

Abandonner les valeurs forfaitaires

Ajuster les apports à la variété et à la parcelle



La dose totale d'azote à apporter à la culture représente l'écart entre les besoins de la culture et les fournitures d'azote par le sol. Elle doit être évaluée chaque année, pour chaque parcelle.

Le calcul de la dose totale d'azote repose sur la méthode du bilan de l'azote minéral du sol. Son expression s'écrit : **fertilisation azotée = azote absorbé par la culture + azote minéral du sol non utilisable par la culture — azote minéral du sol disponible en début de cycle — azote issu de la minéralisation des matières organiques du sol.**

Pour évaluer la dose totale

d'azote nécessaire à cette culture, nous allons renseigner chaque terme du bilan d'azote (figure 1). Les tableaux de références sont issus du *Guide de la fertilisation azotée de la pomme de terre*, adaptés à la région Picardie en collaboration avec les partenaires régionaux (*Chambres d'Agricultures, GITEP*).

L'azote absorbé pour estimer le besoin de la culture

De nouvelles références permettent d'évaluer plus précisément le besoin en azote que les valeurs forfaitaires (voir article page XXX). Des tableaux de préconisation du besoin en azote sont disponibles pour chaque bassin de production. La valeur du besoin en azote de la culture y est donnée par l'estimation de la quantité d'azote absorbée par la culture au cours de son cycle végétatif (plantation – défanage).

Un exemple pour calculer

- Parcelle irriguée en sol limoneux non calcaire de Picardie.
- Pommes de terre de consommation plantées le 25/04 et défanées le 03/09.
- Précédent : blé pailles enfouies.
- Apports organiques réguliers tous les trois ans et résidus de récolte enfouis une fois sur deux : taux de matière organique du sol de 16 %.
- Apport à l'automne précédent la culture de 2 t/ha de vinasses concentrées.
- Pas de culture intermédiaire.
- Reliquat début de culture mesuré le 20/03 (18 kg N/ha dans l'horizon 0-30 cm et 18 kg/ha dans l'horizon 30-60 cm).



ALTERNATECH
Section Agro-Transfert

ITCF
CÉRÉALISERS DE FRANCE

INRA

Caroline Surleau-Chambenoit
ALTERNATECH Agro-Transfert
François Laurent
ARVALIS-
Institut du végétal*
Jean-Marie Machel
INRA

*ARVALIS - Institut du végétal, né de la fusion, le 18 décembre 2002, de l'ITCF et de l'AGPM-TECHNIQUE.

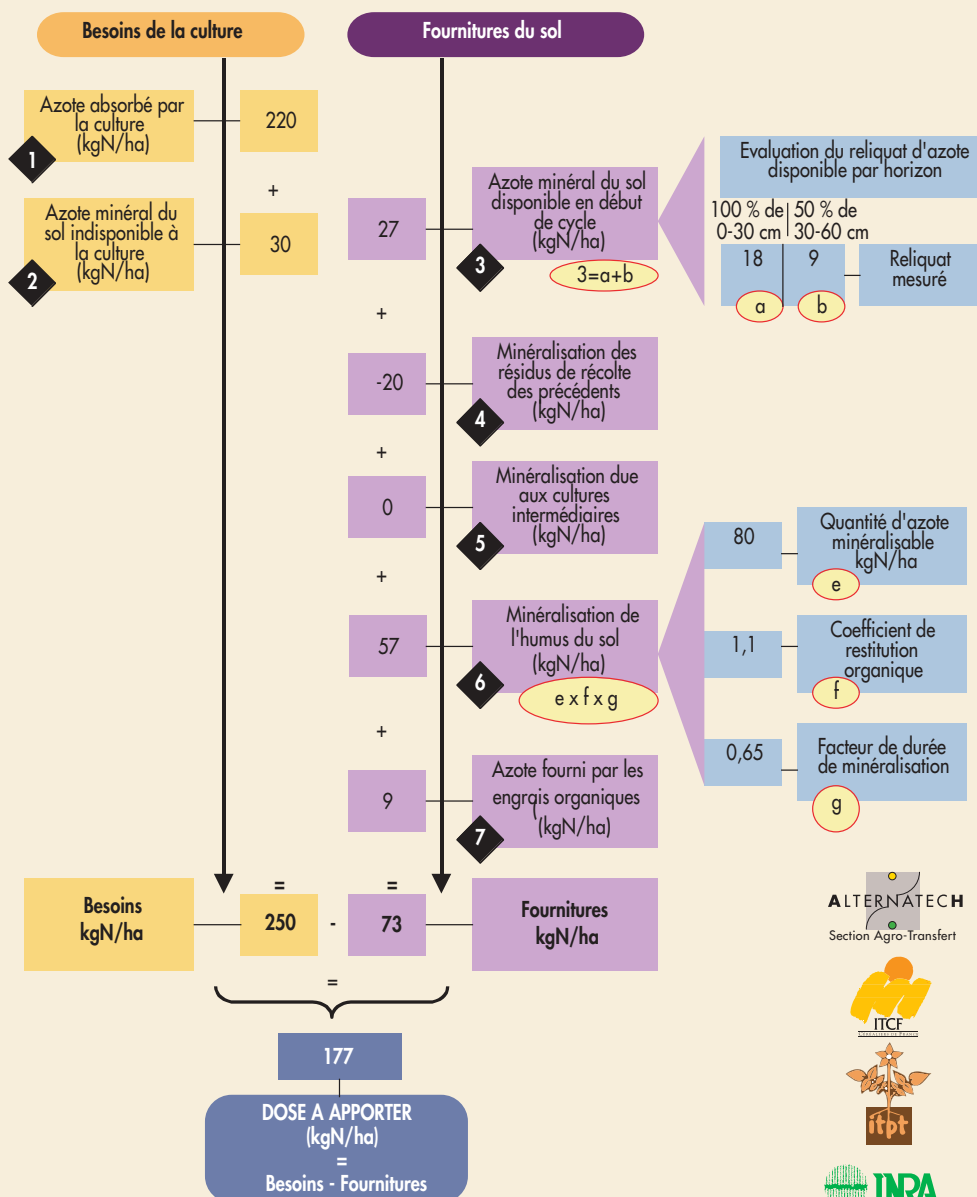
Fermer le bilan azoté au défanage

L'azote minéral du sol n'est pas totalement disponible pour la culture de pommes de terre. Le reliquat d'azote minéral mesuré en fin de culture correspond à la quantité d'azote du sol non utilisable par la culture. Dans la pratique actuelle, ce reliquat est estimé à la récolte, selon le type de sol, en considérant la même efficacité d'enracinement pour toutes les cultures. Les connaissances actuelles remettent en cause l'évaluation du reliquat en fin de culture de pommes de terre, à la fois sur le niveau de reliquat dans le sol et sur la date de mesure.

Dans le cas d'une culture de pommes de terre, la période d'absorption de l'azote par la plante s'interrompt peu après le défanage lorsque toutes les parties végétatives sont mortes. La fermeture du bilan d'azote pour les pommes de terre doit donc s'effectuer à la sénescence complète du peuplement ou au défanage et non à la récolte.

La mesure du reliquat récolte peut néanmoins être réalisée. En effet, entre défanage et récolte la minéralisation de l'azote organique se poursuit

Calcul de la fumure azotée (kg N/ha) — Exemple (figure 1)



Cette méthode de calcul a été développée avec les Chambres d'Agriculture de Picardie, le GITEP, l'ISAB et avec le soutien du Conseil Régional de Picardie

1 Le besoin : fonction de la longueur du cycle

Azote absorbé par la culture (kg N/ha) — pommes de terre de consommation

date de plantation	Date de défanage ou de récolte en vert						
	Du 21 au 31/07	Du 01 au 10/08	Du 11 au 20/08	Du 21 au 31/08	Du 01 au 10/09	Du 11 au 20/09	Du 21 au 30/09
Du 21 au 31/03	190	205	215	225	225	230	230
Du 01 au 10/04	190	200	210	215	220	225	230
Du 11 au 20/04	190	195	210	215	220	225	230
Du 21 au 30/04	185	195	205	210	220	225	230
Du 01 au 10/05	175	190	200	210	215	220	225
Du 11 au 20/05	165	180	195	205	210	215	220
Du 21 au 31/05	155	165	180	195	200	205	210
Du 01 au 10/06	130	155	170	185	190	200	205

2
Azote minéral du sol
indisponible pour la culture
(kg N/ha)

Types de sol

Sols légers et limoneux	20
Sols argileux et crayeux	40

4
Minéralisation des résidus
de récolte du précédent
(/ha)

Nature du précédent Azote minéral
(kg N/ha)

Céréales pailles enlevées ou brûlées	0
Céréales pailles enfouies	-20
Maïs fourrage	0
Pois, haricots de conserve	20
Pois protéagineux	20
Betterave	20
Colza	20
Luzerne	30
Féverole	30
Endive	10
Lin fibre	0
Lin graine	0
Oignon	0
Épinard	20
Carotte	10



5
Minéralisation due aux cultures intermédiaires (kg N/ha)

Date d'enfouissement de intermédiaire	Espèce	Niveau de production de biomasse/ha la culture		
		Faible	Moyen	Elevé
Avant le 1 ^{er} décembre	Crucifères	5	10	15
	Légumineuses	10	20	30
	Graminées	0	5	10
Après le 1 ^{er} décembre	Crucifères	10	15	20
	Légumineuses	15	25	35
	Graminées	5	10	15

⇒ enrichissant le sol en azote minéral. Le reliquat récolte s'apparente dans le cas de la pomme de terre à un indicateur environnemental. Un fort reliquat récolte constitue en effet un risque pour l'environnement, l'azote étant susceptible d'être lessivé dans le profil durant l'hiver. Lorsqu'un fort reliquat fin de culture est soupçonné (accident culturel, mauvais rendements,...) ou mesuré, il est recommandé d'implanter une culture intermédiaire « piège à nitrates » qui limitera le lessivage de l'azote durant l'hiver. La minéralisation des résidus de cette culture devra être prise en compte dans le calcul de la dose totale d'azote de la culture suivante.

Exploiter les nouvelles connaissances sur l'enracinement

L'utilisation de l'azote minéral du sol dépend de la profondeur d'enracinement, mais aussi de l'abondance et de la répartition spatiale des racines dans chaque horizon. Les connaissances concernant l'enracinement permettent désormais de dégager des pistes d'améliorations pour évaluer l'azote disponible dans chaque horizon. Il semble ainsi que la prise en compte du type de sol, de l'état structural, de l'irrigation voire de la variété permettront à l'avenir de mieux quantifier le reliquat d'azote minéral du sol utilisable par la culture en début de cycle.

Nous ne disposons pas pour l'instant de résultats expérimentaux pour valider la prise en compte de ces facteurs dans l'estimation des fournitures du sol. Néanmoins, quel que soit le type de sol, des enquêtes conduites en Picardie ont montré que, dans l'horizon 30-60 cm, l'exploitation de l'azote par les racines est toujours au moins égale à 50 %. Ainsi, nous proposons de mesurer le reliquat d'azote minéral du sol en début de cycle sur les 60 premiers centimètres (horizon 1 = 0-30 cm et horizon 2 = 30-60 cm) et de ne retenir que la moitié du contenu en azote du second horizon.

Mesurer le reliquat le plus près possible de la plantation

La mesure du reliquat en début de cycle correspond à l'ouverture du bilan d'azote. Elle doit être effectuée le plus près possible de la plantation. Si la mesure est effectuée trop tôt, le stock évalué pourra être très différent du stock disponible au début de la phase de croissance (peu après la plantation). Mal positionnée, cette mesure de l'azote minéral du sol conduit donc à mal estimer les fournitures d'azote par le sol. Si des précipitations importantes surviennent par exemple entre la mesure du reliquat et l'apport d'azote, il faut tenir compte du lessivage et réévaluer à la baisse la quantité d'azote minéral disponible.

Tenir compte de la minéralisation des couverts précédents

Les valeurs de minéralisation des résidus de récolte des précédents culturaux classiques de la région Picardie sont directement accessibles dans le *tableau 4*.

Le *tableau 5* donne les quantités d'azote minéralisé si une culture intermédiaire a été implantée.

Les valeurs de minéralisation nette les plus faibles concernent les cultures intermédiaires enfouies précocement (avant le premier décembre) car une partie de l'effet azote de ces résidus est mesurée dans le reliquat de début de culture.

La valeur de minéralisation de l'humus pour la culture est évaluée à partir de la quantité d'azote minéralisable elle-même fonction du type de sols (*tableau e*).

Cette quantité d'azote minérali-

Une minéralisation différente de l'humus selon le type de sol

Minéralisation de l'humus du sol

	CaCO ₃ (pour mille)	Quantité d'azote minéralisable (kg N/ha)						
		Sols non calcaires CaCO ₃ < 100			Sols calcaires 100 < CaCO ₃ < 400			
		Sols sableux < 120	Sols limoneux 120-230	Sols argileux 230-450	calcaire sableux < 120	calcaire limoneux 120-230	calcaire argileux 230-450	Sols de craies < 120
MO (pour mille)	Arg (pour mille)							
	< 10	35	20	15	30	20	10	15
	10-15	85	55	35	70	45	30	45
	15-20	120	80	50	100	65	40	60
	20-25	155	100	65	125	80	50	80
25-30	190	120	75	155	100	60	95	

sable est une valeur potentielle et annuelle qu'il convient d'ajuster à chaque situation.

Un premier ajustement prend en compte le régime de restitution organique de la parcelle, déterminé par le ratio « Devenir des résidus de récolte / Fréquence d'apports organiques ». Il est réalisé par l'intermédiaire d'un coefficient traduisant la restitution organique (tableau f).

Par ailleurs, la plante utilisera plus ou moins la quantité d'azote minéralisable selon sa durée de végétation. La quantité d'azote effectivement utilisable par la plante est celle qui est minéralisée entre la date de mesure du reliquat (proche de la plantation) et la date de défanage. Un deuxième ajustement prend ainsi en compte la durée réelle du cycle de production par l'intermédiaire d'un facteur durée de minéralisation (tableau g).

Un régime de restitution organique par parcelle

Coefficient de restitution organique

Résidus de récolte	Fréquence d'apports organiques			
	rien	5 à 10 ans	3 à 5 ans	< à 3 ans
Enlevés ou brûlés	0,8	0,9	1,0	1,1
Enfouis une fois sur deux	0,9	1,0	1,1	1,2
Toujours enfouis	1,0	1,1	1,2	1,3



Une moindre valeur fertilisante des apports d'automne

Seuls les effets directs des produits organiques, c'est-à-dire leur participation à la nutrition azotée du peuplement, sont considérés ici (tableau 7).

Les valeurs négatives correspondent aux produits qui consomment de l'azote minéral pour se décomposer (organisation). Pour la plupart des produits apportés, la valeur fertilisante des apports réalisés en automne est inférieure à celle des apports réalisés au printemps. En effet, une partie de la minéralisation des apports d'automne est mesurée dans le reliquat début de culture.

Le nouveau calcul de la dose d'engrais azoté adapte ainsi la dose totale d'azote à la durée réelle du cycle :

► l'estimation des besoins entre plantation et défanage prend

La durée du cycle conditionne la durée de minéralisation

Facteur de durée de minéralisation

Date de mesure du reliquat Date de défanage	du 01 mars	du 11 mars	du 21 mars	du 01 avril	du 11 avril	du 21 avril	du 01 mai	du 11 mai
	au 10 mars	au 20 mars	au 31 mars	au 10 avril	au 20 avril	au 30 avril	au 10 mai	au 20 mai
du 01 au 10 juillet	0,45	0,40	0,45	0,35	0,40	0,35	0,30	0,30
du 11 au 20 juillet	0,50	0,45	0,40	0,45	0,35	0,40	0,35	0,30
du 21 au 31 juillet	0,50	0,50	0,55	0,50	0,45	0,45	0,40	0,35
du 01 au 10 août	0,55	0,60	0,60	0,55	0,50	0,45	0,45	0,40
du 11 au 20 août	0,60	0,65	0,60	0,60	0,55	0,50	0,55	0,45
du 21 au 31 août	0,65	0,70	0,65	0,60	0,60	0,55	0,60	0,55
du 01 au 10 sept	0,75	0,75	0,70	0,65	0,70	0,60	0,65	0,60
du 11 au 20 sept	0,80	0,75	0,75	0,70	0,75	0,70	0,70	0,65

7

Azote fourni par les produits organiques (kg N/ha)

Dates d'apport des produits	Nature du produit	Azote disponible en kg/t de produit brut	
Apports d'automne	Fumier bovins pailleux	0,4	
	Fumier bovins décomposés	0,7	
	Fumier ovins	1	
	Fumier chevaux	0,8	
	Fumier champignons	0,6	
	Lisiers porcins	1,25	
	Lisiers bovins	0,5	
	Fientes volailles	5	
	Vinasses concentrées	4,5	
	Vinasses diluées	7,5	
	Ecumes de défécation	0,5	
	Boues liquides	0,45	
	Boues déshydratées	1,9	
	Apports d'hiver	Fumier bovins pailleux	0,4
		Fumier bovins décomposés	1
Fumier ovins		1,4	
Fumier chevaux		1,2	
Fumier champignons		0,6	
Lisiers porcins		2	
Lisiers bovins		1	
Fientes volailles		10	
Vinasses concentrées		12	
Vinasses diluées		12	
Ecumes de défécation		0,8	
Boues liquides		0,9	
Boues déshydratées		3,8	

maintenant en compte la précocité de la variété, l'évaluation de la minéralisation tient désormais compte de la date de mesure du reliquat et de celle de défanage. La dose totale d'azote ainsi calculée permet de limiter les cas de sur-fertilisation et donc

les problèmes de maturité au défanage, sans prendre de risques pour le rendement. ■



Témoignage

Témoignage d'un conseiller (GITEP – Chambre d'Agriculture de la Somme) sur l'efficace sur le terrain des préconisations après une première année de mise en œuvre en Picardie.



Les valeurs forfaitaires de besoin en azote, jadis élaborée sur Bintje, sont aujourd'hui dépassées du fait de la multiplicité des variétés et de la segmentation des marchés.

Aussi, bien souvent au sein du GITEP, nous étions obligés d'adapter le calcul de la dose bilan à la variété et aux types de productions en ajoutant ou en retranchant de 10 à 40 unités d'azote. Ces adaptations provenant d'observations et d'expérimentations lourdes, nous manquions souvent de références pour des variétés nouvelles ou peu développées.

Dès 2002, nous avons décidé d'intégrer la nouvelle méthode d'estimation du besoin en azote des pommes de terre pour réaliser nos conseils de fumure auprès de nos agriculteurs picards. Cette méthode ayant été calée en Picardie, c'est très rapidement que nous avons pu mettre en œuvre son application. En se basant sur la longueur du cycle, nous avons pu répondre de manière précise à la demande des agriculteurs pour chacune de leurs variétés.

A l'avenir, c'est sur l'évaluation de la fourniture du sol que nous souhaiterions progresser. Le côté assez aléatoire de la minéralisation nous amène en effet parfois à sous-estimer les fournitures du sol et ainsi surestimer les doses totales d'azote pour s'assurer d'une disponibilité suffisante d'azote pour la plante.

Aussi, l'intégration des nouveaux travaux dans ce domaine va nous permettre d'améliorer ce poste pour pouvoir allier encore mieux productivité et respect de l'environnement.

Néanmoins, l'effet climatique de l'année restant primordial dans la libération de l'azote par le sol, mais imprévisible à la date de plantation, l'utilisation d'outils de diagnostic en cours de végétation doit, à notre sens, être vraiment considérée comme complémentaire du calcul prévisionnel de la dose totale, surtout dans le cas d'apports organiques importants ou dans les cas de forts risques de lessivage.

Olivier MOREL



Pour en savoir plus

- Bedin P., 1994. Aspects de la fertilisation azotée : connaissance de l'alimentation en azote de la plante. In *La Pomme de Terre Française*, 481 : 53-64.
- Biemond H., Vos J., 1992. Effects of nitrogen on the development and growth of the potato plant. II. The partitioning of dry matter, nitrogen and nitrate. *Annals of Botany*, 70 : 37-45.
- Lemaire G., Gastal F., Plénet D., Le Bot J., 1997. Le prélèvement d'azote par les peuplements végétaux et la production des cultures. In : *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes*, G. Lemaire, B. Nicolardot (Eds.), Les Colloques, INRA-Eds., Paris, pp. 121-141.
- Millard P., MacKerron D.K.L., 1986. The effect of nitrogen application on growth and nitrogen distribution with the potato canopy. *Annals of Applied Biology*, 109 : 427-437.
- Ulrich A., 1952. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. *Annu. Rev Plant Phys.*, 3 : 207-228.