montaison est une culture témoin sans azote : ses capacités de valorisation de l'azote sont moindres. On pourrait émettre l'hypothèse qu'un premier apport même mal utilisé par la plante, permet de fournir aux micro-organismes, l'azote minéral nécessaire à la réorganisation et rend ainsi le second apport plus disponible pour la plante ( dans cette hypothèse, on considère que la réorganisation est prioritaire sur l'utilisation par la plante ).

Ces effets "date d'apport" ne manqueront pas d'avoir une profonde répercussion sur la pratique de la fumure azotée.

### 3- La forme

La forme de l'engrais influe également sur le C.R.U.. Les apports de nitrate d'ammonium sont globalement mieux utilisés que ceux d'urée ( figure 5 ) Cette supériorité est due à une meilleure utilisation de la forme nitrrique comparée à la forme ammoniacale par laquelle l'urée doit transiter en totalité. Des essais ont montré que la moindre efficacité de l'ammonium ( du nitrate d'ammonium ) ou de l'urée correspond à une utilisation de l'azote pour d'autres mécanismes: la volatilisation éventuelle dans des conditions pédo-climatiques très précises (13), mais surtout la réorganisation par les micro-organismes qui assimilent l'ammonium préférentiellement au nitrate (24,38,41). Les écarts de C.R.U. vont donc dépendre de l'importance de ces phénomènes. Il ne sont pas systématiquement répercutés au niveau des rendements car ces écarts ne portent que sur une fraction de l'azote total absorbé par la plante.

### 4- Les conséquences pour la fertilisation

Les études des facteurs de variation du C.R.U. ( dose, date et forme d'apport de l'azote ) permettent de confirmer et de proposer des techniques pour une meilleure conduite de la fertilisation azotée d'une culture. En pratique, on peut améliorer le C.R.U. en modifiant la date des apports. Plus l'engrais est apporté près du moment d'absorption intense, mieux il est utilisé, et plus on peut travailler avec une dose proche des besoins calculés. Un apport au semis ne se justifie pas sur blé. Les apports précoces correspondent à des immobilisations supérieures dans le sol et leur rentabilité ultérieure n'est absolument pas assurée. Sachant que l'azote apporté au tallage est assez faiblement valorisé, on veillera à couvrir au plus juste les besoins de la culture jusqu'au stade début montaison. Mais le fractionnement reste cependant nécessaire car le premier apport induit généralement une valorisation supérieure des apports d'azote ultérieurs.

L'application des techniques précédemment citées doit aboutir à l'optimisation du C.R.U. l'année de l'apport. On limitera ainsi au maximum l'excédent d'engrais azoté dans le profil et le risque d'entraînement des nitrates hors de la portée des racines.

### FOURNITURES D'AZOTE PAR LE SOL

L'engrais, même bien utilisé ( C.R.U. élevé ), peut ne représenter qu'une faible proportion de la quantité totale d'azote dans la plante (  $N_{df}$  faible ). La part de l'azote du sol (  $N_{dfs}$  ) est importante: 40 à 60 % de l'azote total absorbé.

Dans une situation donnée, la quantité d'azote du sol absorbée par la plante est relativement constante, pour des doses et des dates d'apport différentes. Cela signifie que :

- les fournitures, essentiellement sous le contrôle du climat, du type de sol et de l'histoire culturale sont peu affectées par l'apport d'engrais.
- l'azote du sol ne constitue pas une "source-relais" en cas de mauvaise utilisation de l'engrais.

L'azote du sol et l'azote de l'engrais ont une répartition spatiale différente : la quasi-totalité de l'azote de l'engrais est localisée dans l'horizon de surface, tandis que l'azote du sol est réparti sur l'ensemble de la zone colonisée par les racines. D'autre part, tout au long de la période de croissance, l'azote du sol est fourni progressivement à la plante, par la minéralisation et grâce à l'extension du système racinaire qui colonise et utilise l'azote minéral des horizons profonds; l'engrais, apporté ponctuellement va agir sur une période limitée. Les deux compartiments ont donc une dynamique différente, vérifiée lors d'études de cinétiques de prélèvement ( figures 6a et 6b ).

L'azote du sol prélevé par la plante est considéré naturellement comme un bon indicateur pour caractériser l'aptitude du sol à fournir de l'azote. Des auteurs ( 18,19,21 ) ont proposé d'évaluer le stock disponible selon le principe de la valeur "A". Le calcul de cette valeur repose sur l'hypothèse que la plante prélève indifféremment l'azote du sol et de l'engrais et proportionnellement aux quantités disponibles, les deux compartiments étant donc justifiables du même coefficient d'utilisation. Comme nous l'avons montré précédemment les disponibilités de l'azote fourni par le sol et par l'engrais sont différentes et chaque compartiment doit être affecté d'un coefficient d'utilisation qui lui est propre.

Dans ces conditions, la connaissance du coefficient d'utilisation de l'azote du sol passe par l'évaluation précise de la fourniture du sol. La dynamique et la contribution quantitative des différentes sources au "pool" d'azote minéral reste difficile à prévoir et fait l'objet de recherches approfondies de la part de nombreuses équipes.

## CONCLUSION

Le coefficient "k" de l'équation  $bY = k ( FS + X )$  est appliqué à la fois sur l'azote du sol et de l'engrais. A travers les expérimentations N15 on accède au C.R.U. et à l'utilisation précise de l'azote de l'engrais par la plante; il y aurait identité entre le C.R.U. et le coefficient k si l'azote du sol et de l'engrais étaient affectés du même coefficient d'utilisation; or il a été montré que ce n'était pas le cas.

Si un certain nombre d'éléments nous permettent de maximiser le C.R.U. de l'engrais l'année de l'apport, l'interprétation des essais concernant par exemple, la dose et la date d'apport de l'engrais, n'est pas immédiate, en particulier parce que le compartiment azote minéral est très variable dans le temps et dans l'espace d'où la nécessité d'une connaissance des mécanismes. Par ailleurs, des éléments comme l'état structural du sol, l'hydromorphie, l'effet des systèmes de culture et plus généralement les conditions climatiques ont été peu pris en compte (40). Or ceux-ci influent directement sur l'utilisation de l'azote disponible et constituent des éléments d'interprétation des mécanismes microbiens et du fonctionnement de la plante.

Il serait absolument nécessaire d'établir une typologie des situations qui permettraient de prévoir dans un contexte donné la valeur du C.R.U. . On devrait aboutir d'une part, à l'amélioration de la prévision à partir du bilan et d'autre part, à une meilleure connaissance des mécanismes régissant l'azote disponible.

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) AHMAD (Z) , KAI (H) , HARADA (T) .- Soil Sci. Plant Nut., 1969, 15, 6, 252 - 258.
- (2) AHMAD (Z) , KAI (H) , HARADA (T) .- J. Fac. Agr. Kuysu Univ. , 1972, 17, 49 - 65.
- (3) BONIFACE R. et al. - Agrochemika , 1979, 23, 3-4, 165-178.
- (4) BROADBENT (FE) , CARLTON (AB) .- In " Nitrogen in the environnement " ,  
Ed. Nielsen et Mac Donald, Academic Press , 1978, Vol 1, 1 -41.
- (5) BORDES (JP) , PIERRE (D) .- Mémoire de fin d'étude ESAP , 1983, 117 pp.
- (6) CASTADERE (P) , PIERRE (D) .- Mémoire de fin d'étude ESAP , 1984, 97 pp.
- (7) CHABALIER (PF), GUIRAUD (G), PICHOT (J),REMY (JC) - C.R. Recherches  
DGRST 1975
- (8) CHAUSSOT (R) ,NICOLARDOT (B),CATROUX (G) , CHRETIEN (J) .-Sci. Sol.,  
1986,2,213 - 226
- (9) DAIGGER (LA) ,SANDER (DH) ,PETERSON (GA) .- Agron. J., 1976 , 68, 815 -  
818.
- (10)DECAU (ML), PIERRE (D) ,.- Mémoire de fin d'étude ESAP , 1985, 90 pp.
- (11)DERAMECOURT (J) .- Mémoire de fin d'étude ESITPA -ITCF, 1984, 86 pp
- (12)DESIGNES (PH) .- C.R. Essais AGPM, 1983.
- (13)FAURIE (G), BARDIN (R) .- Ann. Agron., 1979, 30, 4, 363 -385 et 5, 401 -  
414.
- (14)FENN (LB) , HOSSNER (LR) .- Adv. in Soil Sci., 1985,1, 123- 169.
- (15)FOURBET (JF),HNATYZYN (M) .- C.R. Essais INRA Angers, 1981.
- (16)FOURBET (JF),HNATYZYN (M),LEMAIRE (G) .- C.R. Essais INRA Angers et  
INA-PG ,1982-1983.
- (17)FRESNEAU (CH) .- Thèse de Docteur Univ. UCB Lyon I, 1982 ,91 pp.
- (18)FRIED (M) , DEAN (LA) .- Soil Sci. , 1952, 73, 263 - 271.
- (19)GUIRAUD (D) .- Thèse d'état Univ. P. M. Curie PARIS VI, 1984, 335 pp.
- (20)GUIRAUD (D) , CHRISTMANN (J) , LINDEMANN (Y) MAROL (C) .- C.R. Acad.  
Agric. Fr.1986, 72, 5, 439 - 446.
- (21)HAUCK (RD), BREMNER (JM) .- Adv. Agron. 1976, 28, 219 - 261.
- (22)HEBERT (J) , REMY (JC) .- C.R. Acad. Agric. Fr., 1977, 63, 700 - 714.
- (23)HOOKER (ML),SANDER (DH), PETERSON (GA), DAIGGER (LA) .- Agron. J.,  
1980 72 789 - 792.

- (24) JANSOON (SL), PERSONN (J) .- In " Nitrogen in Agricultural soils ", Ed. F.J. STEVENSON 1982, *Agronomy*, 22, 229 - 252.
- (25) LINDEMANN (Y) .- Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. ORSAY, 1986.
- (26) MACHET (JM) .- Colloque franco-roumain, Clermont Ferrand, FRANCE, 1986
- (27) MERRIEN (A), PIERRE (D) .- C.R. Essais CETIOM, 1986.
- (28) RECOUS (S) .- C.R. Essais INRA-ITCF, 1983, 57pp.
- (29) RECOUS (S), MARY (B) .- 13<sup>ème</sup> Congrès A.I.S.S., 1986, C.R. vol III, 926 - 927.
- (30) REMY (JC) .- C.R. Acad. Agric. Fr., 1981, 67, 10, 859 - 874.
- (31) REMY (JC) .- Colloque Groningen Hollande, 1984, 10 pp.
- (32) REMY (JC), VIAUX (PH) .- *Persp. Agric.*, 1983, 67, 26 - 34.
- (33) SALETTE (J), BONNAUD (F), PIERRE (D) .- C.R. Essais INRA Angers, 1984
- (34) SALETTE (J), DUPRE (C), PIERRE (D) .- C.R. Essais INRA Angers, 1983.
- (35) SALETTE (J), PIERRE (D) .- C.R. Essais INRA Angers, 1987.
- (36) SMITH (TL), PETERSON (GA), SANDER (DH) .- *Agron. J.*, 1983, 75-
- (37) TRIBOI (E), GACHON (L) .- Colloque " Les nitrates dans l'eau ", PARIS, 1985.
- (38) VAN LIEROP (W), TRAN (TS), .- *Comm. In Soil. Sci. and Plant Anal.*, 1980, 11, 3, 231 - 250.
- (39) VIAUX (PH) .- *Persp. agric.*, 1980, 43, 10 - 26.
- (40) VILLECROZE (F) .- Mémoire de fin d'étude ISA Lille, ITCF-FNIE, 1985, 97 pp
- (41) WICKRAMASINGHE (KN), RODGERS (GA), JENKINSON (DS) .- *Soil Biol. Biochem.*, 1985, 17, 5, 625 - 630.

TABLEAU I : N ABSORBE ET EXCES ISOTOPIQUE DE LA MASSE RACINAIRE  
*Absorbed N and isotopic excess of root biomass*

CULTURE SOL	STADE DE MESURE		M.S. RACINES Kg/ha	N ABSORBE Kg/ha	% du N TOTAL	CRU RACINES %	Ex. is. P.A. Ex. is. Rac.	REFERENCES
	APPORT							
BLE Limon profond (80)	F	M	1230 (0-100 cm)	13.0	7.3	2.0 1.5	0.8 2.4	REGOUS S. et MARY B. 1986
	R	T M	1000 (0-100 cm)	11.0	5.9	1.3 1.2	0.9 2.2	
BLE Argilo-calcaire (31)	F	T. M	4900 (0-60 cm)	61.0	33.0	11.0 3.0	1.7 6.8	DECAU M.L. et PIERRE D. 1985
	R	T M	4300 (0-60 cm)	58.0	25.0	14.0 4.0	0.9 4.8	
BLE Argilo-calcaire (31)	F	M	3400 (0-60 cm)	69.0	41.0	5.7	5.6	BORDES J.P. et PIERRE D. 1983
	R	M	3060 (0-60 cm)	55.0	28.4	4.0	6.8	

F = Floraison  
R = Récolte

T = Apport tallage  
M = Apport début montaison

P.A = parties aériennes  
Rac. = racines

TABLEAU II : COEFFICIENT REEL D'UTILISATION COMPLE  
*Cumulative real utilization coefficient*

SOL ET REGION	LIMON PROFOND SOISSONS (02)	ARCILLO-LIMONEUX Domaine INRA Du HARAS DU PIN (61)	BRUN LEGEREMENT ACIDE LIMON-ARCILEUX BEAUDCF-TROGNY (45)	SOL DE LIMAGNE (63)
Forme Dose	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> 87 Kg N/ha	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> 60 Kg N/ha	Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 150 Kg N/ha	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> 100 Kg N/ha
Culture et CRU %	Blé Better. 73 74 75 51.9 3.8 1.7	Coups successives de Ray gras Anglais 22.05.85 27.2 13.08.85 2.4 26.06.85 1.7 17.09.85 0.7 05.11.85 0.4 27.05.86 0.8 23.07.86 0.3	Better. 79 80 79.9 3.8	Orge 79 60.5 Avoine 80 0.4 Vesce 80 0.1
CRU cumulés	57.4	33.5	83.7	61.0
REFERENCES	CHABALIER P.F et al (1975)	SALETTE et PIERRE D. (1987)	LINDEMAN (1986) GUIRAUD (1984)	TRIBOI-GACHON L. (1985)



TABLEAU III : COEFFICIENTS D'UTILISATION ET COEFFICIENTS DE REORGANISATION DE L'ENGRAIS DANS LE SOL SOUS  
 DIVERSES CULTURES  
*Utilization coefficients and immobilization coefficients of fertilizer in soil under different crops*

CULTURE (Rdt Qx récolte)	BLE 104		BLE 104		BLE 67		BLE 65		BLE 71		COLZA 50		TOURNESOL 22.7
	Limon argileux profond Santierre (80)		Limon argileux profond Santierre (80)		Argilo calcaire Lauragais (31)		Argilo calcaire Lauragais (31)		Argilo calcaire Lauragais (31)		Limon argileux profonds Nancy (57)		
Type de sol													Argilo calcaire (11)
Region													
Forme apport. N engrais	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>		CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>		(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Ca		NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>		NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>		NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>
Dose N engrais Kg N/ha	T 50 *	M 110 *	T 50 *	M 110 *	T 50	M 130 *	T 50	M 130 *	T 50 *	M 100 *	Autom. 50 *	Print. 200 *	80 *
CRU % mesuré													
Récolte (PA)	34 %	54 %	37 %	53 %	-	43 %	-	57 %	40 %	59 %	18 %	57 %	31.9 %
% N engrais réorganisé dans le sol	22 %	17 %	22 %	18 %	-	33 %	-	40 % (1)	44 %	38 %	78 % (1)	31 % (1)	64.2 % (1)
REFERENCES	RECOURS S. - MARY B. (1986)				CASTADERE P. - PIERRE D. (1984)				DECAU M.L. PIERRE D. (1985)		MERRIEN A. PIERRE D. (1986)		MERRIEN A. PIERRE D. (1986)

PA : Parties aériennes

T : Apport tallage  
 M : Apport début montaison  
 \* : Apport 15 N

(1) % N engrais réorganisé dans le sol  
 plus les racines

TABLEAU IV : VARIABILITE DE L'EFFET "DATE D'APPORT" SUR LE C.R.U. CHEZ LE BLE  
 -----

*Variability of the effect "application date" on the R.U.C. for winter wheat*

	MOYENNE	ECART-TYPE	NOMBRE DE CAS
Apport tallage	38.0 %	10.1 %	24
Apport début montaison	56.7 %	14.0 %	24
Apports tardifs	60.0 %	12.4 %	9

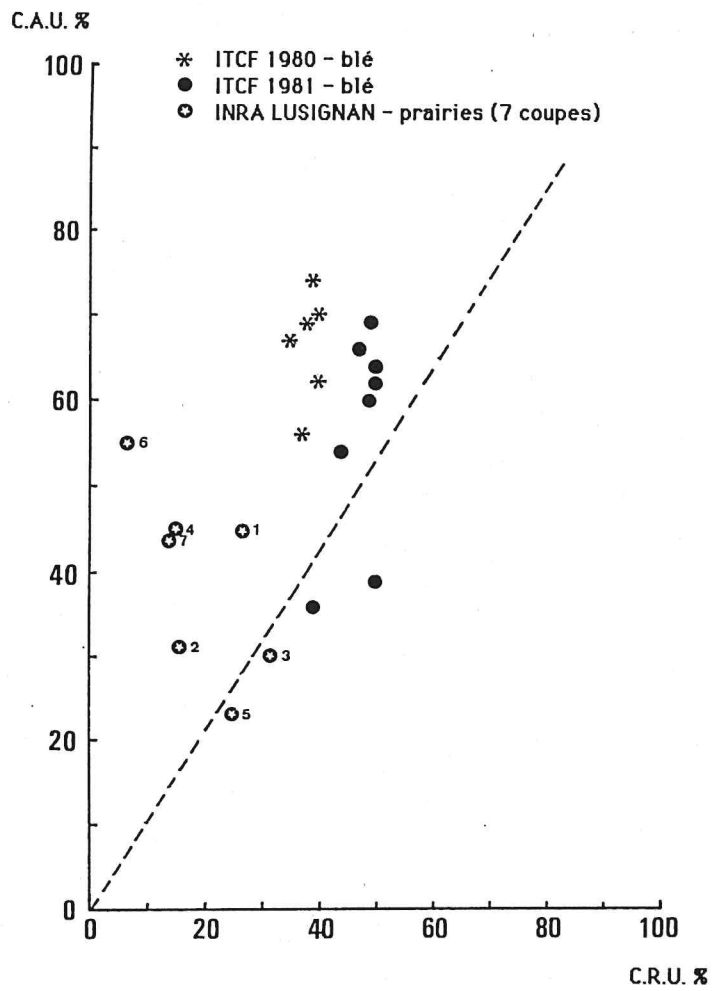


FIGURE 1 COEFFICIENT D'UTILISATION APPARENT ET REEL

*APPARENT AND REAL UTILIZATION COEFFICIENT*

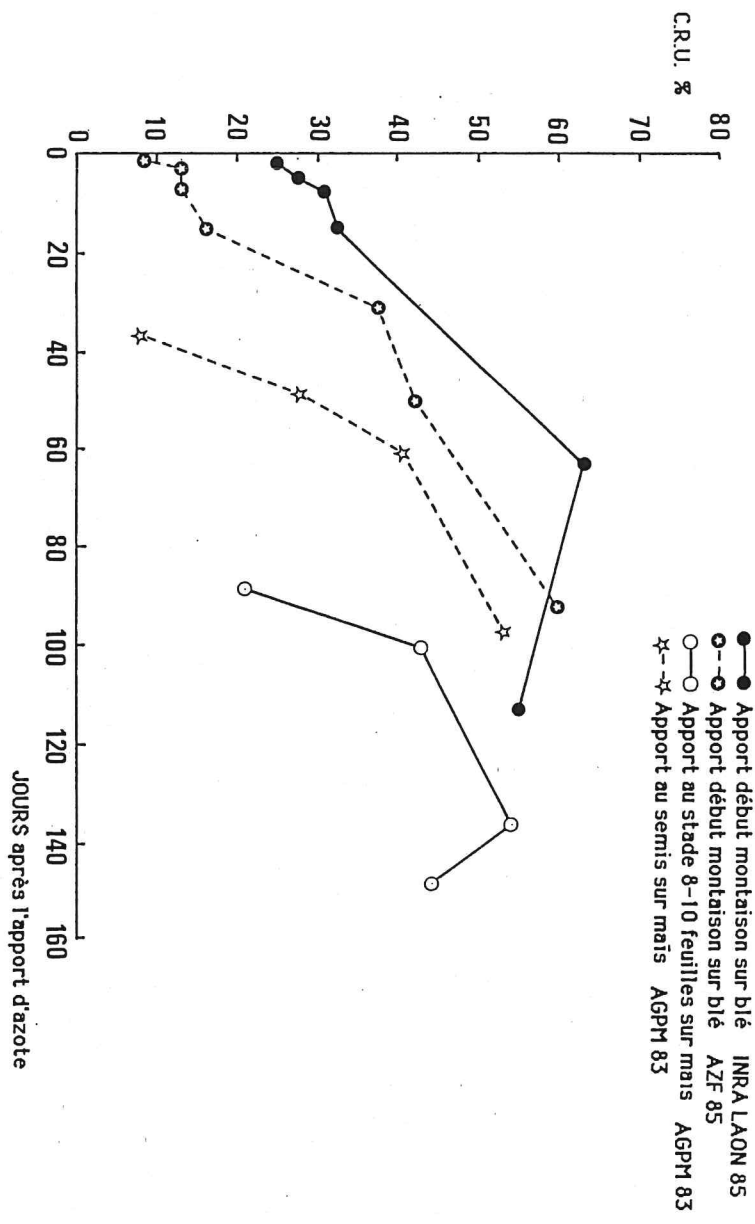


FIGURE 2 EVOLUTION DU CRU AU COURS DU TEMPS  
RUC EVOLUTION THROUGH TIME

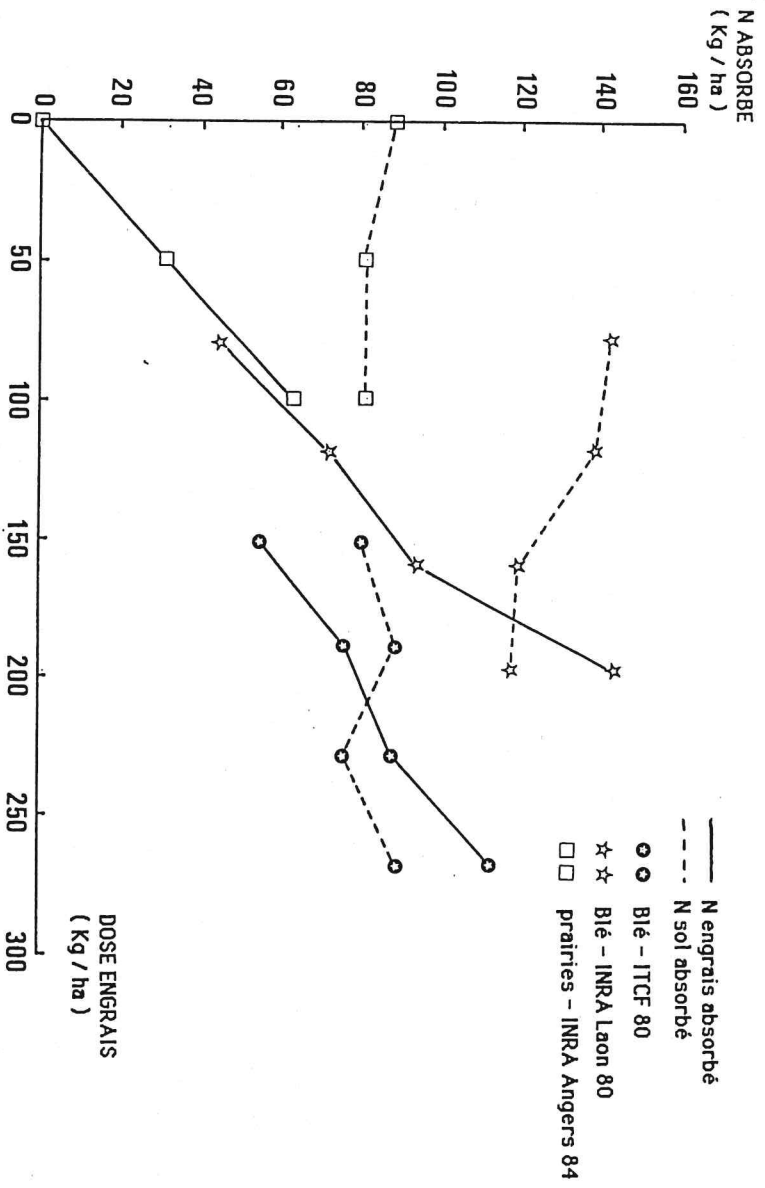


FIGURE 3 EFFET DE LA DOSE D'ENGRAIS SUR L'UTILISATION DE N SOL ET N ENGRAIS  
 EFFECT OF THE APPLICATION RATE ON THE UTILIZATION OF SOIL N AND FERTILIZER N

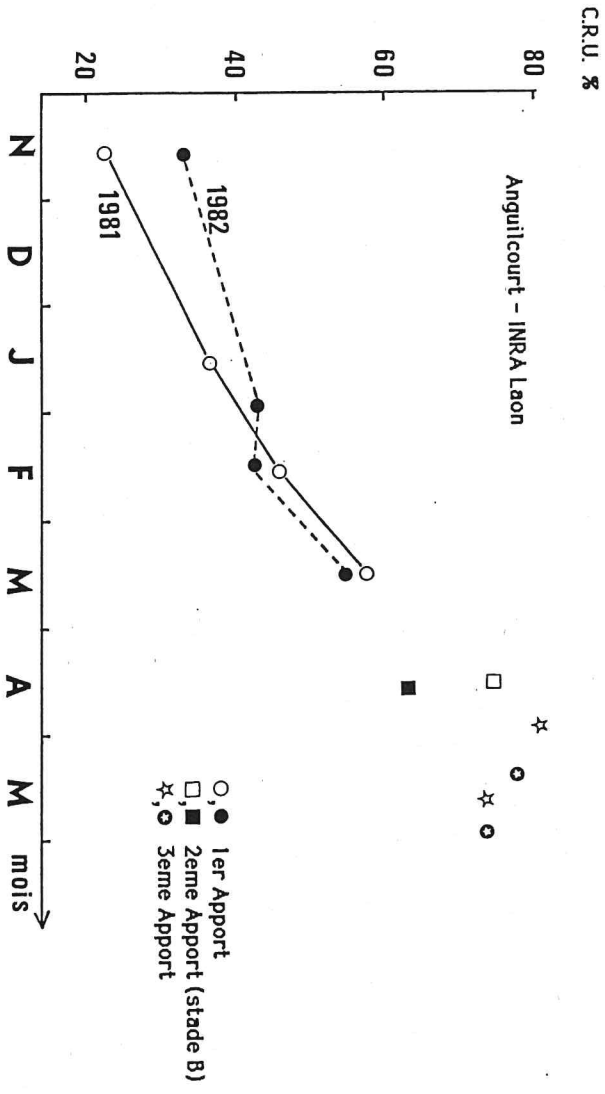


FIGURE 4 EVOLUTION DU CRU AVEC LA DATE D'APPORT DE L'ENGRAIS  
 RUC EVOLUTION WITH THE APPLICATION DATE OF THE  
 FERTILIZER

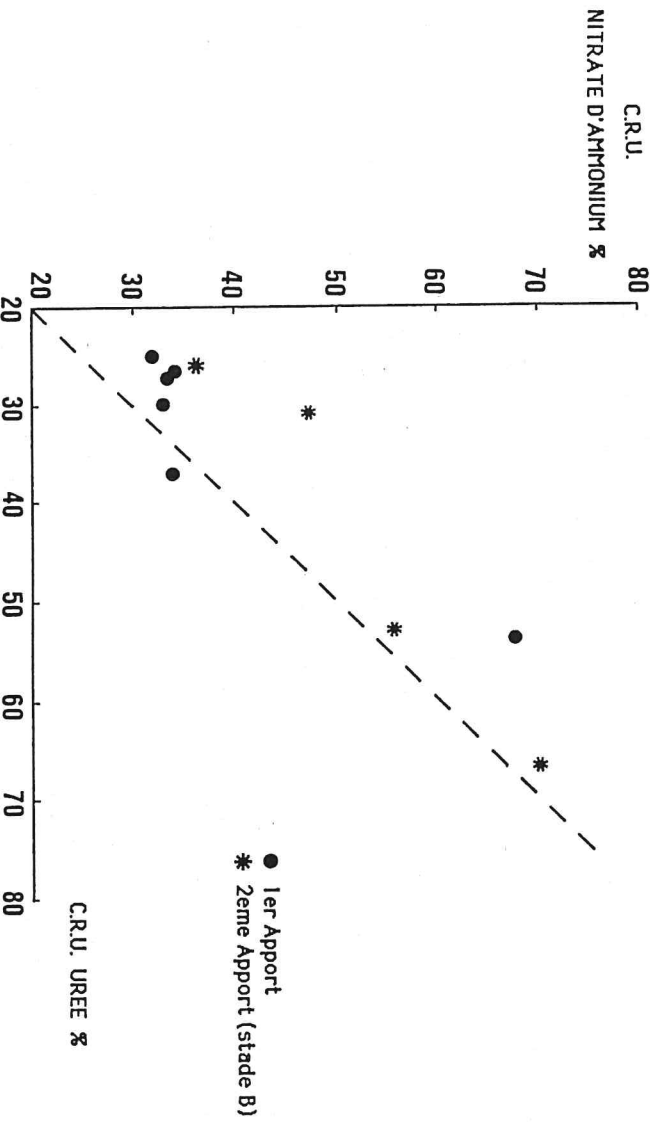


FIGURE 5 COMPARAISON DES CRU NITRATE D'AMMONIUM ET UREE  
 ( expérimentations INRA Laon - ITCF)  
 COMPARAISON BETWEEN AMMONIUM NITRATE AND UREA  
 ( experiments INRA Laon - ITCF)

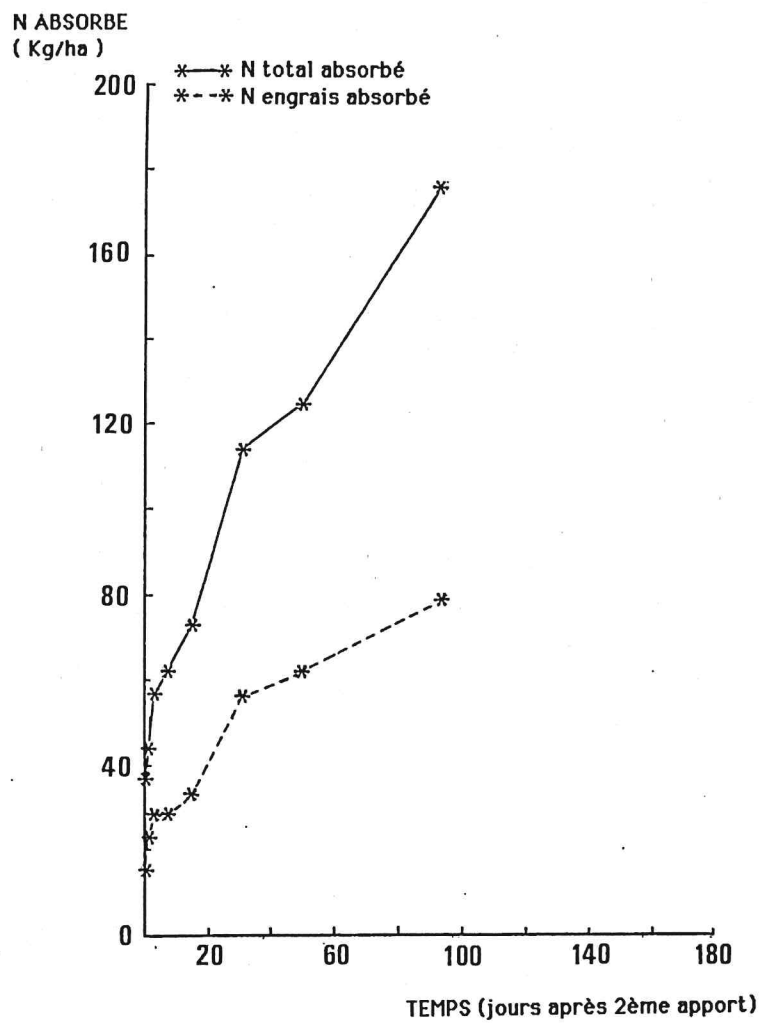


FIGURE 6a EVOLUTION DE L'AZOTE DANS LES PARTIES AERIENNES DU BLE  
- Part de l'engrais - (AZF TOULOUSE 1985)

*NITROGEN EVOLUTION IN AERIAL BIOMASS OF WINTER WHEAT  
- Proportion of the fertilizer - (AZF TOULOUSE 1985)*



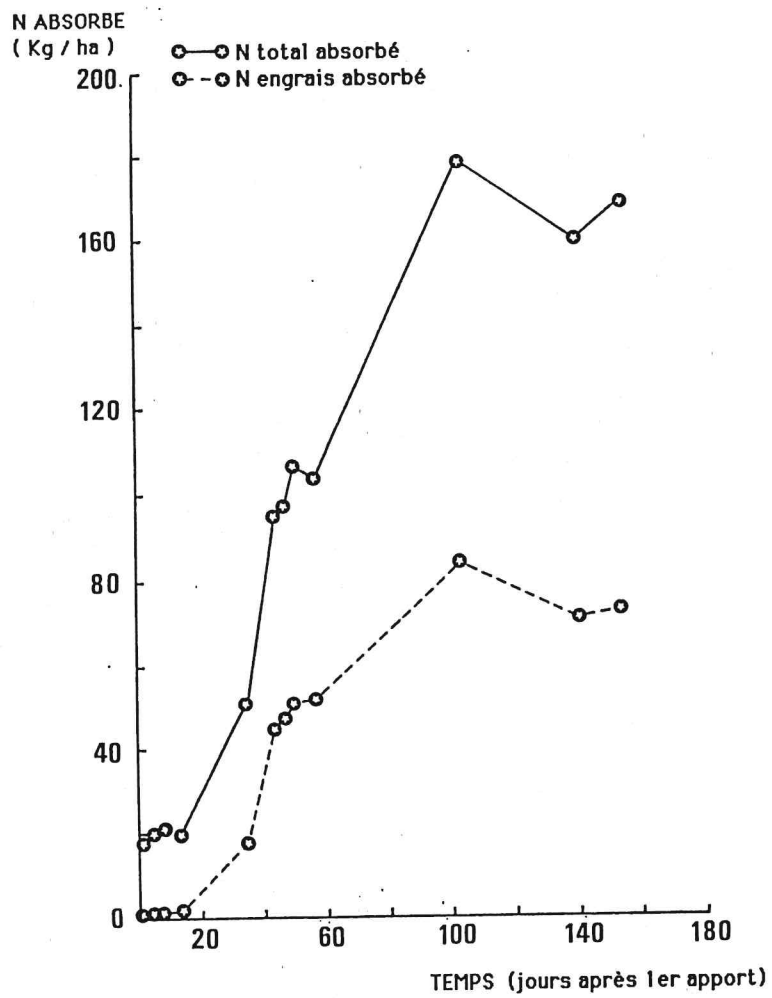


FIGURE 6b EVOLUTION DE L'AZOTE DANS LES PARTIES AERIENNES DU BLE  
- part de l'engrais - (INRA LAON 1985)

*NITROGEN EVOLUTION IN AERIAL BIOMASS OF WINTER WHEAT  
- proportion of the fertilizer - (INRA LAON 1985)*