

Effet de l'épandage de vinasses de distillerie vinicole sur le comportement du maïs et quelques propriétés du sol

M. MENET (1)
M. GODEFERT (2)
J. DELAS (1)
B. VESSOT (2)
C. JUSTE (1)

RÉSUMÉ

L'effet de cinq épandages annuels de vinasses de distillerie de Cognac sur le comportement du maïs et quelques caractéristiques d'un sol de rendzine a été étudié dans un essai de plein champ.

Les deux doses de vinasses expérimentées (au total 102 et 204 mm en 5 ans) exercent un effet bénéfique sur le rendement d'une culture continue de maïs ; cette action est à attribuer à l'azote du sous-produit, dont la valeur fertilisante est d'environ 45% de celle d'un engrais minéral.

La quasi-totalité du potassium apporté par les deux doses de vinasses se retrouve, en fin d'essai, sous forme échangeable dans le sol. Par contre, seule la dose forte modifie les teneurs en azote (total et minéral) du sol ; l'accroissement du taux d'azote minéral demeure toujours inférieur à celui résultant de l'apport de 100 kg/ha d'azote minéral.

MOTS-CLÉS : vinasse de distillerie vinicole - valorisation des déchets - maïs - azote.

EFFECT OF DISTILLERY WASTE APPLICATIONS ON MAIZE BEHAVIOUR AND SOIL CHARACTERISTICS

The effects of 5 annual applications of distillery wastes from the Cognac area on maize behaviour and characteristics of a calcareous soil were studied in a field experiment.

Table I summarizes the initial soil characteristics. The design of the experiment (4 or 5 randomized replicates) was as follows :

- T_0 : control ;
- T_{100} : low level of mineral nitrogen ;
- T_{200} : high level of mineral nitrogen ;
- V_{30} : low level of distillery wastes ;
- V_{30-100} : low level of both distillery wastes and mineral nitrogen ;
- V_{60} : high level of distillery wastes.

The amounts of distillery wastes and mineral N applied yearly are shown in Table II ; analysis of the distillery wastes and amounts of N, P, K and Mg included in the by-product are shown in Table III.

(1) INRA, Station d'Agronomie, Centre de Recherches de Bordeaux, B.P. 81, 33883 VILLENAVE-D'ORNON CEDEX.

(2) E. REMY MARTIN & Cie, B.P. 37, 16102 COGNAC CEDEX.

The 2 different distillery waste levels (102 and 240 mm during the 5 year-essay) increased yield of a continuous maize crop (Fig. 1, Table V). The increase of by-product nitrogen and resulting increase of N levels in leaves and grain might explain this favourable effect (Tables IV and V, Fig. 2 and 3). Fertilizing value of the distillery wastes was about 45% of a mineral fertilizer (Fig. 4).

Distillery wastes did not affect the soil NO_3 nitrogen content : only the high level (240 mm/5 years) resulted in a mineral N accumulation above the control one, but this accumulation remained lower than observed in plots receiving 100 kg mineral N/year (Fig. 5).

Soil analysis at the end of experiment indicated that potassium brought by distillery wastes remained in an exchangeable form (Table VI).

To summarize, it appeared that distillery waste spraying on calcareous soils is a good valorization of this by-product, with no harmful effect on the environment.

KEY-WORDS : distillery waste - waste valorization - maize - nitrogen.

INTRODUCTION

L'épandage de vinasses de distillerie vinicole sur les terres agricoles pourrait représenter une technique intéressante d'élimination et de valorisation de ce sous-produit qui contient un certain nombre d'éléments fertilisants et de la matière organique. Cependant, la D.B.O. élevée des vinasses (MOURGUES et MAUGENET, 1969), leur teneur en azote et la présence éventuelle de substances phytotoxiques fait redouter des risques de pollution des eaux ou des accidents de végétation.

Il existe très peu d'expériences de moyenne ou longue durée conduites sur le terrain en vue de préciser les effets cumulés de l'apport répété de vinasses sur le comportement de la plante (production et composition minérale) et sur l'évolution des caractéristiques du sol susceptibles d'être modifiées par cette pratique. Les données bibliographiques sont donc rares ou ne concernent pas directement les vinasses de distillerie : le travail de MORISOT (1978) a trait aux boues de vinasses dont il démontre *in vitro* la valeur fertilisante azotée.

Pour combler cette relative carence, nous avons mis en place en 1978, dans le vignoble de Cognac, une expérience sur vigne qui a été poursuivie jusqu'en 1982 (DELAS *et al.*, 1985). Pour l'essentiel, les résultats ont montré que les apports annuels de vinasses aux doses de 6 ou 30 mm sont sans action sur la vigueur et la production de la vigne, ou sur la teneur en azote nitrique du sol, le seul élément de variation introduit par l'application de vinasses étant le potassium qui s'accumule dans le sol et participe à l'alimentation minérale de la vigne.

Parallèlement à l'expérience sur la vigne, un essai d'épandage de vinasses sur culture continue de maïs-grain irrigué a été poursuivi de 1981 à 1986 ; les résultats sont présentés dans cet article.

I. PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

L'essai a été mis en place en 1981 à Juillac-le-Coq (Charente). Les caractéristiques physico-chimiques moyennes initiales du sol de l'essai sont indiquées dans le tableau I.

Il s'agit d'une rendzine grise colluviale, épaisse, développée sur Campanien. Le sol est argileux, très calcaire, bien pourvu en matière organique et de capacité d'échange élevée. Les teneurs en phosphore extractible et en potassium échangeable sont élevées.

Tableau I : Caractéristiques initiales moyennes du sol de la parcelle expérimentale (0-20 cm)
Initial mean characteristics of the experimental soil

Analyse physique (en % de terre fine)		Analyse chimique	
Argile	46,7	Carbone organique	p. mille 22,9
Limon fin	27,0	Azote total	" 2,67
Limon grossier	11,9	Rapport C/N	" 8,57
Sable fin	6,5	CO ₃ Ca total	" 205,0
Sable grossier	7,9	Capacité d'échange de cations	mé % g 28,8
Matière organique ...	3,93	P205, Joret-Hébert	p. mille 0,58
		Potassium échangeable	" 0,557
		Magnésium échangeable	" 0,141

Six traitements ont été comparés :

- T₀ : témoin sans apport ;
- T₁₀₀ : faible dose d'azote minéral ;
- T₂₀₀ : forte dose d'azote minéral ;
- V₃₀ : faible dose de vinasses ;
- V₃₀₋₁₀₀ : faibles doses de vinasses et d'azote minéral ;
- V₆₀ : forte dose de vinasses.

Compte tenu des premiers résultats, les doses d'apport (azote et vinasses), inspirées en début d'essai de celles retenues dans l'essai vigne (DELAS *et al.*, 1985), ont été accrues à partir de 1983. Nous avons indiqué dans le Tableau II les quantités de vinasses et d'azote épandues de 1981 à 1986 (afin d'évaluer un éventuel arrière-effet des 5 épandages précédents, il n'y a pas eu d'apport de vinasses en 1986).

Tableau II - Quantités de vinasses de distillerie (en mm) et d'azote minéral (en kg/ha) apportées chaque année dans les différents traitements.

Distillery wastes (mm) and mineral nitrogen (kg/ha) supplied yearly by the different treatments

Traitements	1981		1982		1983		1984		1985		1986*	
	Vin.	N	Vin.	N	Vin.	N	Vin.	N	Vin.	N	Vin.	N
T ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T ₁₀₀	0	130	0	160	0	100	0	100	0	100	0	100
T ₂₀₀	0	130	0	160	0	200	0	200	0	200	0	200
V ₃₀	6	0	6	0	30	0	30	0	30	0	0	0
V ₃₀₋₁₀₀	6	130	6	160	30	100	30	100	30	100	0	100
V ₆₀	30	0	30	0	60	0	60	0	60	0	0	0

* Etude de l'arrière-effet des épandages de vinasses.

Compte tenu de la richesse initiale des sols, les apports de P₂O₅ et K₂O ont été limités aux quantités suivantes :

- P₂O₅ : 115 kg/ha dans les traitements T₁₀₀, T₂₀₀ et V₃₀₋₁₀₀ en 1981 ;
100 kg/ha dans tous les traitements en 1985 et 1986.

– K_2O : 75 kg/ha dans les traitements T_{100} , T_{200} et V_{30-100} en 1981 ;
50 kg/ha dans tous les traitements en 1985.

Le dispositif expérimental a été établi en tenant compte de la nécessité d'épandre les vinasses par aspersion (sprinklers) : les apports d'éléments minéraux ont été réalisés perpendiculairement aux bandes correspondant aux épandages de vinasses. Cette contrainte nous a conduits à individualiser un nombre de parcelles élémentaires (39) supérieur aux besoins du protocole expérimental (6 traitements répétés 4 fois en 1981 et 1982 et 5 fois par la suite). Les parcelles en surnombre ont été, soit cultivées en maïs mais non contrôlées, soit maintenues sans végétation pour le suivi de l'évolution de l'azote nitrique dans le sol.

Les vinasses utilisées provenaient d'une distillerie de Cognac et étaient stockées sur la propriété dans une cuve ; elles ont été épandues par aspersion au mois de février ou de mars. Dans le Tableau III, nous avons indiqué la composition moyenne des vinasses utilisées de 1981 à 1985 (établie à partir des analyses réalisées avant chaque épandage) ainsi que les quantités totales de N, P et K ainsi apportées.

Tableau III - Composition moyenne des vinasses utilisées et quantités totales d'éléments minéraux apportées par le sous-produit de 1981 à 1985

Mean composition of the supplied distillery wastes and total N, P, K and Mg amounts brought by the distillery wastes

Eléments	Composition des vinasses (en mg/l)	Apports par les vinasses (en kg/ha)	
		Traitement V30 (102 mm de vinasses)	Traitement V60 (240 mm de vinasses)
N	414	422	994
P	85	87	204
K	1 063	1 084	2 551
Mg	76	78	182

A l'examen des Tableaux II et III, on peut remarquer que les quantités totales d'azote apportées sont assez voisines dans le cas des traitements T_{100} et V_{30} d'une part, dans celui des traitements T_{200} et V_{60} d'autre part.

Nous avons utilisé la variété de maïs STAR 304 en 1981 et la variété DEA par la suite ; la densité a varié selon les années entre 75 000 et 85 000 pieds/ha. Une irrigation d'appoint (80 mm/an au maximum) a été réalisée si nécessaire. La superficie des parcelles était comprise entre 153 et 255 m². Les contrôles de récolte ont été réalisés, pour chaque parcelle, sur 28 m linéaires de maïs, soit une surface de 22,4 m².

Les déterminations ont concerné :

● **pour le maïs**

– le poids de la feuille de l'épi au stade 50% floraison mâle ; pour chaque parcelle élémentaire, ce poids représente la moyenne de 20 pesées (prélèvement au hasard) ;

- les teneurs en azote de cette feuille (méthode Kjeldhal, déterminations réalisées par le Laboratoire d'analyses végétales de Pont-de-la-Maye) ;
- le rendement et la teneur en azote du grain.

En plus de l'analyse statistique des résultats annuels, nous avons procédé à des analyses pluriannuelles à partir des données de chaque parcelle élémentaire (analyse de variance et test de la plus petite différence significative).

● pour le sol

- l'évolution mensuelle (mai à novembre) de la teneur en azote nitrique du sol dans les traitements T_0 , T_{100} , V_{30} et V_{60} en 1984, 1985 et 1986 (horizon de surface 0-20 cm). Pour éviter les perturbations dues au maïs, les prélèvements ont été réalisés dans les parcelles hors essai maintenues sans cultures et sans végétation adventice (3 répétitions en 1984, 1985 et 1986) ;
- l'évolution de la composition des sols sous l'influence des traitements (prélèvements en fin d'essai ; les dosages de C organique, N total et K échangeable ont été réalisés par le Laboratoire d'analyses de sols d'Arras).

II. RÉSULTATS

1. Comportement du maïs

Nous insisterons plus particulièrement sur les données recueillies à partir de 1983, date à laquelle les doses d'apport de vinasses ont été accrues.

a) Observations en cours de végétation :

Lors des deux premières années de l'essai (1981-1982), le maïs des parcelles T_0 et V_{30} a extériorisé des signes de carence azotée se manifestant par une teinte légèrement chlorotique et une taille plus basse que le maïs issu des parcelles fertilisées par l'engrais azoté minéral. Les années suivantes, les mêmes symptômes de déficience azotée étaient visibles pour les traitements T_0 et, dans une moindre mesure, pour le traitement V_{30} sans addition d'engrais azoté. Chaque année, le maïs issu des parcelles recevant une fertilisation azotée minérale et la forte dose de vinasses (V_{60}) se singularisait par une teinte verte plus foncée et une taille plus importante.

b) Poids et teneur en azote de la feuille de l'épi :

Nous avons indiqué au Tableau IV les moyennes des données recueillies de 1983 à 1985.

Traitement	Poids (g MF)	Teneur en N (% MS)
T_0	14,13 a	2,60 a
T_{100}	18,75 c	3,65 d
T_{200}	20,65 d	3,87 e
V_{30}	16,20 b	2,85 b
V_{30-100}	20,70 d	3,75 de
V_{60}	17,70 c	3,29 c

Tableau IV :

Poids et teneur en azote de la feuille de l'épi

Ear leaf weight and nitrogen content (1983 to 1985)

(Les valeurs qui ne sont pas suivies de la même lettre diffèrent significativement au seuil de 5%)

Les deux données sont très bien corrélées : le poids de la feuille de l'épi traduit l'effet de l'azote sur le maïs. L'effet de l'épandage annuel de la forte dose de vinasses (V₆₀) est voisin de celui que provoque l'apport de 100 unités/ha d'azote minéral. L'épandage de la dose faible (V₃₀) conduit à des valeurs de masse foliaire et à des teneurs en azote légèrement supérieures à celles obtenues dans le témoin. L'addition de 100 unités/ha à cette dose faible de vinasses (V₃₀₋₁₀₀) a la même efficacité que l'apport de 200 unités/ha d'azote minéral seul.

c) Rendement en grain et teneur en azote du grain :

Nous avons indiqué au Tableau V la moyenne des données recueillies de 1983 à 1985. Sur la Figure 1, nous avons rapporté les rendements annuels moyens observés de 1981 à 1986, exprimés par rapport au témoin (traitement T₀).

Traitement	Rendement (q/ha normes)	Teneur en N (% MS)
T ₀	50,3 a	1,28 a
T ₁₀₀	84,8 cd	1,39 b
T ₂₀₀	94,3 d	1,55 d
V ₃₀	60,9 b	1,31 a
V ₃₀₋₁₀₀	91,5 d	1,47 c
V ₆₀	80,3 c	1,40 b

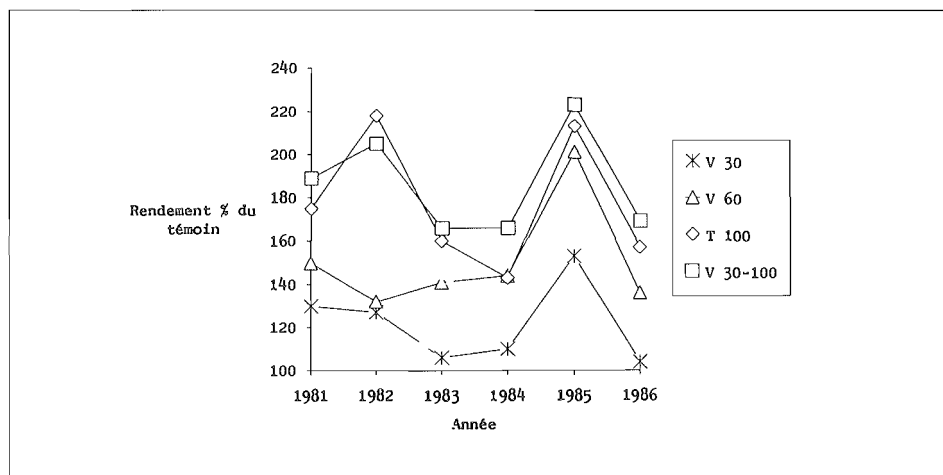
Tableau V :

Rendement en grain
et teneur en azote du grain
*Grain yield and nitrogen
content (1983 to 1985)*

(Les valeurs qui ne sont pas
suivies de la même lettre
diffèrent significativement
au seuil de 5%)

Figure 1- Evolution du rendement en grain exprimé en pour cent du témoin, de 1981 à 1986.
Moyenne des répétitions.

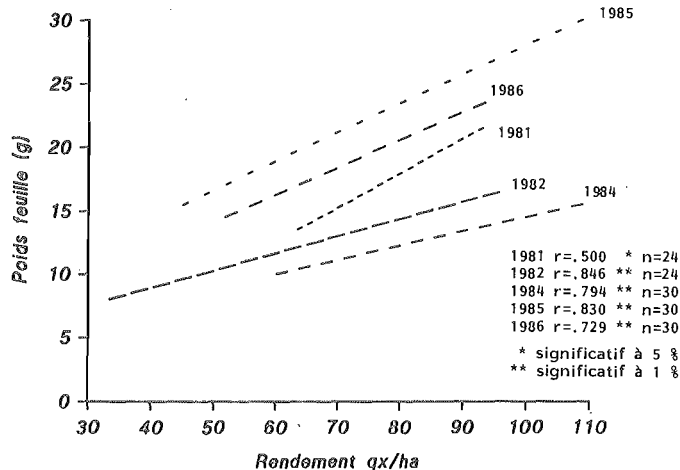
Variation in the grain yield from 1981 to 1986. Mean of replicates.



Ces résultats confirment les données précédentes, les différents paramètres mesurés étant corrélés de façon significative comme l'indiquent la Figure 2 (corrélation rendement en grain - poids de la feuille de l'épi) et la Figure 3 (corrélation teneur en azote de la feuille de l'épi - teneur en azote du grain).

Figure 2 - Corrélation entre le poids de la feuille de l'épi et le rendement en grain.

Correlation between the ear leaf weight and the grain yield.



L'ensemble des données mesurées conduit à conclure à une plus grande efficacité des apports d'azote minéral (traitements T₁₀₀ et T₂₀₀) par rapport à l'azote des vinasses. En l'absence de complément d'azote minéral, la faible dose de vinasses (V₃₀) a un effet très inférieur à celui de l'épandage de 100 unités d'azote minéral. Seule la forte dose de vinasses (V₆₀) permet d'atteindre des résultats comparables à ceux de l'incorporation de 100 unités d'azote minéral.

Pour apprécier l'efficacité de l'azote des vinasses, nous avons comparé graphiquement pour la période 1981-1985 les rendements obtenus avec une fumure strictement minérale (traitements T₁₀₀ et T₂₀₀) et ceux obtenus avec les vinasses (traitements V₃₀ et V₆₀), rendements exprimés dans les deux cas en pour cent du témoin (Fig. 4). Dans l'intervalle étudié (400 à 1 000 kg/ha de N en 5 ans), l'efficacité de l'azote des vinasses, traduite par l'écart moyen entre les deux courbes, est de l'ordre de 45% de celle de l'azote de l'engrais minéral.

d) Arrière-effet des vinasses :

L'examen des données résumées dans la Figure 1 montre qu'en l'absence d'apport de vinasses en 1986, les résultats culturaux sont cette année-là tout à fait comparables à ceux des années précédentes : il y a donc un arrière-effet de l'azote contenu dans les vinasses, en particulier pour la forte dose (V₆₀).

2. Evolution des sols

a) Evolution de l'azote nitrique :

Les résultats obtenus en 1984, 1985 et 1986 dans les parcelles maintenues sans végétation sont indiqués dans la Figure 5.

Figure 3 - Corrélation entre la teneur en azote de la feuille de l'épi et la teneur en azote du grain.

Correlation between nitrogen content of the ear leaf and of the grain.

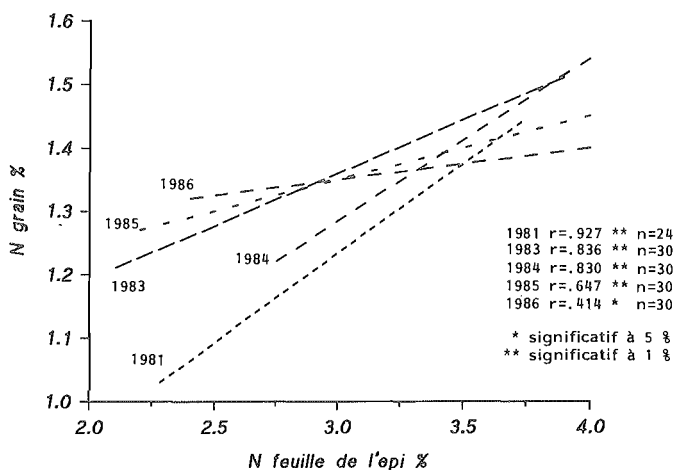


Figure 4 - Efficacité comparée de l'azote des vinasses et de l'azote de l'engrais minéral.

Moyenne 1981-1985.

Comparison of the efficiency of nitrogen from distillery wastes and from mineral fertilizer.
1981-1985 mean.

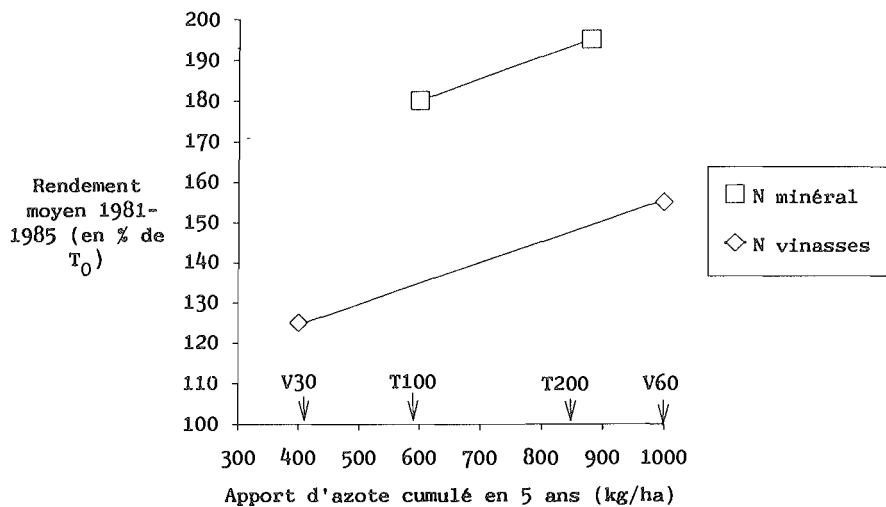
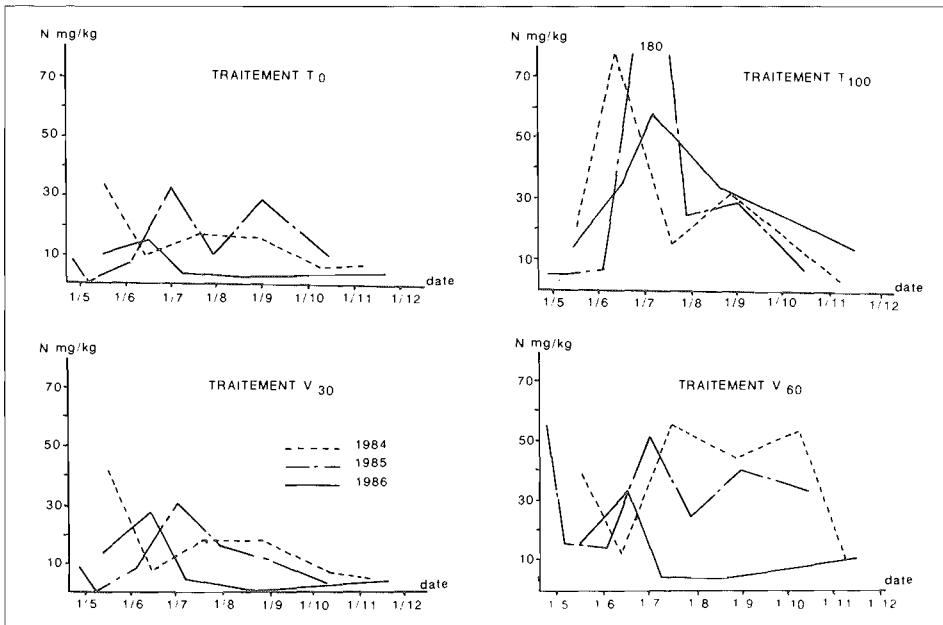


Figure 5 - Evolution de l'azote nitrique du sol en 1984, 1985 et 1986 dans les parcelles maintenues sans végétation (0-20 cm). Moyenne des répétitions.

Variation in soil nitric nitrogen level (1984, 1985, 1986) (0-20 cm). Mean of replicates.



La teneur en nitrate dans les 20 premiers centimètres est nettement accrue par la fumure azotée minérale (100 kg/ha N : T₁₀₀). Les concentrations maximales sont observées en début d'été (80 à 180 mg d'azote nitrique par kg de terre selon les années, soit environ 240 à 540 kg/ha) et dépassent nettement les quantités apportées : il y a vraisemblablement stimulation de la minéralisation par apport d'engrais azoté (CHABANNES et BARBIER, 1967 ; DELAS et MOLOT, 1971). Les quantités de nitrate libérées par l'épandage de vinasses sont beaucoup plus faibles : dans le cas de la dose faible (V₃₀), elles sont du même ordre de grandeur que dans les parcelles témoins (T₀) où elles atteignent au maximum 90 à 100 kg N/ha ; ce n'est que pour la forte dose de vinasses (V₆₀) que l'on observe des productions d'azote minéral supérieures à celles des parcelles témoins (maximum variant, selon les années, de 110 à 170 kg N/ha). En 1986, en l'absence d'épandage de vinasses, on note une apparition d'azote minéral en juin, rapidement suivie d'une chute brutale des teneurs en périodes estivale et automnale.

Ces résultats expliquent en partie les différences d'efficacité entre l'azote minéral et celui des vinasses signalées précédemment.

b) Evolution de quelques caractéristiques chimiques :

Pour mettre en évidence l'effet des vinasses sur la composition du sol, nous avons comparé, en fin d'essai (juin 1986, soit plus d'un an après le dernier épandage), les caractéristiques des parcelles ayant reçu ou non l'effluent (T₀, V₃₀, V₆₀). Les résultats sont indiqués dans le Tableau VI.

Le traitement V₃₀ (apport de 102 mm de vinasses en 5 ans) ne modifie pas de façon perceptible les teneurs en carbone et azote des 50 premiers centimètres du sol. Dans le cas de la dose V₆₀ (240 mm de vinasses en 5 ans), on note un enrichissement du sol en azote total, mais celui-ci n'est significatif que pour les 20 premiers centimètres. Par contre, l'enrichissement en potassium provoqué par les vinasses correspond approximativement à l'apport par le sous-produit, pour le traitement V₃₀ comme pour V₆₀.

Tableau VI - Résultats d'analyse des sols prélevés en fin d'essai - Moyenne des répétitions
Analysis of the soil sampled at the end of experiment - Mean of replicates

Horizon (cm)	C organique %		N total p. mille		K échangeable p. mille	
	0-20	30-50	0-20	30-50	0-20	30-50
Traitement : T ₀	2,14	2,05	2,42 a	2,32	0,481 a	0,499 a
V ₃₀	2,10	1,76	2,40 a	2,02	0,718 a	0,639 a
V ₆₀	2,36	2,12	2,80 b	2,49	1,048 b	0,874 b
	N.S.	N.S.		N.S.		

Les valeurs qui ne sont pas suivies de la même lettre diffèrent significativement au seuil de 5%

CONCLUSION

Au terme de six années d'expérimentation, il apparaît que l'application annuelle de vinasses de distillerie de Cognac à un sol argilo-calcaire des Charentes exerce un effet bénéfique sur le rendement d'une culture continue de maïs irrigué. Cet effet est à attribuer à l'azote du sous-produit, dont la valeur fertilisante peut être estimée à 45% de celle d'un engrais azoté minéral.

L'effet des vinasses sur quelques caractéristiques importantes du sol dépend de la dose apportée. Si les teneurs en azote total et matière organique ne sont pas modifiées au terme de l'essai par l'épandage, en cinq ans, d'une quantité totale de vinasses de 102 mm, ces teneurs sont accrues dans l'horizon de surface quand l'épandage cumulé est de 240 mm. Pour les deux doses, la quasi-totalité du potassium apporté par le sous-produit est retrouvée sous forme échangeable.

Le suivi mensuel de l'azote nitrique du sol ne permet pas de faire apparaître de différence mesurable entre les parcelles témoins et celles qui ont reçu au total 102 mm de vinasses en cinq ans. Seules les parcelles ayant reçu pendant la même période 240 mm de vinasses donnent lieu à une accumulation d'azote minéral supérieure à celle observée dans les parcelles témoins ; cette accumulation demeure cependant toujours très largement inférieure à celle enregistrée en début d'été dans les parcelles fertilisées par un apport de 100 kg d'azote minéral.

L'ensemble des données recueillies sur le maïs doivent être rapprochées de celles obtenues précédemment sur vigne dans des conditions pédoclimatiques très voisines (DELAS *et al.*, 1985).

Dans le cas de la vigne, l'étude a pris en compte la dose de vinasses autorisée (6 mm/an) et une dose cinq fois plus forte : les quantités totales épandues en cinq ans ont été de 30 et 150 mm. Dans ces conditions, aucun effet des vinasses n'a été observé sur la vigueur ou la production de la vigne. Les vinasses ont accru la teneur en potassium des organes foliaires de la vigne, mais n'ont pas modifié leur teneur en azote.

Les différences d'effet des vinasses sur la vigne et sur le maïs doivent être attribuées en premier lieu aux différences entre les quantités épandues dans les deux essais (en cinq ans, 30 et 150 mm pour la vigne et 102 et 240 mm pour le maïs) ; d'autres facteurs ont probablement joué un rôle : les exigences en éléments minéraux des deux plantes ou bien les densités, profondeurs, capacités d'interception de leurs systèmes racinaires (vigne plantée à 3 333 souches/ha, maïs semé à 80 000 pieds/ha).

Au niveau du sol, les résultats des deux essais sont parfaitement concordants, qu'il s'agisse de l'enrichissement en potassium échangeable par les vinasses ou du faible effet de l'effluent sur la teneur en azote nitrique des sols, comparée à celle d'un engrais azoté minéral.

En définitive, il semble qu'en sol de rendzine, l'épandage de vinasses de distillerie vinicole sur les sols en culture permette, à la fois, de valoriser convenablement ce sous-produit sans faire courir de risques à l'environnement et de limiter la fertilisation azotée et potassique minérale des cultures.

La dose d'épandage actuellement autorisée (6 mm/an) peut être conseillée sans réserves et, à ce niveau, l'opération peut être répétée chaque année sans inconvénient. Des études complémentaires, destinées à préciser le devenir de l'azote total apporté par de fortes doses de vinasses (de l'ordre de 30 à 50 mm/an), pourraient s'avérer utiles pour bien confirmer l'inocuité à long terme de ces apports vis-à-vis de l'environnement. A moyen terme, nos résultats démontrent que, dans le cas d'une plante exigeante en azote telle que le maïs, le risque encouru demeure faible et de toute manière inférieur à celui qui résulte de l'emploi de fumures azotées minérales de l'ordre de 100 kg N/ha/an.

Reçu pour publication : Mai 1989

Accepté pour publication : Juillet 1990

BIBLIOGRAPHIE

- CHABANNES J., BARBIER G., 1967. – Stimulation de la minéralisation printanière de l'azote du sol par apport d'azote minéral. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, **53**, 96-102.
- DELAS J., DUREAU P., GODEFERT M., JUSTE C., MENET M., MOLOT C., SOYER J.-P. VESSOT B., 1985. – Effets de l'épandage de vinasses de distillerie sur le comportement de la vigne et les propriétés du sol. *Science du Sol*, **23**, 115-127.
- DELAS J., MOLOT C., 1971. – Stimulation de la minéralisation de l'azote minéral dans un sol de touyas. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, **57**, 502-511.
- MORISOT A., 1978. – Evolution de l'azote minéral après épandage de boues de vinasses de lies. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, **64**, 419-425.
- MOURGUES J., MAUGENET J., 1969. – Evaluation de la charge polluante des eaux résiduaires des distilleries viticoles. *Ann. Technol. Agric.*, **18**, 129-139.

