Utilisation agricole de quelques déchets de distilleries de vins rouges

Alain MORISOT

avec la collaboration technique de Irène AGIUS, Nicole BALLINO & Jean-Paul TOURNIER

I.N.R.A., Station d'Agronomie, B.P. 2078, F-06606 Antibes

RÉSUMÉ

Des cultures expérimentales de ray-grass en pots et des tests d'incubation sur l'azote minéral ont permis d'étudier les répercussions agronomiques de l'épandage des déchets suivants de distilleries vinicoles en régions de vins rouges :

— Boues de centrifugation fraîches : les cultures manifestent, pendant le 1^{er} mois après l'épandage, un retard dans leur développement et une diminution de croissance sensibles dès la dose 2 p. 100 de boues. Le lessivage des substrats ne fait qu'accroître cet effet dépressif qui se manifeste alors dès la dose de boues la plus faible (0,5 p. 100). La disparition brutale mais temporaire de l'azote nitrique après l'incorporation de boues fraîches contribue à expliquer cette phytotoxicité.

A partir du 2^e mois après l'apport (dans les conditions de l'essai), la production de matière sèche et les teneurs des parties aériennes en azote, potassium et phosphore augmentent avec la dose de boues fraîches. La valeur fertilisante globale des boues fraîches de centrifugation de vinasses deviendrait alors légèrement inférieure à celle d'un fumier de mouton.

— Boues de centrifugation vieilles : aucune phytotoxicité ne s'est manifestée après l'épandage de ces boues vieilles, même pour la culture qui suit immédiatement leur apport. D'ailleurs, les tests de minéralisation de l'azote confirment que la disparition d'azote nitrique provoquée par l'épandage des boues vieilles est négligeable devant celle qui suit l'enfouissement de boues fraîches.

Pendant les 2 premiers mois, le rendement en matière sèche augmente proportionnellement à la dose de boues (dans la gamme étudiée : 0 à 6 p. 100). Cet effet est comparable à celui du fumier de mouton utilisé. Au 3^e mois, l'influence positive de la boue sur le rendement croît encore et devient significativement supérieure à celle du fumier. La teneur en azote total du feuillage est également augmentée par l'épandage des boues vieilles.

— Composts de marcs vinassés : la production de matière sèche et la teneur en azote total des parties aériennes sont accrues par l'apport de ces composts. On peut attribuer une partie de cet effet fertilisant à la formation d'azote nitrique qui suit l'épandage de ces composts.

Aucune phytotoxicité n'a été mise en évidence dans ces essais avec composts de marcs vinassés.

Les tests d'incubation de l'azote confirment la possibilité d'une libération d'azote nitrique. Le choix des sites et des modalités d'épandage devrait en tenir compte.

Mots clés additionnels : *Epandage, boue résiduaire, centrifugation, marc, vinasse, azote, azote nitrique, phytotoxicité.*

SUMMARY

Agricultural utilization of wastes from red wine distilleries.

The agronomic effects of disposal of wastes from red wines distilleries were studied on experimental crops of rye-grass in pots in the greenhouse and by nitrogen mineralisation trials. With freshly centrifuged sludge from lees washes, plants showed delayed development and lack of growth during the month following disposal (amount of sludge 2 % of soil weight or more). On substrates leached after the mixing of soil and sludge, this lack of growth was even more striking and appeared with amounts as small as 0.5 % sludge. There was a temporary, but rapid, disappearance of nitrate nitrogen present in the soil when sludge was mixed. During the second month (in these experiments) after disposal of fresh sludge, the dry matter yield and the nitrogen, phosphorus and potassium contents of leaves were higher with higher amounts of sludge. The fertilizing value of the fresh sludge was assessed as somewhat lower than that of sheep manure used as a reference. For composted sludge, in contrast, no phytotoxicity was noticed for crops grown after mixing with the soil. Disappearance of nitrate nitrogen was less than for fresh sludge. After 2 months, dry matter yield was proportional to amount of sludge (from 0 to 6 %). This positive effect could be compared with that of the sheep manure used as a reference. During the third month after disposal, the positive effect of the sludge was enhanced significantly above that of the sheep manure. The total nitrogen content of leaves also increased following input of composted sludge.

Dry matter yields and total nitrogen content of leaves were increased by composted marcs enriched with lees washes sludge. Part of the fertilizing effect was due to the nitrate nitrogen mineralised from the compost. No phytotoxicity was seen in crops following disposal of these composted marcs. Nitrogen mineralisation trials confirmed the nitrification of the organic nitrogen present in the marcs.

Disposal of all these sludges on agricultural land can be worthwhile, but it has to be carefully prepared and carried out, by correct choice of location and conditions (pretreatment, amounts of wastes disposed, period, ...).

Additional key words : *Land disposal, centrifuged sludges, marc, lees washes, nitrogen, nitrate nitrogen, phytotoxicity.*

I. INTRODUCTION

La valorisation par l'agriculture des matières organiques et des éléments minéraux rejetés par les industries agricoles et alimentaires fait depuis longtemps l'objet d'études (par exemple, GRAS & MORISOT, 1974 ; MORISOT & GRAS, 1974). Mais ces dernières années, les distilleries en régions de vins rouges ont dû examiner les possibilités d'épandage agricole pour des déchets qui n'avaient jamais été utilisés ainsi parce qu'on craignait des répercussions négatives sur la végétation. Ces craintes étaient étayées par l'observation des conséquences d'apports accidentels de vinasses issues de vins rouges. La phytotoxicité constatée était généralement attribuée à l'abondance des polyphénols (colorants des vins rouges) dans ces effluents (MOURGUES & MAUGENET, 1972 ; VAILLANT, 1974). Elle n'a jamais été signalée dans les études effectuées en région de vins blancs (JUSTE, 1974 ; DELAS *et al.*, 1985).

Les déchets concernés proviennent de certains dispositifs d'épuration récemment introduits dans les distilleries (fig. 1). Pour diminuer la charge polluante des vinasses avant de les admettre en bassin d'évaporation ou en station d'épuration biologique, on peut les centrifuger ou les filtrer sur un lit de marcs (autre déchet des distilleries vinicoles). On produit ainsi des boues de centrifugation de vinasses ou, dans le 2^e cas, des marcs vinassés.

Cet article rapporte les résultats des principales

expérimentations de laboratoire conduites pour tenter de répondre aux 3 interrogations suivantes :

- les déchets concernés ont-ils des répercussions négatives sur les végétaux et, si c'était le cas, comment tenter de les éviter ?
- présentent-ils un intérêt pour l'agriculture ?
- peuvent-ils avoir une influence défavorable sur l'environnement, sol et eaux souterraines ?

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

A. Matériaux étudiés

1. Boues de centrifugation de vinasses de lies de vins rouges

Elles ont été étudiées sous 2 formes : boues fraîches et boues vieilles en tas en plein air pendant 8 mois. Leurs compositions sont détaillées au tableau 1.

Lors du vieillissement, ces boues se sont concentrées et de l'azote nitrique s'est formé. Les rapports entre les éléments semblent indiquer une perte de potassium (l'hypothèse la plus plausible est le lessivage du tas) et de carbone (probablement sous forme de gaz carbonique). Toutefois, on n'oubliera pas, en faisant cette comparaison, que la composition de ces produits est très variable et que les boues fraîches analysées ont été produites 8 mois après les boues vieilles.

Figure 1

Schéma du fonctionnement d'une distillerie vinicole.
(NB. La filtration des vinasses sur marcs est souvent remplacée par une centrifugation.)

Schematic diagram of a wine distillery.

TABLEAU 1
Analyse des boues, marcs, fumier et terre utilisés.
Composition of soil, manure, sludge and marc.

	C/N	C	N	P p. 1000	K matière fraîche	Mg	Ca	Na	N-NO ₃ ppm	N-NH ₄ MF	MS % MF
Boues de vinasses fraîches	8,5	115	13,5	1,3	3,9	—	—	—	0	—	25
Boues de vinasses vieilles	6,3	253	40,0	3,7	6,1	2,1	3,1	0,2	152	133	69
Compost de marcs intérieur du tas	8,7	142	16,4	4,0	19,1	1,2	25,4	0,2	65	2 660	68
Compost de marcs extérieur du tas	7,8	310	39,6	4,9	24,6	1,6	23,4	0,3	454	91	92
Fumier	16,2	115	7,1	0,3	8,0	2,9	18,3	—	0	1 180	43
	argile p. 100	pH eau	pH KCl		N total	P ₂ O ₅ Joret	K ₂ O ech. p. 1000	CaO ech.	MgO ech.		
Terre limono-argileuse non calcaire	23	7,9	6,5		1,09	0,22	0,16	3,08	0,51		

2. Composts de marcs vinassés

Ils sont obtenus ainsi : pendant la période de distillation des lies, les vinasses détartrées sont rejetées dans les cuves de diffusion (fig. 1). Une décantation s'effectue, le surnageant est épandu et les boues sont périodiquement curées, puis mélangées aux marcs épuisés en alcool. Les marcs vinassés sont stockés dans un hangar couvert et aéré. Les tas de 5 m de hauteur sont remués 2 fois pendant les mois qui suivent. La température du mélange des marcs et des vinasses s'élève rapidement au-dessus de 60 °C. Elle est toujours aussi élevée 8 mois plus tard. DROUINEAU & LEFÈVRE (1948) et LEFÈVRE & BLANC-AICARD (1950), qui étudiaient le compostage des marcs de raisins, avaient déjà noté la température élevée de la fermentation et sa durée inhabituelle.

Le prélèvement de ces « composts de marcs vinassés » a été fait en octobre, donc 5 mois après la fin de la distillation des lies. Deux échantillonnages ont été faits après l'ouverture d'un tas, correspondant à l'intérieur et à l'extérieur de la masse de compost. La composition de ces 2 produits est rapportée au tableau 1. Les teneurs en phosphore, potassium, magnésium et sodium sont comparables si on les rapporte à la matière sèche. Par contre, l'intérieur du tas est nettement moins riche en carbone et azote totaux que l'extérieur. Les rapports C/N sont très voisins. L'intérieur du tas contient beaucoup plus d'azote minéral qui est presque entièrement sous la forme ammoniacale. A l'extérieur, l'azote nitrique domine.

B. Protocoles expérimentaux

1. Tests d'incubation sur l'azote minéral

La méthodologie employée est très voisine de celle décrite par DROUINEAU & LEFÈVRE (1949) : 50 g de terre, 50 g de sable siliceux et quelques grammes de déchet sont mélangés et maintenus à 25 p. 100 d'humidité et à 28 °C, en flacons ouverts. On mesure périodiquement la teneur en azote minéral (NO₃ et NH₄) pendant 2 à 8 semaines selon les tests.

Au cours d'essais antérieurs, on avait observé, après l'apport de vinasses, la disparition de l'azote nitrique du sol. Pour mesurer ce phénomène, on a étudié l'effet d'un ajout de nitrate de potassium. On peut séparer l'effet de l'apport d'un déchet de celui de l'apport d'azote nitrique en étudiant le solde d'azote minéral ainsi défini : à une date donnée, ce solde est égal à la teneur mesurée dans le traitement considéré diminuée de celle retrouvée dans la terre seule et, le cas échéant, de celle ajoutée sous forme de KNO₃ au départ de l'incubation.

Ce solde prend donc des valeurs positives si la minéralisation de l'azote l'a emporté. Des valeurs négatives peuvent indiquer que la réorganisation de l'azote a dominé ou qu'une dénitrification est intervenue.

2. Cultures expérimentales

Il s'agit de cultures de ray-grass italien (var. « Tétrone »), sous serre, en pots contenant un mélange de terre et du produit étudié. La méthodologie est comparable à celle de JUSTE (1974). Des semis successifs ont été effectués pour éviter les arrière-effets d'un cycle végétatif sur le suivant et isoler un éventuel effet phytotoxique initial d'un effet fertilisant ultérieur.

Sauf exception signalée par la suite, aucune fertilisation complémentaire n'est apportée et les drainages sont recyclés. Deux types de substrats servent de référence : une terre seule et une terre additionnée de fumier de mouton à une ou plusieurs doses.

Les quantités utilisées pour la fabrication des substrats et les calendriers de culture sont donnés dans le tableau 2 pour les différents essais réalisés. Les apports correspondants d'éléments fertilisants (N, P et K en mg/pot) sont indiqués au tableau 3.

Pour les substrats à base de boues de centrifugation, 3 prétraitements ont été comparés :

- semis immédiat après la fabrication du substrat,
- semis immédiat, mais après lessivage du substrat avec 80 mm d'eau,

TABLEAU 2
Protocoles des cultures expérimentales.
Description of test crops.

Doses d'apport (en matière fraîche) :			
boues fraîches	0,5-2-10 p. 100 en poids, équivalent à 12-50-250 t/ha		
fumier	5 p. 100	125 t/ha	
	(réparties sur 15 cm de profondeur)		
boues vieilles	0,6-1,2-6 p. 100 en poids, équivalent à 15-30-150 t/ha		
compost de marcs	idem	idem	
fumier	idem	idem	
Calendrier cultural :			
1. boues fraîches			
semis de 500 mg de graines de ray-grass par pot ; pots de 1 kg de terre ; 6 blocs			
	épandage	semis	récolte
1 ^{re} culture	29 mars	29 mars	22 avril
2 ^e culture	29 mars	25 avril	26 mai
3 ^e culture	29 mars	16 juin	12 juillet
2. boues vieilles et composts de marcs vinassés			
semis de 250 mg de graines de ray-grass par pot ; pots de 800 g de terre ; 3 blocs			
	épandage	semis	récolte
1 ^{re} culture	7 octobre	7 octobre	25 octobre
2 ^e culture	7 octobre	26 octobre	5 décembre (1 ^{re} coupe)
	7 octobre	26 octobre	13 janvier (2 ^e coupe)

TABLEAU 3
Apports d'éléments fertilisants par les produits étudiés et exportations par les 3 coupes successives (mg/pot).
Input of fertilizer elements by the wastes and output via the 3 successive crop cuts (mg/pot).

Essai « boues fraîches », pot de 1 kg :													
dose pondérale		0,5			2			5			10		
produit frais/terre		p. 100			p. 100			p. 100			p. 100		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
		mg/pot			mg/pot			mg/pot			mg/pot		
fumier	apport							355	15	400			
	exportation							—	22	291			
boues fraîches	apport	68	7	20	284	27	82				1 350	130	390
	exportation	48	10	102	63	13	123				113	21	240
terre seule,	exportation	62	9	102									

Essais « boues vieilles » et « marcs », pot de 800 g :													
dose pondérale		0,6			1,2			6					
produit frais/terre		p. 100			p. 100			p. 100					
		N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
		mg/pot			mg/pot			mg/pot					
terre seule,	exportation	15											
fumier	apport	36	2	40	71	3	80	355	15	400			
	exportation	25			30			90					
boues vieilles	apport	200	19	31	400	37	61	2 000	185	305			
	exportation	38			53			119					
compost de marcs intérieur	apport	82	20	96	164	40	191	820	200	955			
	exportation	23			33			121					
compost de marcs extérieur	apport	198	25	123	396	49	246	1 980	245	1 230			
	exportation	24			31			91					

— et semis 30 j après l'épandage. Cette 3^e série de substrats est laissée sans végétation pendant 1 mois à température ambiante, 15 °C le jour, 12 °C la nuit. L'humidité est maintenue à 13 p. 100, soit environ les 2/3 de la capacité au champ.

Les mesures portent sur les parties aériennes : production de matière sèche à la récolte et analyse minérale. Ces résultats sont interprétés statistiquement par

une analyse de variance suivie, si les traitements introduisent une différenciation significative, d'une comparaison des moyennes par un test de NEWMAN & KEULS ; lorsque les paramètres étudiés le permettent, on procède à une régression polynomiale comme le recommande PETERSEN (1977). C'est ainsi qu'a été quantifiée l'influence, dans ces conditions expérimentales, des doses d'apport sur le rendement en matière sèche.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

A. Tests d'incubation sur l'azote minéral

Les résultats obtenus avec les boues de vinasses fraîches ont fait l'objet d'une publication antérieure (MORISOT, 1978). Ils montraient (fig. 2) la disparition en 4 j de l'azote nitrique présent dans le sol ou ajouté, dans la limite de 3 p. 1000 du poids de boues apportées. Puis, pendant la 2^e semaine, commence une phase de minéralisation. La quantité initiale d'azote nitrique est retrouvée vers 20 j d'incubation. Comme les conditions du test rendent peu probable une dénitrification, il semble que l'apport de boues à un sol provoque un brusque développement microbien consommant l'azote minéral disponible. Puis les populations concernées retrouveraient leur niveau habituel, libérant l'azote.

La figure 2 indique un processus semblable mais beaucoup moins intense avec les boues de vinasses vieilles puisqu'on peut évaluer la quantité maximum d'azote disparu à moins de 0,3 p. 1000 du poids de boues vieilles.

La figure 3 rapporte les résultats de ces tests sur les composts de marcs vinassés. Après l'apport du compost prélevé à l'intérieur du tas, la quantité totale d'azote minéral présente dans le sol correspond à celle qui était effectivement dans le compost ($2\,725 \text{ ppm} \times 0,10 = 273 \text{ ppm}$ proche des 287 ppm mesurés). La légère diminution observée pendant les 4 premiers jours pourrait correspondre soit à une volatilisation de l'azote ammoniacal, soit à une consommation par le développement de micro-organismes. Par la suite, la quantité totale d'azote minéral varie peu. On assiste vraisemblablement à la nitrification de l'azote ammoniacal apporté.

De même, juste après l'apport de la partie extérieure du tas de compost, la quantité d'azote retrouvée correspond assez bien à celle qui était dans le compost ($545 \text{ ppm} \times 0,10 = 55 \text{ ppm}$, chiffre voisin des 48 ppm mesurés). Mais par la suite, la teneur en azote minéral augmente assez régulièrement avant de se stabiliser vers la 4^e semaine.

Après un mois d'incubation, la fourniture d'azote minéral par les composts correspond donc à 2,6 p. 1000 du poids de produit frais apporté pour la masse du tas de compost et à 1,7 p. 1000 pour la croûte extérieure.

B. Cultures expérimentales

1. Epandage de boues fraîches

a) Semis immédiat après l'apport de boues fraîches

— Résultats :

La figure 4 montre l'effet négatif des boues de vinasses fraîches sur la culture qui suit immédiatement leur épandage. Le test de NEWMAN prouve que les doses 2 et 10 p. 100 de boues ont un effet significativement défavorable sur la production de matière sèche. Le lessivage des substrats ne fait qu'accroître cet effet dépressif qui se manifeste alors, même avec la dose la plus faible (0,5 p. 100).

Figure 2

Test de nitrification de l'azote d'une terre enrichie de 10 p. 100 de boues fraîches ou vieilles de vinasses de lies.

Solde $N = N(\text{terre} + \text{boues}) - N(\text{terre}) - N(\text{nitrate ajouté})$, où $N = N - \text{NO}_3$.

Amount of nitrate nitrogen mineralised in a soil mixed with 10 % fresh or composted lees wash sludge.

$N = \text{nitrate nitrogen}$.

$N \text{ balance} = N(\text{soil} + \text{sludge}) - N(\text{soil}) - N(\text{nitrate input as } \text{KNO}_3)$.

Figure 3

Test de minéralisation de l'azote d'une terre enrichie de 10 p. 100 de composts de marcs vinassés $N = N - \text{NO}_3 + N - \text{NH}_4$.

Solde $N = N(\text{terre} + \text{composts}) - N(\text{terre}) - N(\text{nitrate ajouté})$.

Amount of ammonium and nitrate nitrogen mineralised in a soil mixed with 10 % of composted marc.

$N = N - \text{NH}_4 + N - \text{NO}_3$.

$N \text{ balance} = N(\text{soil} + \text{compost}) - N(\text{soil}) - N(\text{nitrate input as } \text{KNO}_3)$.

L'analyse des parties aériennes des ray-grass (tabl. 4) montre qu'avec 0,5 p. 100 de boues, les plantes sont plus riches en phosphore et peut-être en potassium, mais plus pauvres en azote que les plantes poussées sur la terre seule. Les teneurs extrêmement élevées des plantes cultivées sur les doses 2 et 10 p. 100 de boues ne sont dues qu'à leur croissance très réduite.

— Discussion :

Comment expliquer cet effet négatif ? Dans une autre étude (MORISOT, 1978), nous avons observé que de très grandes quantités d'azote nitrique disparaissaient en quelques jours après l'incorporation de boues fraîches de vinasses à une terre. Ceci expliquerait une chute des rendements.

Figure 4
Influence des boues fraîches de vinasses sur la productivité du ray-grass.
Pour une même date, les résultats associés à une même lettre ne dif-

fèrent pas significativement selon le test de NEWMAN au niveau 1 p. 100.
Influence of fresh wash sludge on rye-grass yield (dry matter, index number is 1 for the crop grown on soil alone).

TABLEAU 4
Analyse minérale des parties aériennes de ray-grass de 4 semaines et indice d'exportation par les récoltes (après épandage des boues fraîches).
Influence of fresh sludge on the mineral composition of leaves of 4-week old rye-grass, and on output via crop cuts (index number is 1 for the crop grown on soil alone).

	P		K		Ca		Mg		N total	
	teneur % MS	indice d'expor- tation	teneur % MS	indice d'expor- tation	teneur % MS	indice d'expor- tation	teneur % MS	indice d'expor- tation	teneur % MS	indice d'expor- tation
• Semis immédiat										
terre	0,24	1,00	3,83	1,00	0,68	1,00	0,32	1,00	2,97	1,00
terre + 5 % fumier	0,35	2,62	6,50	3,09	0,84	2,27	0,32	1,84	—	—
terre + 0,5 % boues	0,37	1,17	4,20	0,85	0,64	0,73	0,28	0,68	1,92	0,51
terre + 2 % boues	0,66	0,97	4,83	0,46	0,84	0,44	0,33	0,37	3,05	0,37
terre + 10 % boues	0,75	1,34	5,00	0,57	0,80	0,52	0,28	0,39	3,88	0,57
• Semis 30 j après l'épandage										
terre	0,30	1,00	2,73	1,00	0,92	1,00	0,33	1,00	1,32	1,00
terre + 5 % fumier	0,34	2,75	4,03	3,57	0,96	2,53	0,27	2,00	1,57	2,89
terre + 0,5 % boues	0,31	1,03	3,06	1,12	0,92	1,00	0,33	1,00	1,42	1,08
terre + 2 % boues	0,31	1,69	3,60	2,13	0,84	1,48	0,29	1,43	1,78	2,18
terre + 10 % boues	0,36	3,34	4,43	4,52	0,84	2,55	0,27	2,29	1,82	3,84
• Semis 80 j après l'épandage										
terre	0,32	1,00	2,73	1,00	0,90	1,00	0,25	1,00	1,25	1,00
terre + 5 % fumier	0,37	1,61	3,27	1,66	0,93	1,43	0,24	1,32	1,41	1,56
terre + 0,5 % boues	0,31	1,13	2,73	1,15	0,80	1,02	0,23	1,04	1,29	1,19
terre + 2 % boues	0,34	1,39	3,17	1,48	0,73	1,03	0,27	1,36	1,56	1,59
terre + 10 % boues	0,31	1,97	4,13	3,04	0,80	1,80	0,25	1,96	1,96	3,14

D'autres facteurs pourraient également intervenir :

- la salinité globale excessive des déchets (mais elle n'est pas seule puisque lessiver le substrat ne fait que renforcer la phytotoxicité),
- les polyphénols. La disparition de la phytotoxicité par la suite impliquerait alors une dégradation rapide de ces produits, pourtant réputés peu biodégradables, ou une inactivation par un des composants du sol ou encore un entraînement en profondeur. Cette dernière hypothèse est peu probable puisque, dans ces essais, la phytotoxicité disparaît par la suite alors que les drainages sont recyclés.

Le renforcement de la phytotoxicité par le lessivage pourrait être dû à l'asphyxie du substrat provoquée par ce prétraitement ou à d'autres facteurs chimiques ou biologiques qui n'ont pu être précisés dans des expérimentations annexes.

b) Semis 30 j après l'apport de boues fraîches

— Résultats :

L'influence des traitements sur la production de matière sèche est toute autre pour cette 2^e culture (fig. 4). Le test de NEWMAN indique que la dose 0,5 p. 100 n'a pas d'action et que les doses 2 et

TABLEAU 5

Régressions polynomiales du rendement en ray-grass sur la dose de boues de vinasses ou de compost de marcs vinassés.

R en g de matière sèche/pot ; D en g de produit ajouté/pot,

NS : les différences ne sont pas significatives, ** : elles le sont au niveau de probabilités 1 p. 100 ; * pour 5 p. 100.

le « F 2^e degré » est le rapport de la variance ajoutée par le 2^e degré (dans une régression quadratique) à la variance résiduelle.

Polynomial regressions of rye-grass yields on inputs of waste.

R = yield (g dry matter per pot),

D = input of waste (g fresh matter per pot).

	équation de régression	F	r ²	F 2 ^e degré	
1) Boues fraîches					
semis après 30 j	R = 1,11 + 1,91.10 ⁻² D	99**	0,82	2,33	NS
semis après 80 j	R = 1,04 + 0,94.10 ⁻² D	319**	0,94	0,80	NS
2) Boues vieilles					
semis immédiat	R = 0,112 + 2,43.10 ⁻² D	16**	0,61	5,30	*
semis après 19 j 1 ^{re} coupe	R = 0,347 + 2,33.10 ⁻² D	297**	0,97	1,00	NS
2 ^e coupe	R = 0,648 + 3,77.10 ⁻² D	24**	0,70	2,90	NS
3) Composts de marcs					
	équation de régression	F	r ²	F 2 ^e degré	r ²
1 ^{re} culture semis immédiat					
compost intérieur	R = 0,0798 + 0,0214.D - 3,53.10 ⁻⁴ .D ²	23**	0,40	25**	0,84
extérieur	R = 0,0877 + 0,0144.D - 2,25.10 ⁻⁴ .D ²	16**	0,48	9*	0,74
ou R = 0,135 + 2,38.10 ⁻³ .D		9*	0,47	—	—
2 ^e culture semis à 19 j					
1 ^{re} coupe					
compost intérieur	R = 0,210 + 0,0419.D	1 140**	0,991	5*	0,995
extérieur	R = 0,286 + 0,0155.D + 3,41.10 ⁻⁴ .D ²	19**	0,989	12**	0,995
2 ^e coupe					
compost intérieur	R = 0,247 + 0,0178.D	385**	0,975	10*	0,988
extérieur	R = 0,316 + 0,0162.D	2 400**	0,996	3	—

10 p. 100 ont des influences favorables et croissantes. La régression polynomiale (tabl. 5) montre que l'effet positif des boues pour ce semis retardé est proportionnel à la dose dans la gamme étudiée.

Les teneurs en azote et potassium des parties aériennes croissent avec la dose de boues. La teneur en phosphore est augmentée par la dose 10 p. 100. Les teneurs en calcium et magnésium baissent légèrement avec les 2 doses élevées 2 et 10 p. 100 (tabl. 4). De ces augmentations de teneurs et de rendement en matière sèche résulte un accroissement très prononcé des exportations par les parties aériennes de tous les éléments considérés, y compris le calcium et le magnésium (tabl. 4).

— Discussion :

Les tests déjà cités sur l'évolution de l'azote dans le mélange terre et boues de vinasses expliquent en partie cet effet favorable puisqu'ils montrent qu'à la phase de disparition de l'azote nitrique succède une phase de minéralisation qui fournit pendant plusieurs semaines de l'azote parfaitement assimilable par les végétaux.

Une culture supplémentaire de ray-grass semée 80 j après l'épandage a confirmé les résultats de ce semis différé de 30 j. L'ensemble de ces conclusions a été confirmé par des cultures expérimentales de blé (var. « Florence-Aurore »). Dans toutes ces expérimentations, la phytotoxicité des boues fraîches a disparu dès le 2^e mois après l'épandage (dans les conditions de milieu mises en jeu) et, par la suite, leur valeur fertilisante globale a été légèrement inférieure à celle du fumier de mouton utilisé en référence.

2. Epandage des boues vieilles

a) Semis immédiat après l'apport de boues vieilles

Les ray-grass semés immédiatement après le mélange des boues à la terre n'ont manifesté aucun symptôme de phytotoxicité. Dès la 2^e semaine, leur croissance a même été accélérée (pour les 3 doses de boues) par rapport à celle des témoins sur terre seule. La coupe effectuée 18 j après le semis permet de constater que la production de matière sèche (fig. 5) augmente avec la quantité de boues apportée, même pour la dose la plus faible (test de NEWMAN à 1 p. 100), et que cette augmentation est proportionnelle à l'apport de boues (tabl. 5). La teneur en azote total augmente également avec les quantités de boues apportées (fig. 6).

b) Semis 19 j après l'épandage des boues vieilles

— Coupe à 58 j :

Le rendement croît linéairement avec la quantité de boues apportée (tabl. 5). A dose équivalente, on ne peut distinguer par le test de NEWMAN le résultat obtenu avec les boues de celui obtenu avec le fumier. La teneur en azote total n'est augmentée qu'avec la dose la plus élevée de fumier (fig. 6).

— Coupe à 97 j :

On constate que, sur les substrats de référence (« terre » et « terre + fumier »), les rendements de cette 3^e coupe sont respectivement égaux à ceux de la précédente. Par contre, le test de NEWMAN montre que, pour les 2 doses 1,2 et 6 p. 100, les résultats de

Figure 5

Influence des boues vieilles de vinasses sur la productivité du ray-grass.

Pour une même date, les résultats associés à une même lettre ne dif-

fèrent pas significativement selon le test de NEWMAN au niveau 1 p. 100.

Influence of composted wash sludge on rye-grass yield (dry matter, index number is 1 for the crop grown on soil alone).

Figure 6

Influence des boues vieilles de vinasses sur l'indice de teneur en azote total du ray-grass.

Influence of composted wash sludge on total nitrogen content of rye-grass leaves (index number is 1 for the crop grown on soil alone).

cette 3^e récolte après apport de boues sont significativement meilleurs que ceux de la 2^e culture sur les mêmes substrats et que ceux de la 3^e culture sur les substrats additionnés des doses correspondantes de fumier. L'augmentation de rendement est toujours proportionnelle à la dose de boues (tabl. 5). La teneur en azote total augmente progressivement avec les 3 doses de boues (fig. 6). Les exportations d'azote par les 3 coupes augmentent énormément avec les doses d'épandage. Elles restent néanmoins négligeables par rapport aux apports effectués.

c) Discussion

Aucune phytotoxicité n'est apparue après l'épandage de ces boues vieilles, même pour la 1^{re} culture. D'ailleurs, les tests de minéralisation de l'azote confirment que la disparition d'azote nitrrique provoquée par l'épandage des boues vieilles est négligeable devant celle qui suit l'enfouissement de boues fraî-

ches. Le vieillissement des boues a donc simultanément atténué leur interférence sur le cycle de l'azote et éliminé leur caractère phytotoxique.

Pendant les 2 premiers mois, la valeur fertilisante globale des boues vieilles est comparable à celle du fumier de mouton utilisé. Au 3^e mois, l'influence positive de la boue sur le rendement croît encore et devient significativement supérieure à celle de ce fumier de référence.

3. Epandage des composts de marcs de vinasses

a) Semis immédiat après l'apport des composts

La figure 7 montre que la production à 18 j du ray-grass a été augmentée par les composts. Le test de NEWMAN montre que le rendement sur la terre seule est inférieur à celui de tous les autres traitements qui ne se distinguent pas entre eux au niveau 1 p. 100.

Figure 7

Influence des composts de marcs vinassés sur la productivité du ray-grass.

Pour une même date, les résultats associés à une même lettre ne dif-

fèrent pas significativement selon le test de NEWMAN au niveau 1 p. 100.

Influence of composted marc on rye-grass yield (dry matter, index number is 1 for the crop grown on soil alone).

Les régressions polynomiales significatives sont, dans ce cas, quadratiques avec un maximum situé entre les 2 doses 1,2 et 6 p. 100 (tabl. 5).

Les teneurs des parties aériennes en azote total augmentent régulièrement avec les quantités apportées des 2 composts (fig. 8). Cet effet est tout à fait comparable à celui du fumier de référence.

b) Semis 19 j après l'apport des composts

Les 2 coupes successives effectuées montrent un effet favorable des composts sur la croissance, souvent proportionnel à la dose (fig. 7 et tabl. 5).

Avec le compost extérieur, le rendement de la

2^e culture est lié à la dose par une équation du 2^e degré dont le maximum est au-delà de la dose 6 p. 100. Les tests de NEWMAN ne révèlent de différences significatives que pour la dose la plus élevée (6 p. 100) des 3 produits : les composts sont alors plus efficaces que le fumier entre le 18^e et le 58^e j, mais moins efficaces au cours du 3^e mois.

La seule variation des teneurs en azote total du feuillage est l'augmentation permise par la dose 6 p. 100 de compost à la 2^e coupe (fig. 8). La somme des exportations d'azote sur les 3 coupes croît avec la dose de compost, et ceci dès la dose de 0,5 p. 100, mais elle reste négligeable devant l'apport réalisé par l'épandage.

Figure 8

Influence des composts de marcs vinassés sur l'indice de teneur en azote total du ray-grass.

Influence of composted marc on total nitrogen content of rye-grass leaves (index number is 1 for the crop grown on soil alone).

c) Discussion

Les composts de marcs vinassés ont donc joué un rôle favorable sur la croissance du ray-grass pendant au moins 3 mois après leur apport. Cette action a été particulièrement marquée au cours du 2^e mois. On peut attribuer une partie au moins de cet effet fertilisant à la formation d'azote nitrique qui suit leur épandage.

Aucune phytotoxicité n'a été mise en évidence dans ces essais avec composts de marcs vinassés.

Il semble qu'on puisse interpréter la différence de comportement des 2 types de composts (intérieur et extérieur du tas) vis-à-vis de la minéralisation en terme de « maturité ». Le compost extérieur est plus riche en carbone total Anne et azote total Kjeldahl ; son évolution s'est probablement arrêtée trop tôt, peut-être à cause du dessèchement de la croûte extérieure du tas. Quand ce produit a été réhumecté dans le sol, la minéralisation de l'azote a repris activement. C'est également la localisation à la périphérie du tas, au contact immédiat de l'air, qui expliquerait que l'azote minéral de la croûte de compost soit surtout de l'azote nitrique et non pas de l'azote ammoniacal comme dans la masse du tas.

IV. CONCLUSION

On peut, à la suite de ces expérimentations, proposer les réponses suivantes aux 3 questions posées en

introduction :

1) Seules les boues fraîches de centrifugation des vinasses de lies ont eu un effet défavorable sur la végétation. Cette phytotoxicité ne s'est manifestée (dans les conditions de milieu utilisées) que pendant le 1^{er} mois qui a suivi l'épandage. Les tests d'incubation montrent que la disparition temporaire de l'azote minéral du substrat après l'apport de ces boues fraîches explique, au moins partiellement, cet effet négatif.

Les boues vieilles pendant 8 mois et les composts de marcs vinassés n'ont eu aucune répercussion défavorable sur les cultures expérimentales.

2) Les boues de centrifugation des vinasses et les composts de marcs vinassés peuvent avoir une valeur fertilisante qui se manifeste dès l'épandage pour les boues vieilles et les composts. Cette valeur s'explique notamment par les apports d'azote, phosphore et potassium. Elle peut être évaluée dans les conditions de ces tests par rapport à celle du fumier de mouton employé : légèrement inférieure pour les boues fraîches de vinasses, comparable pour les composts et légèrement supérieure pour les boues vieilles.

3) Les tests d'incubation de l'azote confirment l'existence d'une libération d'azote nitrique. Le choix des sites et des modalités d'épandage devrait en tenir compte.

Reçu le 17 mars 1985.

Accepté le 16 octobre 1985.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 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. *Sci. Sol.*, **3**, 115-127.
- Soyer J. P. & Vessot B.**, 1985. Epandage de vinasses de distillerie sur vigne. *Science du Sol*, **3** (sous presse).
- Drouineau G., Lefèvre G.**, 1948. Etude analytique du compostage des marcs de raisin. *C. R. Acad. Agric., Fr.*, **35**, 328-330.
- Drouineau G., Lefèvre G.**, 1949. Première contribution à l'étude de l'azote minéralisable dans les sols. *Ann. agron.*, **19** (4), 518-536.
- Gras R., Morisot A.**, 1974. Les déchets solides des industries agricoles et alimentaires. *Ann. agron.*, **25** (2-3), 231-242.
- Juste C.**, 1974. Nouvelle possibilité d'utilisation des vinasses de distillerie en agriculture. *Ann. agron.*, **25** (2-3), 339-347.

- Lefèvre G., Blanc-Aicard D.**, 1950. Considération sur le compostage et l'emploi du marc de raisin comme amendement organique. *Ann. agron.*, **20**, 351-361.
- Morisot A.**, 1978. Evolution de l'azote minéral après épandage de boues de vinasses de lies. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, **64** (5), 419-426.
- Morisot A., Gras R.**, 1974. Caractérisation des effluents des industries agricoles et alimentaires. *Ann. agron.*, **25** (2-3), 209-229.
- Mourgues J., Maugenet J.**, 1972. Les eaux résiduaires des caves de vinification. *Bull. Industr. Alim. Agr.*, 261-273.
- Petersen R. G.**, 1977. Use and misuse of multiple comparison procedures. *Agron. J.*, **69** (2), 205-208.
- Vaillant**, 1974. *Perfectionnements et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires*. Ed. Eyrolles, 413 p.