

# **NUTRITION AZOTÉE DE L'ANANAS**

## **Etude des voies d'absorption de l'azote par la technique de la dilution isotopique.**

**J. MARCHAL et A. PINON\***

NUTRITION AZOTEE DE L'ANANAS  
ETUDE DES VOIES D'ABSORPTION DE L'AZOTE PAR LA  
TECHNIQUE DE LA DILUTION ISOTOPIQUE

J. MARCHAL et A. PINON (IRFA)

*Fruits*, Jan. 1980, vol. 35, n° 1, p. 29-38.

**RESUME** - L'emploi d'engrais azotés, enrichis en azote 15, isotope stable de l'azote 14, a permis de préciser le rôle des différents organes de l'ananas pour l'absorption de cet élément. Les bases et la face inférieure des feuilles ont le rôle le plus important ; les racines en absorbent des quantités non négligeables.

L'urée pénètre toujours plus rapidement et en plus grande quantité que le sulfate d'ammonium quel que soit le mode d'apport : pulvérisation foliaire de solution, apport solide à l'aisselle des vieilles feuilles ou solution en contact avec des racines souterraines. C'est avec la pulvérisation foliaire que le taux d'absorption de l'azote est le plus élevé. Pour une même quantité d'azote fournie, la masse absorbée est fonction du poids de la plante.

### **INTRODUCTION**

La pulvérisation foliaire d'engrais azotés et potassiques est la pratique la plus courante en culture d'ananas. Cependant, la fertilisation sous forme solide de ces deux éléments est utilisée dans les petites exploitations, dans les plantations villageoises ou lorsque les conditions ne se prêtent pas à la pulvérisation.

Chez l'ananas, les expérimentations agronomiques ont montré que, généralement, à dose égale d'azote, le sulfate d'ammoniaque donne les meilleurs résultats en apport solide, alors que la forme d'apport est pratiquement indifférente pour l'urée (3).

Par l'emploi d'engrais azotés enrichis avec l'isotope stable 15 N de l'azote 14, on a cherché à connaître quels étaient les organes qui permettaient la pénétration de l'azote dans la plante et quelle était l'influence du mode d'apport et de la forme de l'engrais sur son absorption.

Cette technique permet de mesurer, dans la masse totale d'azote contenue dans un organe ou dans la plante entière, la quantité de cet élément qui aura pénétré à la suite d'un apport d'engrais azoté contenant un taux connu d'isotope 15 N.

Cette expérimentation a pu être effectuée en Côte d'Ivoire, grâce à l'aide financière de la Délégation générale à la Recherche scientifique et technique française (DGRST) dans le cadre d'une action thématique programmée (ATP) d'incitation à la recherche obtenue par plusieurs instituts membres du GERDAT. Ce travail se poursuit en Côte d'Ivoire et en Martinique.

\* - J. MARCHAL - IRFA/GERDAT, Service de Physiologie, B.P. 5035  
34032 Montpellier Cedex  
A. PINON - IRFA - 01 B.P. 1740 - Abidjan 01 - République de Côte  
d'Ivoire

TABLEAU 1 - Répartition de la solution pulvérisée en fonction de l'âge des plants.

	1,5 mois	2,5 mois	3,5 mois	5 ou 5,5 mois
p. 100 de solution :				
- sur le plant	46 à 52	69 à 76	77 à 82	79 à 81
- zone de sol située autour de la base du plant (solution débordant de l'entonnoir après traitement)	1 à 2	3	2 à 3	≈ 1
- entre plants sur la ligne et entre lignes	16 à 18	12 à 13	8 à 10	4 à 9
- entre double ligne (zone peu ou non explorée par les racines)	31 à 36	9 à 15	7 à 9	10 à 14

#### REPARTITION DE L'ENGRAIS A LA SUITE D'UNE PULVERISATION ET INFLUENCE DE L'AGE DES PLANTS

##### Expérimentation.

Toutes les parties du sol situées autour de pieds d'ananas, de différents âges, pouvant recevoir de la solution au cours d'une pulvérisation d'engrais, sont recouvertes de feuilles de papier buvard qui ont été pesées et sont isolées du sol par un film plastique. Après la pulvérisation de 80 millilitres de solution d'engrais, ces feuilles sont pesées de nouveau. La différence de poids donne la part de solution directement arrivée au sol, donc celle retenue par la plante.

##### Discussion

Plus la masse végétale est importante, plus la part de solution directement en contact avec les feuilles est élevée. La fraction tombant sur le sol est d'autant plus grande que les plants sont petits, donc que le système racinaire est moins important, d'où une efficacité relativement faible des pulvérisations, surtout dans des conditions favorables à la lixiviation.

Aux jeunes stades, près du tiers de la solution arrive entre les doubles lignes non explorées par les racines ; cette proportion diminue avec l'âge de la plante. L'expérimentation a été faite avec un pulvérisateur à dos, muni d'une buse de type miroir, localisée à la verticale de la rangée, et donnant un jet plan couvrant bien les deux lignes d'ananas. C'est le matériel utilisé par l'IRFA dans les essais agronomiques.

Mais dans les exploitations pratiquant la pulvérisation mécanisée, la solution est encore moins localisée sur les plants et la proportion d'engrais allant directement au sol est certainement plus élevée, en particulier dans les doubles lignes.

En pulvérisant des solutions colorées (au bleu de méthylène ou au rouge neutre ou au rouge de méthyle), on observe que :

- la solution recueillie provenant du débordement de l'entonnoir constitué par les feuilles n'est pas colorée ; il y a eu déplacement de la solution déjà retenue ; dans tous

les cas, ce déplacement est faible ;

- la répartition sur les jeunes plants est uniforme : tout le feuillage est mouillé sur les deux faces ;
- la feuille est colorée, sur 4 à 6 cm, dans la zone de transition entre la base et la partie verte par pénétration du colorant dans les tissus. Cette coloration est plus intense sur la face inférieure que sur la face supérieure des jeunes feuilles (absorption plus active ?), alors qu'elle est identique sur les deux faces des feuilles âgées.
- les poils absorbants des racines («aériennes» ou «souterraines» - si de la solution est allée au sol - sont également colorés ; il y a donc bien une absorption racinaire. Toutefois les solutions de colorants ont très certainement un comportement différent de celles d'engrais.

#### DETERMINATION DES ZONES ACTIVES D'ABSORPTION FOLIAIRE ET INFLUENCE DE L'AGE DES FEUILLES

##### Expérimentation.

Avec l'urée enrichie à 10,5 p. 100 de 15 N (concentration : 1,875 g d'urée/100 ml)

Sur des feuilles en place de différents âges (B-C-D-E), la solution est badigeonnée soit sur la face supérieure verte, soit sur la face inférieure verte, soit sur la base blanche, soit sur la zone intermédiaire entre base et partie franchement verte.

Après 24 heures, les feuilles entières sont détachées, lavées et préparées pour l'analyse.

Avec le sulfate d'ammoniaque enrichi à 10,1 p. 100 de 15 N (concentration : 4,163 g de sulfate d'ammonium/100 ml).

Même expérimentation que ci-dessus, mais sur des feuilles détachées du plant avant le traitement.

La teneur en azote total des échantillons est déterminée par dosage titrimétrique direct de l'ammoniaque recueilli

dans de l'acide sulfurique (0,1 N) à la suite d'une distillation par entraînement à la vapeur après une minéralisation de type Kjeldahl. Le distillat est concentré afin d'obtenir du sulfate d'ammonium cristallisé. Les dosages de la dilution isotopique de l'azote sont alors faits selon la méthode décrite par BREMNER (2) sur un spectromètre de masse Varian GD 150 au laboratoire inter-instituts du GERDAT à Montpellier.

#### Résultats.

Ils sont exprimés dans le tableau 2.

E % = taux d'enrichissement isotopique = taux de 15 N par rapport à l'azote total ; l'abondance isotopique naturelle en 15 N (0,336 p. 100) est déduite.

#### Discussion.

Toutes les feuilles et leurs différentes parties ont une fonction d'absorption.

La face inférieure gris verdâtre est toujours plus efficace que la face supérieure qui ne comporte pas de trichomes et qui est recouverte d'une cuticule épaisse. Cependant, le taux d'absorption par la face supérieure est d'autant plus important que la feuille est jeune (cuticule moins épaisse ?) alors que pour la face inférieure cet effet de l'âge, s'il existe, est moins intense.

Les quantités d'azote apportées par badigeonnage sur les différentes parties de la feuille sont fonction de leur surface. Ces quantités n'ont malheureusement pas pu être mesurées. Pour une même feuille, si la dose apportée à la face supérieure et à la face inférieure est de même ordre, elle est beaucoup plus faible sur la zone intermédiaire et encore plus sur la base (environ 10 à 12 fois moins) car la surface traitée est plus réduite et, dans tous les cas, la feuille entière est analysée. Le taux de marquage déterminé dans ce dernier cas devrait donc être corrigé.

Avec le traitement «urée», les feuilles restaient sur le plant d'ananas pendant 24 heures ; donc une partie de l'azote a pu migrer vers d'autres organes et le taux mesuré dans la feuille est affaibli d'autant.

En tenant compte de cette différence, l'urée aura très certainement pénétré en plus grande quantité que le sulfate d'ammonium par la face supérieure. Par contre, pour les autres parties, il n'est pas possible de se prononcer.

La zone intermédiaire des feuilles F, les plus jeunes, donne un taux d'enrichissement très élevé. Ce sont ces feuilles et essentiellement cette zone qui baignent dans la solution du coeur de l'ananas. Il semble que les apports liquides diffusent progressivement de la surface de cette solution vers le fond de l'entonnoir formé par les feuilles (l'expérience avec le bleu de méthylène, exposée au paragraphe précédent, le montre), d'où le rôle important que doit jouer cette zone avec des apports en pulvérisation.

TABLEAU 2 - Enrichissement (E %) des feuilles entières traitées par badigeonnage et quantité d'azote (Q en mg) absorbées par 100 g de matière fraîche à la suite de ce traitement. Influence de la zone d'application de l'engrais.

Type de feuille	Partie de la feuille ayant reçu de l'engrais contenant 15 N	sulfate d'ammonium 10,1 % 15 N		Urée 19,5 % 15 N	
		feuilles détachées du plant		feuilles en place	
		E %	Q mg	E %	Q mg
B	1 - face supérieure verte	0,119	1,3	0,219	2,2
	2 - face inférieure verte	0,834	10,2	0,574	6,1
	3 - zone intermédiaire (2 faces)	0,204	2,3	0,062	0,5
	4 - base blanche (2 faces)	0,254	2,7	0,046	0,5
C	1	0,188	1,8	0,241	2,1
	2	0,864	9,6	0,659	6,3
	3	0,294	2,5	0,110	1,0
	4	0,084	0,9	0,077	0,8
D	1	0,264	2,9	0,434	3,5
	2	0,694	7,0	0,644	5,6
	3	0,274	3,0	0,034	0,3
	4	0,124	1,4	0,064	0,7
E	1	0,538	5,0	0,484	3,7
	2	0,854	9,1	0,754	6,0
	3	0,544	5,0	0,151	1,1
	4	0,484	4,5	0,114	1,3
F	1	0,433	4,3		
	2	0,974	9,8		
	3	3,054	44,6		
	4	0,734	8,3		

APPORTS EN PULVERISATION FOLIAIRE :  
COMPARAISON DE L'UREE ET DU SULFATE  
D'AMMONIUM

Expérimentation.

Pulvérisation foliaire de solution d'urée (1,45 g/plant dans 80 ml d'eau plus 2,5 g K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) enrichie à 10,5 p. 100 de 15 N ou de sulfate d'ammonium (3,17 g/plant dans 80 ml d'eau plus 2,5 g K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) enrichi à 10,1 p. 100 de 15 N; soit un apport de 0,66 g d'azote, dose habituellement employée en pulvérisation foliaire, sur de petits plants de 400 à 800 g, alors qu'environ 50 p. 100 de la solution vont au sol.

Tous les organes sont prélevés 1, 2, 4, 7, 14 ou 28 jours après le traitement. Les différentes catégories de feuilles - A, B, C, D, E, F - sont distinguées. Leurs bases blanches sont séparées des parties vertes et sont réunies en un seul échantillon.

Résultats : tableau 3 et 4 - figure 1.

La masse d'azote provenant de cette pulvérisation et absorbée par un organe est obtenue d'après la formule :

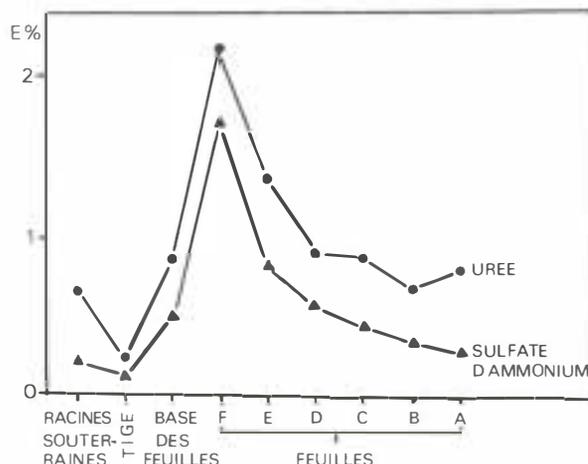


FIG. 1 • TAUX D'ENRICHISSEMENT EN N.15 DES ORGANES, 28 JOURS APRES LA PULVERISATION D'UREE OU DE SULFATE D'AMMONIUM ENRICHI.

TABLEAU 3 - Pulvérisations foliaires d'engrais enrichis en 15 N. Comparaison de l'urée et du sulfate d'ammonium. Taux d'enrichissement en 15 N des différents organes.

	Urée à 10,5 p. 100 15 N échantillonnage après : (jours)						Sulfate d'ammonium à 10,1 p. 100 15 N échantillonnage après : (jours)					
	1	2	4	7	14	28	1	2	4	7	14	28
Partie verte des feuilles												
A	0,62	0,53	0,32	0,56	0,52	0,79	0,40	0,33	0,65	0,23	0,39	0,27
B	0,66	0,64	0,64	0,52	0,59	0,67	0,37	0,29	0,34	0,23	0,45	0,33
C	0,51	0,63	0,82	0,68	0,83	0,87	0,55	0,35	0,53	0,33	0,58	0,44
D	0,77	0,49	0,64	0,45	1,08	0,90	0,79	0,73	0,82	0,59	0,91	0,57
E	1,35	1,23	1,21	1,14	1,42	1,38	0,86	0,95	0,95	0,93	1,34	0,82
F	1,89	2,08	1,69	2,29	2,31	2,18	1,07	1,68	1,56	1,90	2,46	1,72
Base des feuilles	1,38	1,28	1,04	0,95	1,03	0,87	0,98	1,11	0,90	0,95	0,89	0,50
Tige	0,20	0,15	0,15	0,17	0,22	0,23	0,11	0,09	0,10	0,15	0,13	0,13
Racines	0,24	0,22	0,15	0,42	0,45	0,68	0,23	0,20	0,18	0,24	0,24	0,23

TABLEAU 4 - Quantités d'azote absorbées à la suite d'une pulvérisation de 660 mg d'azote.

	après 1 jour	2 jours	4 jours	7 jours	14 jours	28 jours
Urée						
poids frais moyen des plants (g)	627	605	702	598	599	602
quantité de N absorbée (mg)	105,0	94,9	102,9	87,5	109,8	109,7
quantité de N absorbée par 100 g de matière fraîche (mg)	16,8	15,7	14,7	14,6	18,3	18,2
Sulfate d'ammonium						
poids frais moyen des plants (g)	516	596	563	567	582	468
quantité de N absorbée (mg)	69,9	70,7	69,5	63,1	85,2	72,2
quantité de N absorbée par 100 g de matière fraîche (mg)	13,5	11,9	12,3	11,1	14,6	15,5

$$Q(\text{mg}) = \frac{\text{poids sec total de l'organe (mg)}}{100} \times \text{teneur en N total (\% matière sèche)}$$

$$\times \frac{\text{taux d'enrichissement en 15 N de l'échantillon}}{\text{taux d'enrichissement en 15 N de l'engrais}}$$

#### Discussion.

Au moins dans la gamme des poids de plants expérimentés, le taux d'enrichissement est indépendant de ce poids. Mais la quantité d'azote absorbée à la suite de ce traitement en dépend : la surface foliaire est d'autant plus grande que le plant est lourd, donc la quantité d'azote en contact est plus importante et une plus faible quantité de solution va au sol directement.

Dans l'ensemble, à l'exception des racines, le taux d'enrichissement est plus élevé avec l'urée qu'avec le sulfate ; l'écart est plus important dans les premiers jours et va en décroissant surtout dans les organes les plus jeunes qui sont d'ailleurs les plus actifs et principalement les feuilles F. L'urée pénétrerait donc plus rapidement et en plus grande quantité que le sulfate dans la plante.

Il est possible qu'il y ait un double mouvement pour l'urée et le sulfate d'ammonium : mouvement d'absorption et mouvement d'exsorption. En effet, du 1er au 7ème jour (tableau 4), la quantité d'azote absorbée par 100 g de matière fraîche va en décroissant, comme si l'absorption avait été très élevée dès la pulvérisation et qu'ensuite un mouvement d'exsorption plus important s'était produit. Puis l'absorption de nouveau est plus forte que la possible exsorption aux dates suivantes.

#### *Evolution dans les différents organes.*

Dès le premier jour, une certaine absorption racinaire est mise en évidence ou bien il se produit un mouvement de N des feuilles vers les racines ; les taux d'enrichissement de celles-ci se maintiennent ensuite avec le sulfate d'ammonium, alors qu'ils augmentent avec l'urée, comme si l'urée arrivée au sol était plus facilement absorbée ou bien que le mouvement des parties aériennes vers les racines était plus important.

L'absorption par la tige est certainement très faible, car la solution arrive difficilement à son contact ; le taux de marquage, qui varie peu, traduirait plutôt le transit de l'azote entre organes.

Comme nous l'avons déterminé dans l'expérimentation du rôle des feuilles, leur taux d'enrichissement est d'autant plus important qu'elles sont plus jeunes et c'est avec elles que ce taux augmente le plus avec l'âge.

En fonction du poids de chacune des catégories d'organes et du taux de marquage, ce sont les feuilles E, puis les feuilles C et les bases, qui absorbent les plus grandes quantités d'azote. Celles absorbées par les feuilles F augmentent plus la pulvérisation est ancienne ; à la suite du traitement, il y a un mouvement possible de N absorbé par les vieilles feuilles vers les plus jeunes, mais dans les feuilles A et B les

quantités de N absorbées sont relativement constantes. Ce résultat paraît indiquer une absorption, au niveau des parties aériennes, en deux temps :

- dès la pulvérisation les organes en contact avec la solution en absorbent une partie ;
- la solution restant s'écoule dans le coeur de l'ananas et ce sont les feuilles à son contact qui s'enrichissent (feuilles F en particulier). La richesse des bases de feuilles peut être due soit à leur rôle de lieu de transit des éléments, soit à une absorption à leur niveau.

Le résultat précédent est vérifié : l'urée serait absorbée en plus grande quantité que le sulfate. Cependant, en expérimentation agronomique, ces deux engrais donnent des teneurs foliaires identiques et des rendements voisins. Il est possible que les conditions climatiques influent ainsi que l'âge et la taille des plants.

L'expérimentation a été effectuée en novembre sur de petits plants ; elle devra être poursuivie sur de plus gros plants et dans des conditions climatiques variées. Ainsi, sur ces plants de petite taille, pour 660 mg d'azote apportés par cette pulvérisation, environ 1/6 a été absorbé avec l'urée et pratiquement dans les premières 24 heures. Dans le cas du sulfate d'ammonium, l'absorption paraît un peu moins rapide et surtout moins importante puisque environ 1/8 a été absorbé. La moitié environ de l'azote pulvérisé arrive au sol (tableau 1) ; la fraction réellement mise à la disposition de la plante est donc plus faible que les 660 mg apportés. En saison plus humide, il est possible que l'effet ne soit pas le même.

#### APPORTS SOLIDES A L'AISSSELLE DES FEUILLES B : COMPARAISON UREE ET SULFATE D'AMMONIUM

##### Expérimentation.

Les mêmes quantités d'urée et de sulfate d'ammonium ont été apportées avec un taux d'enrichissement identique, mais sous forme solide à l'aisselle des feuilles B et sur des plants de 1.200 à 2.500 g.

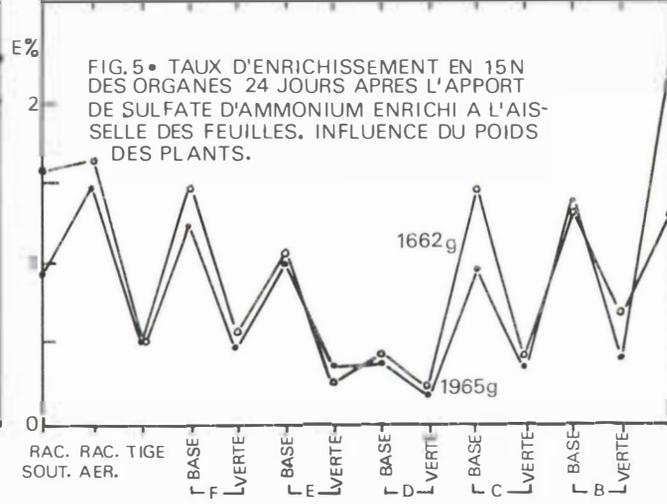
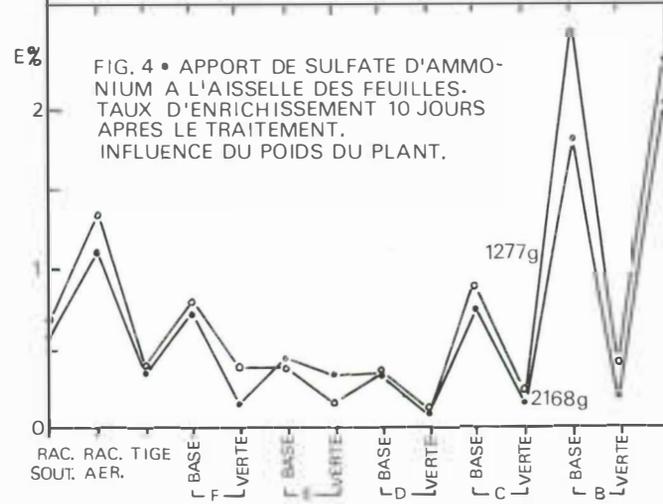
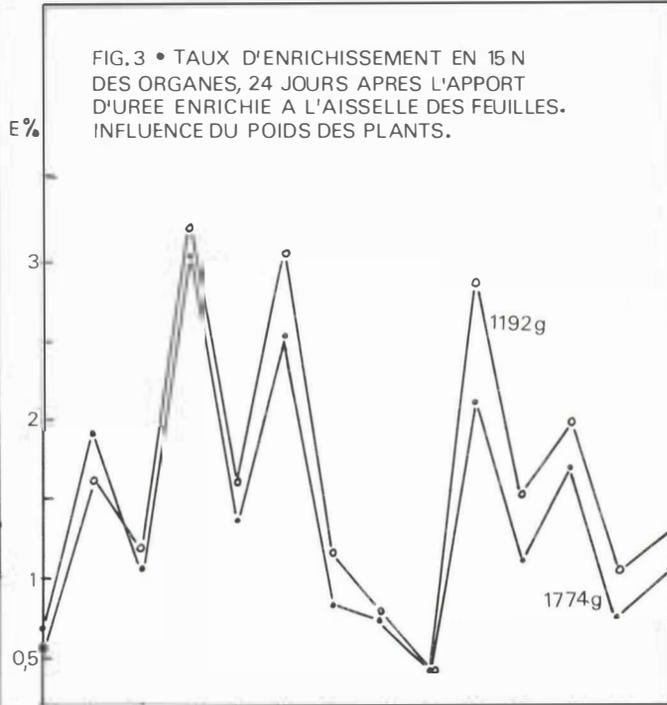
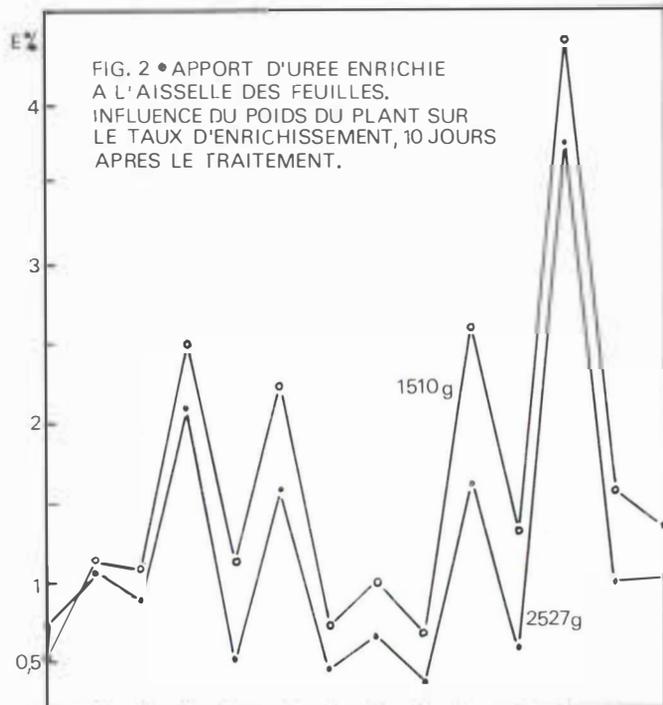
10 et 24 jours après l'apport, un échantillonnage total de plants a été effectué.

Résultats : tableaux 5 et 6 - figures 2 - 3 - 4 - 5.

##### Discussion.

Le taux d'enrichissement est d'autant plus élevé que le poids du plant est plus faible. Ce résultat fait penser à un effet de dilution : une même quantité d'azote étant mise à la disposition de plants de poids différents, la teneur est d'autant plus forte que la masse végétale contenant cet azote est faible.

Cependant, la quantité totale d'azote absorbée à la suite de ce traitement (tableau 6) est plus importante quand le plant est plus lourd. Mais proportionnellement l'absorption a été la plus importante dans les plants les moins développés.



Ainsi, par exemple, pour l'urée après 10 jours : 13,4 mg d'azote ont été absorbés dans 100 g d'un plant de 2.527 g, contre 20,9 mg dans un plant de 1.510 g.

Les quantités d'azote absorbées sont plus importantes que dans le cas de la pulvérisation foliaire, mais dans des plants plus lourds ; ramené en p. 100 de masse fraîche (comparer les tableaux 4 et 6), le taux d'absorption de l'azote est sensiblement le même pour l'urée, alors que pour le sulfate d'ammonium il est encore plus faible qu'en pulvérisation (50 p. 100 de l'azote apporté par l'urée sont absorbés et environ 1/5 dans le cas du sulfate). On retrouve donc cette constante d'une meilleure absorption de l'urée que du sulfate d'ammonium dans les conditions de l'expérience.

La pulvérisation foliaire de sulfate d'ammonium fait apparaître des niveaux foliaires en azote total plus élevés (3,4) et un taux d'absorption de l'azote plus fort (comparer les tableaux 3 et 5) que l'apport à l'aisselle des feuilles. Ces résultats paraissent logiques puisque la totalité des feuilles est en contact avec la solution, alors que seules les bases des feuilles les plus âgées et quelques racines aériennes paraissent assurer l'absorption de l'engrais apporté par voie solide. Mais les essais agronomiques ont montré que ce dernier mode donnait les meilleurs rendements (3, 4). On pourrait donc supposer que la pulvérisation provoque un certain excès d'azote ou que l'azote absorbé n'est pas utile en totalité ?

TABLEAU 5 - Taux d'enrichissement en 15 N des différents organes après apport solide à l'aisselle des feuilles d'urée ou de sulfate d'ammonium.

	Urée (10,5 p. 100 15 N)				Sulfate d'ammonium (10,1 p. 100 15 N)			
	Prélèvement après :				Prélèvement après :			
	10 jours		24 jours		10 jours		24 jours	
	plant de 1.510 g	plant de 2.527 g	plant de 1.192 g	plant de 1.774 g	plant de 1.277 g	plant de 2.168 g	plant de 1.662 g	plant de 1.965 g
Feuilles								
A entière	1,36	1,02	1,32	1,07	2,32	2,14	1,30	2,20
B partie verte	1,58	0,99	1,08	0,78	0,41	0,22	0,70	0,42
base	4,41	3,75	2,00	1,72	2,50	1,81	1,34	1,40
C partie verte	1,32	0,59	1,54	1,13	0,23	0,17	0,43	0,36
base	2,60	1,61	2,87	2,12	0,89	0,76	1,48	0,97
D partie verte	0,67	0,37	0,44	0,44	0,12	0,10	0,23	0,19
base	1,00	0,65	0,80	0,75	0,35	0,35	0,43	0,39
E partie verte	0,71	0,45	1,18	0,84	0,17	0,34	0,26	0,34
base	2,23	1,59	3,05	2,52	0,39	0,43	1,06	1,01
F partie verte	1,13	0,51	1,62	1,36	0,38	0,14	0,56	0,48
base	2,50	2,09	3,20	3,03	0,80	0,72	1,48	1,24
Tige	1,09	0,89	1,19	1,06	0,39	0,36	0,50	0,50
Racines aériennes	1,13	1,07	1,63	1,92	1,35	1,10	1,65	1,49
Racines souterraines	0,51	0,72	0,58	0,70	0,66	0,58	1,57	0,94

TABLEAU 6 - Quantité d'azote absorbée par un plant d'ananas à la suite d'un apport d'azote (0,660 g) à l'aisselle des feuilles.

	poids du plant (g)	quantité de N absorbée (mg)	quantité de N (mg) absorbée par 100 g de matière fraîche	
Urée	après 10 jours			
		1.510	315,2	20,9
		2.527	339,6	13,4
	après 24 jours			
	1.191	208,9	17,5	
	1.774	274,0	15,5	
sulfate d'ammonium	après 10 jours			
		1.277	107,4	8,4
		2.168	119,4	5,5
	après 24 jours			
	1.662	129,4	7,8	
	1.965	137,3	7,0	

*Répartition de l'azote dans la plante.*

Elle est très normalement différente de celle obtenue par pulvérisation (comparer les graphiques 1-2-3-4-5). Ce sont dans les bases des feuilles que les taux sont les plus élevés.

Après 10 jours, il y a eu une migration de cet azote vers les parties vertes. Ces taux vont en décroissant des feuilles B, à la base desquelles l'azote a été apporté, aux feuilles D pour augmenter ensuite des feuilles D aux feuilles E et F. Il y a une migration possible de l'azote absorbé dans les organes, à moins que l'engrais ne soit mis en solution et ne diffuse dans le cœur de la plante où il est alors absorbé. Toutefois cette deuxième hypothèse ne paraît guère possible car,

en général, on ne trouve que très peu de liquide à la base des vieilles feuilles ; il y a plutôt de la terre humide.

Les teneurs en azote total des parties vertes des feuilles vont en décroissant des feuilles B aux feuilles F, 10 jours après le traitement, et elles sont égales avec l'urée et le sulfate. A l'opposé, les bases sont d'autant plus riches que les feuilles sont jeunes. Après 24 jours, les bases conservent le même caractère, mais à des niveaux d'azote total nettement plus faibles. Dans les parties vertes, les feuilles C se sont enrichies par rapport aux feuilles B en N total et en 15 N. Mais ce sont surtout les taux de 15 N des feuilles E et F qui s'accroissent : il y a donc afflux important d'azote des vieilles feuilles vers les jeunes feuilles, en relation avec l'apport datant de 24 jours.

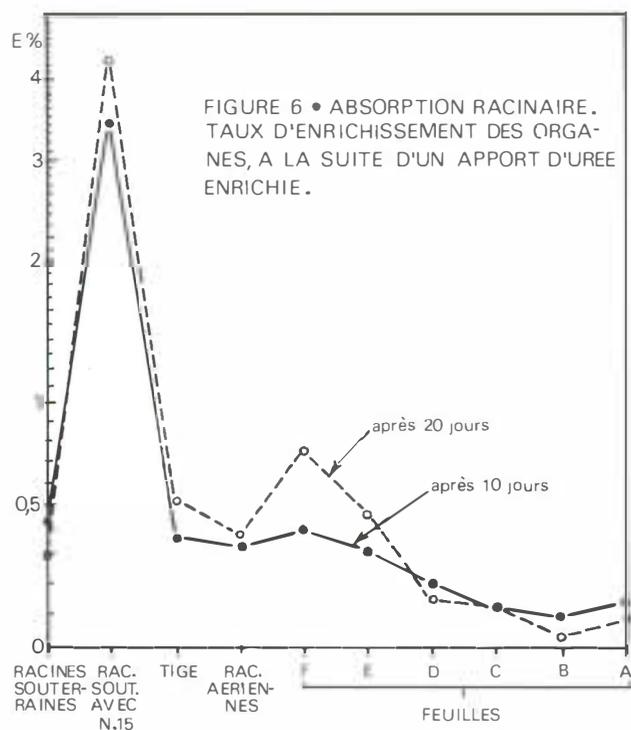


FIGURE 6 • ABSORPTION RACINAIRE. TAUX D'ENRICHISSEMENT DES ORGANES, A LA SUITE D'UN APPORT D'UREE ENRICHIE.

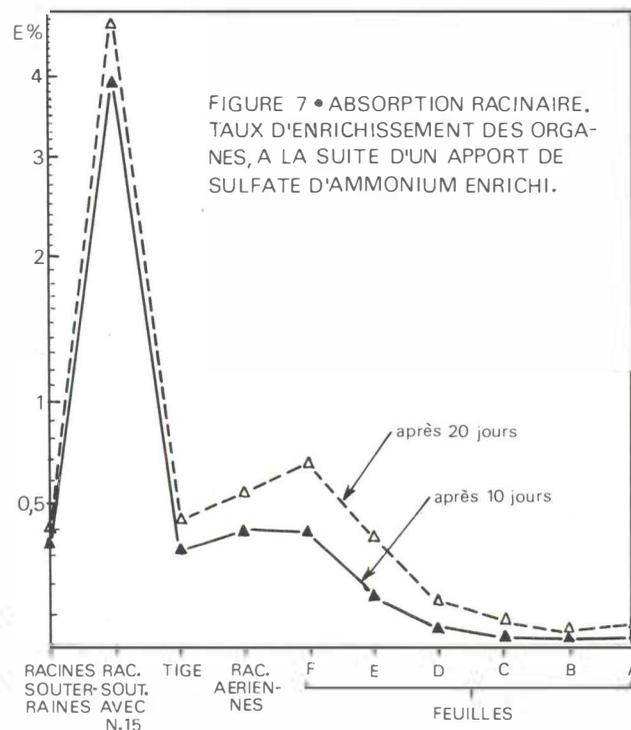


FIGURE 7 • ABSORPTION RACINAIRE. TAUX D'ENRICHISSEMENT DES ORGANES, A LA SUITE D'UN APPORT DE SULFATE D'AMMONIUM ENRICHIE.

TABLEAU 7 - Taux d'enrichissement en 15 N des organes de l'ananas dont une partie des racines est mise en contact avec une solution d'engrais enrichi.

	urée (10,5 p. 100 15 N)		sulfate d'ammonium (10,1 p. 100 15 N)	
	après 10 jours	après 20 jours	après 10 jours	après 20 jours
feuilles entières				
A	0,122	0,070	0,018	0,050
B	0,088	0,022	0,015	0,035
C	0,112	0,109	0,021	0,069
D	0,197	0,149	0,051	0,132
E	0,303	0,457	0,155	0,361
F	0,388	0,744	0,376	0,664
tige	0,365	0,510	0,310	0,438
racines aériennes	0,326	0,375	0,396	0,544
racines souterraines	0,427	0,299	0,340	0,332
racines souterraines en contact avec 15 N	3,430	4,260	3,890	4,790

Ainsi, la feuille au stade D à 24 jours était très certainement au stade E à 10 jours ; or elle s'est nettement appauvrie (comparer le taux d'enrichissement des feuilles D à 24 jours et des feuilles E à 10 jours). En même temps, il y a appauvrissement des bases des feuilles B en N total et 15 N ; il y aurait déplacement de l'azote en réserve avant cet apport et aussi de celui absorbé à la suite de ce traitement ?

L'appauvrissement en azote total des bases des feuilles E et F et leur enrichissement en 15 N semblent indiquer une

mobilisation de l'azote qu'elles avaient en réserve avant l'apport d'engrais contenant du 15 N, probablement vers les parties vertes, et une «entrée» de l'azote absorbé par les bases des feuilles B et C à la suite de l'apport d'engrais isotopiquement enrichi.

Entre les deux dates, les tiges, lieu de transit mais aussi de possible absorption, maintiennent leur taux d'enrichissement, supérieur à celui déterminé avec la pulvérisation.

TABLEAU 8 - Quantités d'azote absorbées à la suite d'un apport d'azote (0,660 g) par voie racinaire

	poids du plant (g)	masse d'azote absorbée à la suite du traitement (mg)	quantité d'azote absorbée par 100 g de matière fraîche (mg)
urée			
après 10 jours	2.423	49,6	2,1
après 20 jours	2.877	75,3	2,6
sulfate d'ammonium			
après 10 jours	2.944	44,0	1,5
après 20 jours	2.912	74,3	2,6

L'enrichissement des racines plus important avec le sulfate d'ammonium qu'avec l'urée pourrait indiquer un retour au sol et une absorption plus élevée ou une migration plus importante de l'azote vers ces racines avec le sulfate.

#### ABSORPTION PAR LES RACINES DU SOL

##### Expérimentation.

Dans une première étape, on voulait déterminer les capacités d'absorption des racines. Aussi une solution d'urée ou de sulfate d'ammonium enrichie en 15 N, et aux mêmes concentrations que précédemment, a été mise dans un tube où des racines du sol ont été introduites. Les essais avec apport direct d'engrais solide au sol seront réalisés ultérieurement.

Cette expérimentation a été effectuée quatre mois plus tard que les autres, en fin de saison sèche.

Après 10 et 20 jours, les différents organes ont été séparés puis analysés.

Résultats : tableaux 7 et 8, figures 6 et 7.

##### Discussion.

Il n'est pas possible de comparer les quantités absorbées avec celles qui l'ont été après une pulvérisation ou un apport à l'aisselle des feuilles. En effet, la proportion de racines mises en contact avec la solution varie entre 10 et 35 p. 100 de la masse totale des racines.

Là encore, le taux d'enrichissement des organes est nettement supérieur avec l'urée.

Pour l'urée, dans les feuilles les plus vieilles, le taux d'enrichissement tend à diminuer entre 10 et 20 jours, alors que les feuilles en voie de croissance s'enrichissent, comme si là encore, une part importante de l'azote avait déjà été absorbée après 10 jours et qu'ensuite il y ait eu migration dans les organes. A l'opposé, dans le cas du sulfate d'ammonium, tous les organes s'enrichissent entre 10 et 20 jours.

Ainsi entre les deux prélèvements, pour 100 g de masse fraîche, l'absorption d'azote a beaucoup plus augmenté avec le sulfate que l'urée ; pour cette dernière, il est certain qu'il y a encore une absorption, mais la migration des feuilles

anciennes vers les organes les plus jeunes serait supérieure à la fourniture par les racines ?

Comme pour les traitements précédents (pulvérisation ou apport à l'aisselle des feuilles), les feuilles les plus jeunes sont toujours les plus riches en 15 N. Il y a donc mouvement préférentiel de l'azote vers ces organes en voie de croissance. Il y a également un déplacement important d'azote dans les racines, puisque celles non trempées dans la solution ont un taux d'enrichissement relativement élevé, toujours supérieur à celui des feuilles E.

#### CONCLUSION

Quel qu'ait été le mode d'apport, le sulfate d'ammonium est moins bien absorbé que l'urée. Les traitements ont été effectués à différentes périodes climatiques :

- pulvérisation en novembre, en période plus fraîche et plus humide,
- apports solides en janvier, en période chaude et sèche,
- apports aux racines en avril, en période chaude et sèche également,

et les poids des plants ne sont pas comparables d'une série de traitements à l'autre. Une vérification est donc nécessaire avec des traitements appliqués à une même époque sur des plants identiques.

Au champ, cependant, le sulfate d'ammonium en apports solides donne habituellement des rendements égaux sinon supérieurs à l'urée et les teneurs foliaires sont souvent de même ordre, parfois inférieures avec le sulfate d'ammonium mais dans des organes plus lourds ; les quantités d'azote absorbées sont alors du même ordre pour la totalité du cycle.

Ces résultats apparemment contradictoires peuvent faire penser que l'urée est rapidement absorbée, ces expériences avec 15 N tendent à le prouver, mais qu'une partie pourrait être ensuite exsorbée. En outre, ce n'est pas parce qu'un élément est absorbé qu'il sera nécessairement utile en totalité. L'étude des formes de l'azote dans les différents organes après un apport d'engrais enrichi, devrait donner des indications.

L'avantage de l'urée est donc de limiter les risques de lixiviation puisqu'elle est très vite absorbée. Par contre, le

sulfate d'ammonium présente l'intérêt d'une absorption progressive, qui répondrait mieux aux besoins de la plante ; de ce fait, il convient aux apports à l'aisselle des feuilles ou au sol couvert de polyéthylène, confirmant donc les résultats obtenus au champ.

Les résultats obtenus chez l'ananas confirment ceux obtenus avec d'autres plantes. L'urée pénètre rapidement sous forme moléculaire dans les tissus. L'ion sulfate pourrait plus ou moins freiner l'absorption de l'azote (1). La pénétration foliaire serait plus importante que l'absorption racinaire (1).

La possible exsorption pourrait être liée aux deux phases généralement admises dans l'absorption des éléments : une phase de pénétration rapide non métabolique dans l'espace libre des tissus végétaux, qui peut être réversible, et une phase métabolique, active, plus lente, irréversible, liée à des phénomènes physico-chimiques (1).

On doit se demander aussi, en liaison avec le faible rapport quantité absorbée/quantité apportée en pulvérisation sur de jeunes plants, si des adaptations des techniques ne permettraient pas des économies d'engrais (volumes de solution moins importants, quantités d'engrais moins importantes, meilleures localisations de l'engrais ...).

Des expérimentations sont à poursuivre :

1. pour étudier les effets et le rendement des fumures en fin de cycle végétatif,
2. pour étudier l'influence climatique sur l'absorption et l'utilisation de l'azote et chercher à déterminer ainsi les fumures les mieux adaptées à chaque condition,
3. pour connaître les besoins réels aux différents âges et mieux adapter la répartition de la fumure,
4. pour chercher à expliquer les effets des produits phytosanitaires sur la nutrition de la plante,
5. pour déterminer l'origine de l'azote - réserves du sol, organes de la plante - participant à la constitution du fruit.

#### BIBLIOGRAPHIE

1. BEEVERS (L.).  
Nitrogen metabolism in plants. Contemporary biology.  
1976, ouvrage 333 p.
2. BREMNER (J.M.).  
Isotope - Ratio analysis of nitrogen in nitrogen 15 tracer investigations.  
in : *Methods of soil analysis*, part. 2, p. 1256-1286, A.S.A. 1965.
3. LACOEUILHE (J.J.) et GUEROUT (R.).  
Action du nématode *Pratylenchus brachyurus* sur la croissance, la nutrition et les rendements de l'ananas 'Cayenne lisse'.  
Influence de la localisation de la fumure.  
*Fruits*, vol. 31, n° 3, p. 147-156, 1976.
4. LACOEUILHE (J.J.).  
La fumure N-K de l'ananas en Côte d'Ivoire.  
*Fruits*, vol. 33, n° 5, p. 341-348, 1978.

