

# PLAN DE L'ÉTUDE

---

## **A. — But et intérêt des essais.**

- I --- La production des sarments.
- II --- La composition chimique des sarments.
- III --- Les différentes utilisations des sarments.

## **B. — La fabrication de fumier artificiel de sarments.**

- I --- Les principaux facteurs de l'humification :
  - 1°) L'humidité ;
  - 2°) La température et l'aération ;
  - 3°) L'azote ;
  - 4°) L'acide phosphorique et la potasse ;
  - 5°) L'action des vers de terre.
- II --- Les caractéristiques des produits obtenus :
  - 1°) Qualités des produits ;
  - 2°) Quantités de produits.
- III --- Etude économique.

## **C. — Conclusions.**

## A. — BUT ET INTÉRÊT DES ESSAIS

La question : comment résoudre le problème de la faim en humus des sols ? devient de plus en plus impérieuse, car, en négligeant la fumure organique, on est arrivé au stade actuel où beaucoup de sols ont perdu leur structure et par cela même leur fertilité.

Ce problème présente une acuité encore plus grande pour les sols viticoles et cela particulièrement en Algérie. Ainsi, pour certaines régions viticoles comme, par exemple : la région de Mostaganem, où les vignobles sont constitués sur des sols sablonneux, le problème de l'apport de matières organiques est primordial.

Dans les vignobles, le fumier de ferme est une source d'humus nettement insuffisante et cela d'autant plus que la motorisation va en s'accroissant. La fabrication de fumier artificiel à partir de pailles, si elle est bien au point et appelée à se développer, présente néanmoins l'inconvénient d'être d'un prix de revient trop élevé en raison du prix des pailles pratiqués certaines années et surtout du prix des transports.

On a bien essayé de reconstituer ou d'augmenter le stock de matière organique du sol en enfouissant la flore spontanée des vignobles, mais la question de l'intensification de cette pratique n'est pas complètement résolue.

On essaya de pallier la déficience humique des sols viticoles en fabriquant des fumiers artificiels à partir des sous-produits du vignoble.

Ainsi, le procédé ROOS, appliqué aux marcs de raisin, semble donner de bons résultats. L'attention de certains praticiens, entre autres M. MARTY (1), se porta sur les sarments de vigne en tant que source d'humus. Cependant, les divers essais d'humification des sarments de vigne aboutirent à des résultats plus ou moins heureux, aussi les opinions sont-elles très partagées au sujet :

- 1°) de la transformation des sarments de vigne en matières humiques ;
- 2°) de la valeur du produit obtenu ;
- 3°) de la rentabilité de cette source d'humus.

Il convient donc de déterminer : quelles sont les causes de certains échecs et quelle est la marche à suivre pour aboutir de la façon la plus rationnelle à un produit qui possède non seulement l'aspect, mais surtout les qualités du fumier.

### I. — La production des sarments

La production des sarments est très variable, étant donné qu'elle dépend du cépage, du porte-greffe, de la richesse du sol, du climat, etc... On admet généralement une production de l'ordre de 1.000 à 3.000 kgs de sarments par hectare et par an. Comme chiffre moyen, on peut estimer de 1.500 à 2.000 kgs (matière sèche) la production annuelle d'un hectare. En rapportant ce chiffre aux 330.000 ha. de vigne de l'Algérie (1948), on obtient une production de l'ordre d'un demi-million de tonnes de sarments (matière sèche) par an.

### II. — La composition chimique des sarments

Tableau 1 :

Matière fraîche = M.F.

Matière sèche = M.S.

Composition des sarments de vigne	% de M.F.	% de M.S. (105°)
Humidité .....	7,4	
Matière sèche .....	92,6	
Cendres .....	3,01	3,24
Carbone C .....	42,74	46,15
Azote total N .....	0,504	0,543
Acide phosphorique P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	0,226	0,243
Potasse K <sub>2</sub> O .....	0,641	0,693
Chlorures en Cl- .....	0,084	0,090

Méthodes analytiques employées :

C : méthode SCHOLLENBERGER-ANNE, modifiée par ANSTETT  
(voir : adaptation de la méthode SCHOLLENBERGER-ANNE  
[dosage rapide du C organique dans les sols] au dosage rapide  
du C organique dans les fumiers et les végétaux).

N total : méthode KJELDAHL-JODLBAUER ;

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : méthode LORENZ-SCHEFFER, )

K<sub>2</sub>O : méthode KRAMER-TYSDALL, ) après attaque sulfonitrique ;

Cl- : méthode CHARPENTIER-VOLHARD.

Tableau 2 :

Composition de la paille d'après FLIEG (2)	% de M.S. (105°)
N total .....	0,31 à 0,84
P <sup>2</sup> O <sup>5</sup> .....	0,10 à 0,22
K <sup>2</sup> O .....	0,86 à 1,72

En comparant les teneurs en N, P<sup>2</sup>O<sup>5</sup> et K<sup>2</sup>O des sarments de vigne (M.S.) avec celles des pailles (M.S.), nous voyons qu'elles concordent approximativement.

Certains auteurs (1), trop optimistes au sujet de la valeur des sarments de vigne, ont comparé le fumier de ferme avec les sarments et concluaient : « ...ces compositions prouvent donc que fumiers et sarments de vigne ont sensiblement la même valeur ». Mais, ils ne tenaient pas compte du fait que les analyses utilisées se rapportaient à la matière fraîche ; ainsi, le fumier de cheval servant de comparaison (Larousse agricole) contient 71 % d'humidité, alors que les sarments en contiennent moins de 30 %. Une comparaison n'est valable que si les deux analyses se rapportent à la matière sèche.

### III. — Les différentes utilisations des sarments de vigne

Nous nous abstenons de parler de l'utilisation des sarments comme source d'énergie pour les moteurs à combustion interne (1), de même que de l'emploi comme aliment du bétail ou comme combustible.

Le sort le plus général réservé aux sarments est l'incinération sur champs.

#### 1°) L'incinération des sarments.

A ce sujet, nous avons effectué différents dosages sur des sarments incinérés soit à l'air libre, soit au four à moufle. Remarquons que, dans la pratique, l'incinération de gros tas de sarments produit des températures portant le fer ou l'acier (ex. : les fourches) au rouge sombre, soit 700° et même jusqu'au rouge cerise, soit 1.000°. Nos essais effectués avec des températures du même ordre de grandeur semblent donc reproduire l'incinération au champ.

Voyons le bilan de l'incinération des sarments.

Nous avons dosé : C, N, P<sup>2</sup>O<sup>5</sup> et K<sup>2</sup>O sur les résidus obtenus avec des températures variables allant de l'inflammation et la combustion à l'air libre jusqu'à l'incinération au four à moufle (800 à 900° environ).

A de faibles températures on obtient un résidu noir, charbonneux, c'est ce qu'on observe dans la pratique sur les bords des tas.

Tableau 3 :

Pertes par incinération incomplète :

-- 100 gr. de sarments (M.S.) donnent : 8,9 gr. de résidu.

	Teneur de 100 gr. de matière sèche		Pertes	
	Avant incinération	Après incinération	brutes	rapportées à 100 gr. de l'élément
C	46,15	5,1	41,05	88,9
N	0,543	0,052	0,491	90,4
P <sup>2</sup> O <sup>5</sup>	0,243	0,230	0,013	5,3
K <sup>2</sup> O	0,693	0,671	0,022	3,1

Les pertes en P<sup>2</sup>O<sup>5</sup> et K<sup>2</sup>O sont très faibles et sont comprises dans la limite des erreurs analytiques.

Le résidu charbonneux est très résistant vis-à-vis d'une oxydation, ainsi, lors du dosage du carbone, l'oxydation chromique est difficile et il reste des particules charbonneuses qui nécessitent, pour être totalement oxydées, une durée d'ébullition de 10 à 15 minutes, alors que pour le sarment frais 5 minutes suffisent. Il en est de même lors de l'attaque sulfurique pour le dosage de l'azote et lors de l'attaque sulfonitrique du résidu pour le dosage de P<sup>2</sup>O<sup>5</sup> et K<sup>2</sup>O.

On peut donc supposer que le carbone restant donnera difficilement naissance à de l'humus et que, d'autre part, on aura dans le sol une libération très lente des éléments fertilisants (P<sup>2</sup>O<sup>5</sup>, K<sup>2</sup>O) qui se trouvent inclus dans cette matière charbonneuse qui résulte d'une combustion incomplète des sarments.

Lors de l'incinération au four à moufle (800 à 900°), on obtient des cendres presque blanches, cendres que l'on trouve à l'intérieur des tas quand on brûle les sarments sur le champ.

Tableau 4 :

Pertes par incinération à 800-900° :  
— 100 gr. de sarments (M.S.) donnent : 3,24 gr. de cendres.

	Teneur de 100 gr. de matière sèche		Pertes	
	Avant incinération	Après incinération	brutes	rapportées à 100 gr. de l'élément
C	46,15	traces	46,15	100
N	0,543	0	0,543	100
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,243	0,189	0,054	22,2
K <sub>2</sub> O	0,693	0,625	0,068	9,8

Remarquons que, lors du dosage du C, les traces sont probablement dues à des produits réducteurs minéraux formés à haute température au contact de la matière organique. D'ailleurs, G. BERTRAND et SILBERSTEIN (17) ont montré que, lors de l'incinération, une partie des phosphates est réduite et n'est donc plus dosable par les méthodes ordinaires.

En définitive, ces analyses nous montrent que :

a) On perd la totalité de la matière organique, soit, en considérant une production de 1.000 kg. de sarments (M.S.) par hectare et par an, on perd 1.000 kg. de matière organique.

b) Il en est de même pour l'azote, soit une perte de 5 kg. 43 d'azote pour 1.000 kg. de sarments. Ceci représente, par exemple : 27 kg. 15 de sulfate d'ammonium à 20 %.

c) Il y a une perte assez faible en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, soit 0 kg. 54 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pour 1.000 kg. de sarments, ce qui correspond, par exemple, à 3 kg. de scories à 18 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Enfin, il convient de remarquer que le P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> des cendres est sous forme minérale et se comporte strictement comme lui, c'est-à-dire il subira le phénomène de rétrogradation, alors que le P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> des sarments humifiés se trouvera, sous forme d'humophosphates, facilement assimilable par les plantes.

d) Les pertes en potasse sont faibles, en effet, en extrapolant nos résultats pour 1.000 kg. de sarments, ces pertes se chiffrent à 0 kg. 68 de  $K_2O$ , ce qui représente 1 kg. 36 de chlorure de potassium à 50 %.

Enfin, les cendres sont sujettes au moindre coup de vent qui les disperse tant sur les champs que sur les chemins, surtout, du fait que, généralement, on ne prend pas la peine de les épandre et on les laisse telles quelles aux bords des chemins. Les pertes réelles en acide phosphorique et en potasse sont donc bien plus grandes.

Ce bilan confirme les idées de BOUSSINGAULT (3) qui disait, en 1851 : « L'opinion qui voit dans les sels que contiennent les engrais les seuls principes vraiment utiles, conduirait à conseiller aux cultivateurs de brûler leurs fumiers, afin de diminuer les transports toujours si embarrassants et si onéreux ».

« Des observations faites avec soin ont d'ailleurs démontré que la matière organique des engrais exerce une action bien prononcée. On a fumé 30 m<sup>2</sup> avec du fumier de ferme, tout à côté, sur une surface égale, on a répandu les cendres, par conséquent les sels provenant d'une semblable quantité de fumier. Dans le premier cas, on a pu obtenir d'un terrain argileux, très peu productif, une récolte d'avoine satisfaisante, en agissant ainsi, on a pu améliorer le sol d'une manière sensible ».

BOUSSINGAULT a donc clairement prévu le rôle des matières organiques dans le sol, or, en brûlant les sarments, nous voyons que les pertes essentielles se rapportent à la matière organique et à l'azote ; le premier facteur agissant sur les propriétés physiques, le second sur les propriétés chimiques des sols.

## 2°) L'emploi des sarments comme litière.

L'emploi des sarments comme litière a été recommandé par M. MARTY (1). En effet, le sarment haché s'imbibe, par le passage par l'étable, non seulement d'eau, mais aussi d'azote qui permettra, dans la suite, une bonne humification. Mélangés aux excréments, les sarments donnent un produit comparable à un fumier de ferme dérivant de paille.

Mais, étant donnée la motorisation croissante, tout viticulteur n'a plus un cheptel suffisant pour absorber la totalité de ses sarments. En outre, le passage par l'étable nécessite un stockage des sarments, stockage qui présente des inconvénients : a) l'encombrement considérable, les sarments se tassant mal (1 m<sup>3</sup> de sarments entiers ne représente que 50 kg.) ; on peut penser que le hachage réduit l'encombre-

ment étant donné que le mètre cube de sarments hachés pèse environ 240 kg., mais à ce moment on ne peut plus empiler les sarments et on a des tas de gros diamètres d'un encombrement équivalent ; b) ce stockage crée des risques d'incendie (4).

C'est pour ces diverses raisons que l'utilisation des sarments comme source d'humus, mais sans passage préalable par l'étable, a été préconisée. C'est la fabrication de ce fumier artificiel de sarments de vigne qui retiendra notre attention.





## **B. — FABRICATION DE FUMIER ARTIFICIEL DE SARMENTS DE VIGNE**

Nos essais portent sur 1.000 kg. de sarments (M.S.). Les sarments ont été découpés en morceaux d'environ 5 cm. de longueur à l'aide d'un broyeur de sarments type Blachère. L'opération du hachage a été effectuée le 27 décembre 1949. Les sarments sont restés en tas à l'air libre jusqu'au 11 février 1950, date à laquelle les essais proprement dits ont débuté. Les essais ont été effectués dans une ancienne cuve de vinification non recouverte. La cuve étant trop grande, on l'a cloisonnée à l'aide de bottes de paille.

Remarquons que nous n'avons pas effectué d'ensemencement microbien, étant donnée l'ubiquité de la microflore humificatrice.

### **I. — Les principaux facteurs de l'humification**

#### *1°) L'humidité :*

L'humidité est le facteur essentiel de réussite. En effet, l'action de l'eau est multiple, d'une part elle produit le gonflement des membranes ligno-cellulosiques et l'hydrolyse de certains glucides, d'autre part c'est elle qui conditionne, en grande partie, le pullulement microbien duquel dépendra à son tour l'humification des sarments. En outre, une humidité trop faible produirait, d'après LÖEHNIS et KOCH (5), une perte d'azote par dénitrification, surtout si le milieu est riche en carbone, ce qui est notre cas.

Le taux d'humidité des sarments en décomposition devra être compris entre 70 et 80 % d'humidité. L'optimum se situe au voisinage de 75 %.

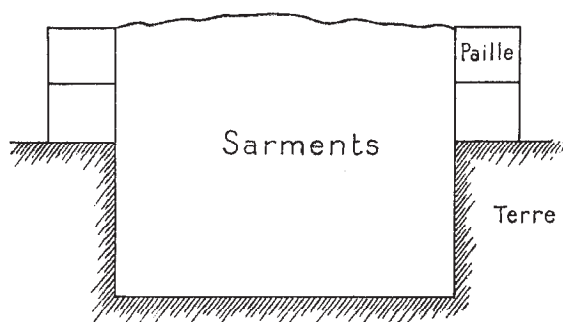
Tableau 5 :

Taux d'humidité des sarments au cours de l'humification	Essai I	Essai II
7 mars .....	77,2	71,6
4 avril .....	78,2	71,9
1 <sup>er</sup> mai .....	75,5	71,0
1 <sup>er</sup> juin .....	73,0	70,5
6 juillet .....	72,1	72,1
7 août .....	73,0	71,0
1 <sup>er</sup> septembre .....	77,0	76,0
15 septembre .....	80,0	81,4

Les échantillons ont été pris à 20 cm. de profondeur et généralement la veille de l'arrosage.

Au point de vue pratique, il conviendra donc de veiller à ce que l'humidité reste comprise entre ces normes. Si, pendant la période hivernale, les pluies sont assez intenses, il ne sera pas nécessaire d'arroser, par contre, en Afrique du Nord cela devient généralement indispensable à partir du mois de mars. Dans nos essais, on a ajouté une fois par semaine 60 litres d'eau pour les 1.000 kg. de sarments, et cela à partir de mars jusqu'à la fin de nos essais (15 septembre). Un arrosage excessif est nocif tant au point de vue lessivage des éléments fertilisants qu'au point de vue création d'un milieu trop asphyxiant.

Lors de la fabrication de fumier de sarments, il faudra donc choisir un emplacement voisin d'un point d'eau, afin de ne point grever le prix de revient de ce fumier. Il faudra également s'efforcer de réduire le plus possible l'évaporation, l'action desséchante du vent, en particulier des siroccos si fréquents en Afrique du Nord. Pour cela, on effectuera de préférence l'humification dans les fumières qui permettront, en même temps, de récupérer le purin artificiel ou, si les fosses cimentées font défaut, on creusera des fosses dans la terre, il faudra cependant veiller à ce que l'eau ne s'y accumule pas.



Le schéma ci-contre représente un modèle de fosse que l'on peut creuser à côté du vignoble si on y dispose d'un point d'eau. Une profondeur de 1 mètre sera suffisante. En surface, on pourra employer des bottes de paille pour soutenir et protéger les côtés.

La quantité d'eau à apporter par tonne de sarments dépendra évidemment de la façon dont on réduira la dessiccation. Plus le tas est grand, plus la dessiccation par unité de poids sera faible. Avec une fosse à purin, on pourra utiliser le purin artificiel pour arroser la matière en fermentation.

2°) *La température et l'aération :*

Dans nos essais, la température extérieure a certainement influencé l'humification étant donnée la faible quantité (1.000 kg.) de sarments utilisés. Normalement, lors de fermentations de quantités de l'ordre de 20 à 40 tonnes et plus, la température extérieure a peu d'effet sur les processus d'humification, vu l'inertie et la surface externe relativement réduite de grandes masses.

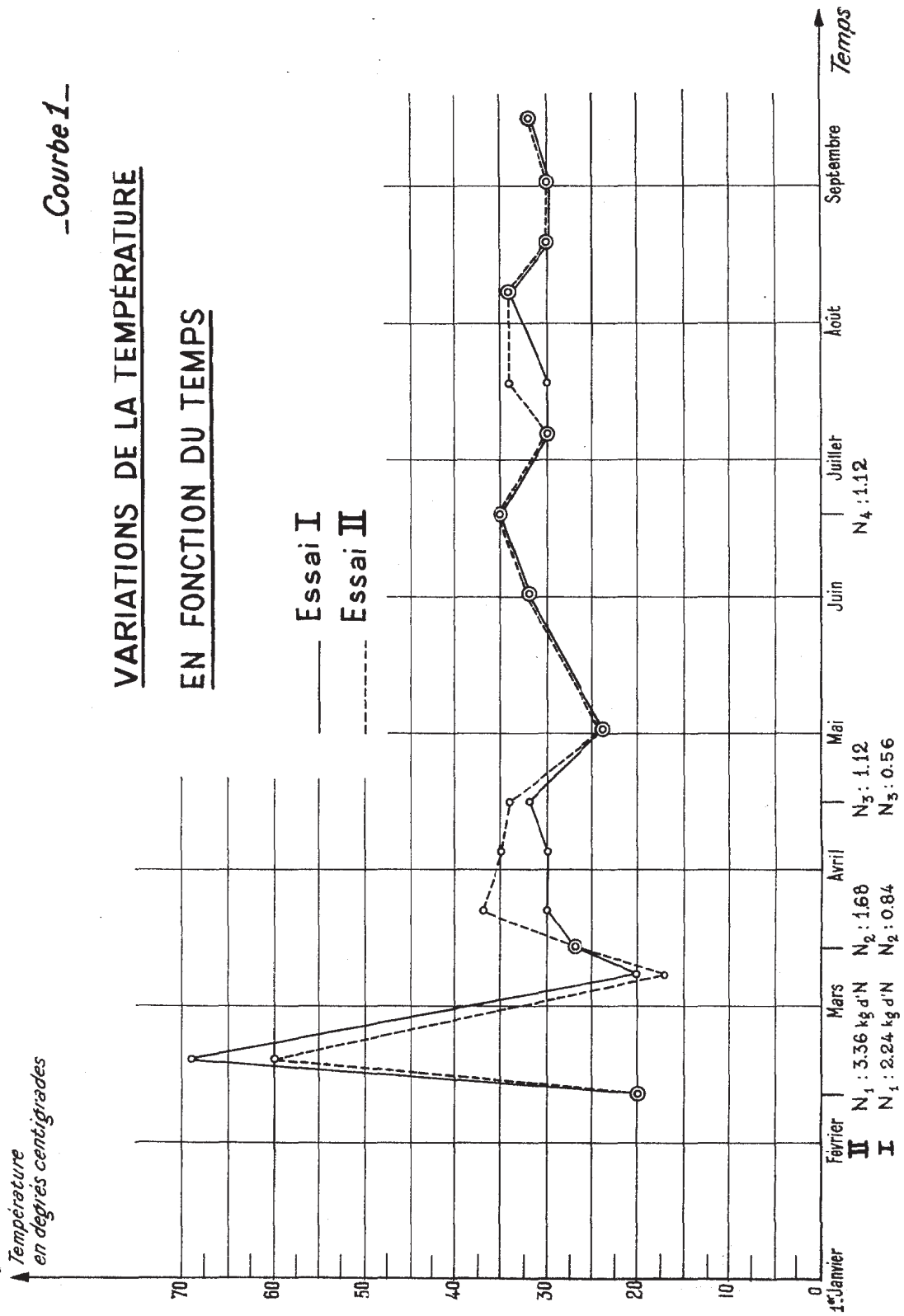
*Tableau 6 :*

Variations de la température des tas de sarments au cours de l'humification.

Dates	Températures en degrés centigrades	
	Essai I	Essai II
11 février .....	20	20
18 février .....	69	60
7 mars .....	20	17
13 mars .....	27	27
21 mars .....	30	37
4 avril .....	30	35
15 avril .....	32	34
1 <sup>er</sup> mai .....	24	24
1 <sup>er</sup> juin .....	32	32
18 juin .....	35	35
6 juillet .....	30	30
17 juillet .....	30	34
7 août .....	34	34
18 août .....	30	30
1 <sup>er</sup> septembre .....	30	30
15 septembre .....	32	32

- Courbe 1 -

VARIATIONS DE LA TEMPÉRATURE  
EN FONCTION DU TEMPS



Nous voyons, d'après le tableau 6 et la courbe 1, qu'il y a deux stades :

1°) le stade d'humification à haute température, caractérisé par des bactéries thermophiles.

C'est pendant ce stade que la matière végétale se gonfle et se disloque et libère les pentosanes et les glucides peu polymérisés. Il convient de remarquer que dans nos essais ce stade est très court (8 à 10 jours), alors que normalement, pour le fumier de ferme, ce stade dure plus d'un mois. Il se peut que ce stade dure plus longtemps lors de l'humification de grosses quantités de sarments.

2°) le stade d'humification à température moyenne, caractérisé par des actinomyces et d'autres champignons microscopiques.

Ce stade dure jusqu'à la fin de nos essais. C'est au cours de cette phase que se produit l'hydrolyse diastasique des glucides fortement polymérisés comme les celluloses et les lignines.

Quant à l'aération, il convient de ne pas tasser dès le début. En effet, la flore microbienne caractérisant le premier stade est non seulement thermophile, mais aussi aérobic. Dans la suite, le tassement se fera de lui-même lors des arrosages. Le deuxième stade est anaérobie, cependant cette anaérobiose ne devra pas être trop poussée. Nos essais, qui ont abouti à une substance bien humifiée, n'ont pas nécessité de recoupage qui recrée une aérobiose. Il est possible que, pour de gros tas, des recoupages soient nécessaires.

3°) *L'azote N :*

L'importance de l'N dans les phénomènes d'humification a été et reste le sujet de nombreuses controverses.

Certains auteurs (6) comme CONRAD, GUTZEIT, BERTHELOT, ELLER, FUCHS, etc..., attachent peu d'importance à l'N, étant données leurs expériences sur la formation de « substances humiques » artificielles à partir d'hydrates de carbone et d'acides minéraux sans intervention de corps azotés.

D'autres auteurs, au contraire, assignent un rôle essentiel à l'N.

Les uns, comme THENARD (7), pour ne citer que le plus ancien parmi eux, s'étaient avant tout intéressés à l'N minéral. Il écrivait, en 1861 : « ...on était amené à croire que l'acide fumique (ce qui équivaut à la dénomination actuelle d'acide humique) est le résultat de la

combinaison de l'ammoniaque ou de certains sels ammoniacaux avec certains éléments de la paille, qu'ils soient ligneux ou extractibles, tandis que les éléments complémentaires se brûlent ou s'évaporent. Par conséquent, en arrosant de la paille, des feuilles, de la sciure de bois avec une dissolution d'ammoniaque pure ou étendue ou avec certains sels ammoniacaux bien choisis, on devait obtenir de l'acide fumique. L'expérience était simple, elle fut faite immédiatement et réussie complètement avec l'ammoniaque, le carbonate d'ammonium et le sulfate d'ammonium ». THENARD montra que l'ammoniaque réagit avec une grande facilité sur les sucres pour former des matières azotées noires.

D'autres chercheurs voyaient, dans l'azote organique, l'agent principal d'humification. Ainsi MAILLARD (8), en faisant réagir des acides alpha-aminés et des sucres réducteurs, obtenait une matière brune semblable aux matières humiques. Il concluait en disant : « ...il est certain que la fixation de l'N est une cause déterminante et non la conséquence de la déshydratation humificatrice. Loin d'être surajouté accessoirement et par hasard à une molécule humique qui se serait constituée en dehors de lui, l'N est, au contraire, le premier facteur de l'humification naturelle qui, sans lui, n'aurait pas lieu ».

Il convient donc d'examiner le rôle de l'N dans l'humification des sarments de vigne. A ce sujet, nous avons effectué deux essais avec des doses différentes d'N.

L'essai I (500 kg. de sarments M.S.) a eu 13 kg. de nitrate d'ammonium à 28 N % (nitrate plus ou moins humide), soit une dose totale de 3 kg. 64 d'N pour 500 kg. de sarments, ce qui revient à 7,28 N pour 1.000 de matière sèche.

Ces 13 kg. de nitrate d'ammonium ont été fractionnés et répartis de la façon suivante :

1 <sup>er</sup> apport : le 11 février	= N <sub>1</sub> = 8 kg. de NO <sup>3</sup> NH <sup>4</sup>	= 2,24 kg. d'N
2 <sup>e</sup> » : le 13 mars	= N <sub>2</sub> = 3 kg.	= 0,84 »
3 <sup>e</sup> » : le 15 avril	= N <sub>3</sub> = 2 kg.	= 0,56 »
	13 kg.	3,64 kg.

L'essai II (500 kg. de sarments M.S.) a eu 26 kg. de nitrate d'ammonium de même teneur en N, soit une dose totale de 7 kg. 28 d'N p. 500 kg. de sarments, ce qui correspond à 14,56 N p. 1.000 de matière sèche.

Les différentes fractions ont été apportées comme suit :

1 <sup>er</sup> apport : le 11 février	= N <sub>1</sub> = 12 kg. de NO <sup>3</sup> NH <sup>4</sup>	= 3,36 kg. d'N
2 <sup>e</sup> » : le 13 mars	= N <sub>2</sub> = 6 kg.	» = 1,68 »
3 <sup>e</sup> » : le 15 avril	= N <sub>3</sub> = 4 kg.	» = 1,12 »
4 <sup>e</sup> » : le 18 juin	= N <sub>4</sub> = 4 kg.	» = 1,12 »
	26 kg.	7,28 kg.

Pour pouvoir déterminer et comparer les vitesses d'humification de nos sarments selon l'apport d'N, il faut recourir à certains critères comme la teneur en cendres, la teneur en carbone et le rapport carbone/azote. On s'étonnera peut-être que nous ne prenions pas l'humus, les acides humiques, etc..., comme critères d'humification. Or, comme dit WAKSMAN (9) : « Il est raisonnable d'affirmer, a priori, qu'en raison de la confusion qui existe actuellement au sujet de la nature et de l'origine des substances humiques dans le sol (il en est certainement de même pour les substances humiques des composts et des fumiers), les méthodes quantitatives donneront des résultats variables puisque, par l'emploi de méthodes différentes, on dose souvent des complexes différents ».

Ainsi, en employant la méthode FALLOT pour des sarments frais broyés, nous obtenons 4,3 gr. d'acides humiques pour 100 gr. de matière sèche (les sarments ayant été réduits en poudre par un broyeur à marteaux). Or, un végétal frais ne contient jamais d'acides humiques, ce qui prouve bien que cette méthode est aberrante. D'ailleurs, il semble qu'il en est de même quant aux autres méthodes. En outre, les résultats dépendent en partie du degré de broyage de l'échantillon analysé, plus le degré de broyage de l'échantillon est poussé, plus les résultats analytiques sont élevés. C'est pourquoi, nous nous sommes bornés à ne doser que les éléments ou corps dont les méthodes analytiques ne sont pas sujettes à caution.

a) Teneur en cendres :

Le sarment de vigne, comme toute matière végétale, contient une certaine quantité d'éléments minéraux qui, lors de l'incinération, subsisteront sous forme de cendres. L'humification étant en réalité une combustion lente de la matière organique avec transformation partielle du solide en gaz et liquide, ainsi le carbone engendre du gaz carbonique, des hydrocarbures (méthane), l'hydrogène donne de l'eau ; il en résulte que les cendres s'accumuleront dans le milieu.

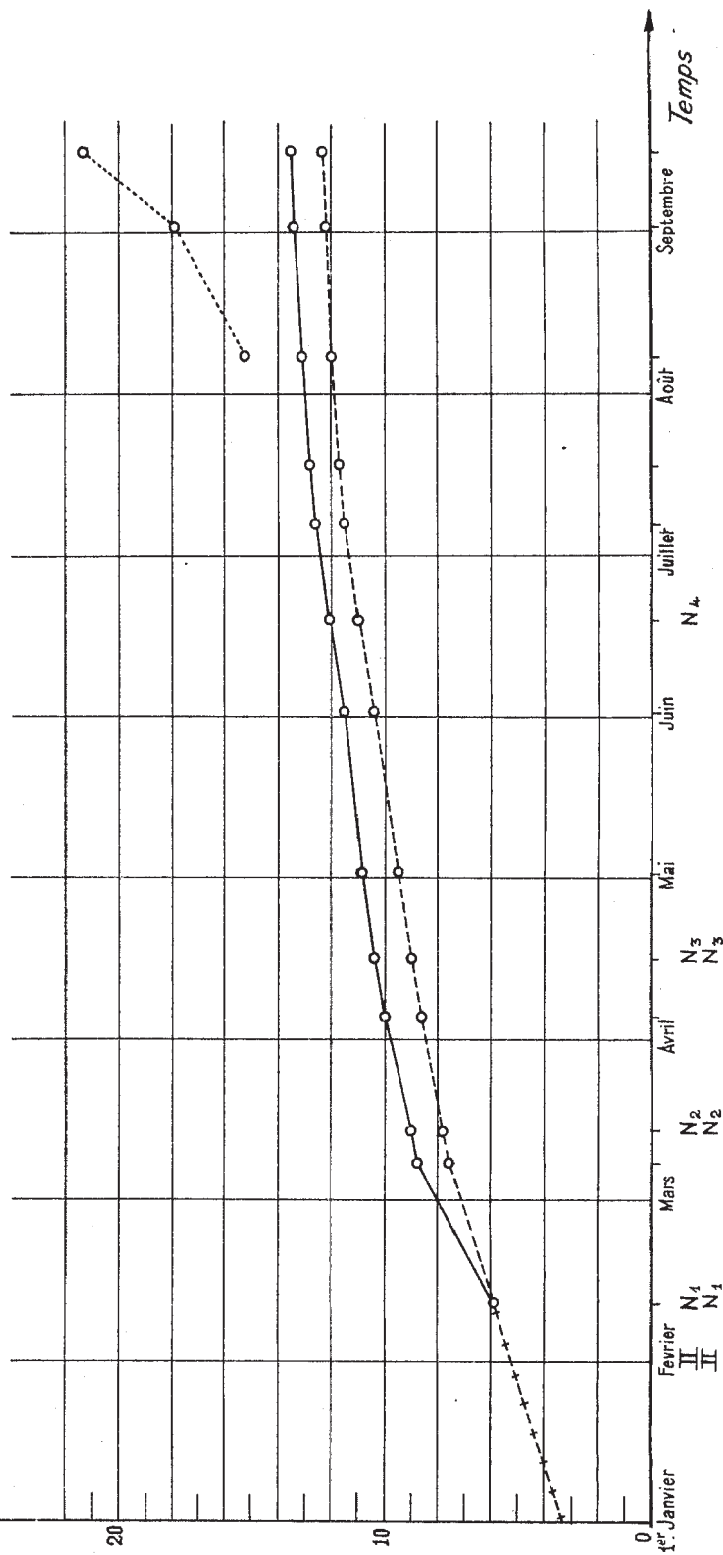
Cette accumulation pourra servir de critère de vitesse de fermentation. Là, où le taux de cendres sera le plus élevé, la fermentation aura été la plus active.

-Courbe 2-

TENEURS EN CENDRES  
EN FONCTION DU TEMPS.

Cendre % Matière sèche

— Essai I  
- - - I avec lombrics  
- - - II





Voyons nos essais :

Tableau 7 :

Teneur en cendres en fonction du temps.

Dates	Cendres p. 100 de matière sèche		
	I	I + lombrics	II
1 <sup>er</sup> janvier .....	3,24		3,24
11 février .....	5,9		5,9
7 mars .....	8,8		7,6
13 mars .....	9,0		7,8
4 avril .....	10,1		8,6
15 avril .....	10,4		9,1
1 <sup>er</sup> mai .....	10,8		9,5
1 <sup>er</sup> juin .....	11,5		10,4
18 juin .....	12,1		11,0
6 juillet .....	12,6		11,5
17 juillet .....	12,8		11,7
7 août .....	13,1	15,2	12,0
1 <sup>er</sup> septembre .....	13,4	17,9	12,2
15 septembre .....	13,5	21,3	12,3

Nous voyons, d'après le tableau 7 et la courbe 2, que la fermentation dans l'essai I (7 N p. 1.000 M.S.) a été plus active que celle dans l'essai II (14 N p. 1.000 M.S.). Cette décomposition plus rapide de I a lieu dès le 11 février et dure environ un mois puis, les deux fermentations sont à peu près identiques, de telle sorte que l'écart entre I et II persiste jusqu'au bout.

Remarquons que les analyses, tant la détermination des cendres que celle du carbone ou de l'azote, etc..., doivent être faites immédiatement après le prélèvement, car la fermentation se poursuit même en boîtes hermétiquement closes. Ainsi, le dosage effectué le 7 mars pour l'essai I donne 8,8 cendres p. 100 M.S., en réeffectuant l'analyse le 25 juillet, nous avons obtenu 14,2 cendres p. 100 M.S., ce qui prouve même que la fermentation en boîte était plus active que sur le tas. L'apport d'antiseptiques se heurte à de grosses difficultés, car, par exemple : le formol bloque l'ammoniaque et les antiseptiques organiques, de même que les oxydants et réducteurs minéraux, faussent le dosage du carbone. On est donc astreint à faire les analyses immédiatement. C'est à cette fermentation, après prélèvement, que sont dues les courbes de teneur en cendres, avec maxima ou minima, que l'on trouve chez certains auteurs ayant suivi des humifications.

Grâce aux taux de cendres, on peut déterminer la perte de matière à un moment donné de l'humification et l'on connaît ainsi la quantité de matière sèche qui reste.

Exemple : le 11 février - essais I et II :

Le 1<sup>er</sup> janvier, 100 kg. de sarments (M.S.) contiennent : 3 kg. 24 de cendres.

Le 11 février, 100 kg. de sarments, plus ou moins décomposés, (M.S.) contiennent : 5 kg. 9 de cendres.

Pour aboutir à 5 kg. 9 de cendres, il a fallu :

$$\frac{100 \times 5,9}{3,24} = 182 \text{ kg. de sarments frais (M.S.).}$$

La perte en matière organique est donc :

$$\frac{(182 - 100) \times 100}{182} = 45 \%$$

et il nous reste 55 % de la matière initiale.

Les 500 kg. de sarments initiaux (M.S.) de chaque essai se sont réduits, le 11 février, à 275 kg. de matière sèche.

Tableau 8 :

Pourcentage de matière sèche résiduelle en fonction du temps.

Dates	M. S. résiduelle % de M. S. initiale		
	I	I + lombrics	II
11 février .....	55		55
13 mars .....	36,3		41,7
15 avril .....	30,9		35,7
18 juin .....	26,9		30,0
15 septembre .....	24,1	15	26,4

De ce tableau, nous pouvons déduire que les pertes en matière organique sont surtout importantes au début. Ainsi, dans l'espace d'un mois, on perd près de 40 % de la matière organique initiale, après deux mois près de 60 %, après trois mois de 62 à 67 % et, après le quatrième mois, les pertes diminuent fortement ; ainsi, de juin à septembre, ce qui représente trois mois, les pertes n'augmentent que de 2 à 4 % environ.

Ceci montre que la fermentation est très réduite à partir du deuxième au troisième mois d'humification, d'ailleurs on retrouve cela dans la courbe de température (courbe 1).

b) La teneur en azote :

Comme nous avons vu, le sarment est, de même que la paille,

assez pauvre en azote : 0,543 N total % M.S. Cette carence azotée est contre-balancée, lors de l'emploi des sarments hachés comme litière, par l'urine des animaux. Dans le cas de fumier artificiel, on apporte l'azote sous forme d'un engrais azoté, ainsi dans nos essais du nitrate d'ammonium.

Or, que se passe-t-il si on ne pallie pas cette carence azotée ? Les micro-organismes, ayant à leur disposition une nourriture carbonée abondante, se multiplient à condition de trouver dans le milieu l'azote nécessaire à la formation de leurs protéines protoplasmiques. Si l'azote manque, le développement de la flore microbienne sera inhibé et la décomposition sera réduite. Telle est l'interprétation de WAKSMAN (9), de FLIEG (2) et d'autres auteurs. Remarquons que cette nécessité d'un apport d'azote a souvent été exagérée et a pu être exploitée à des fins commerciales.

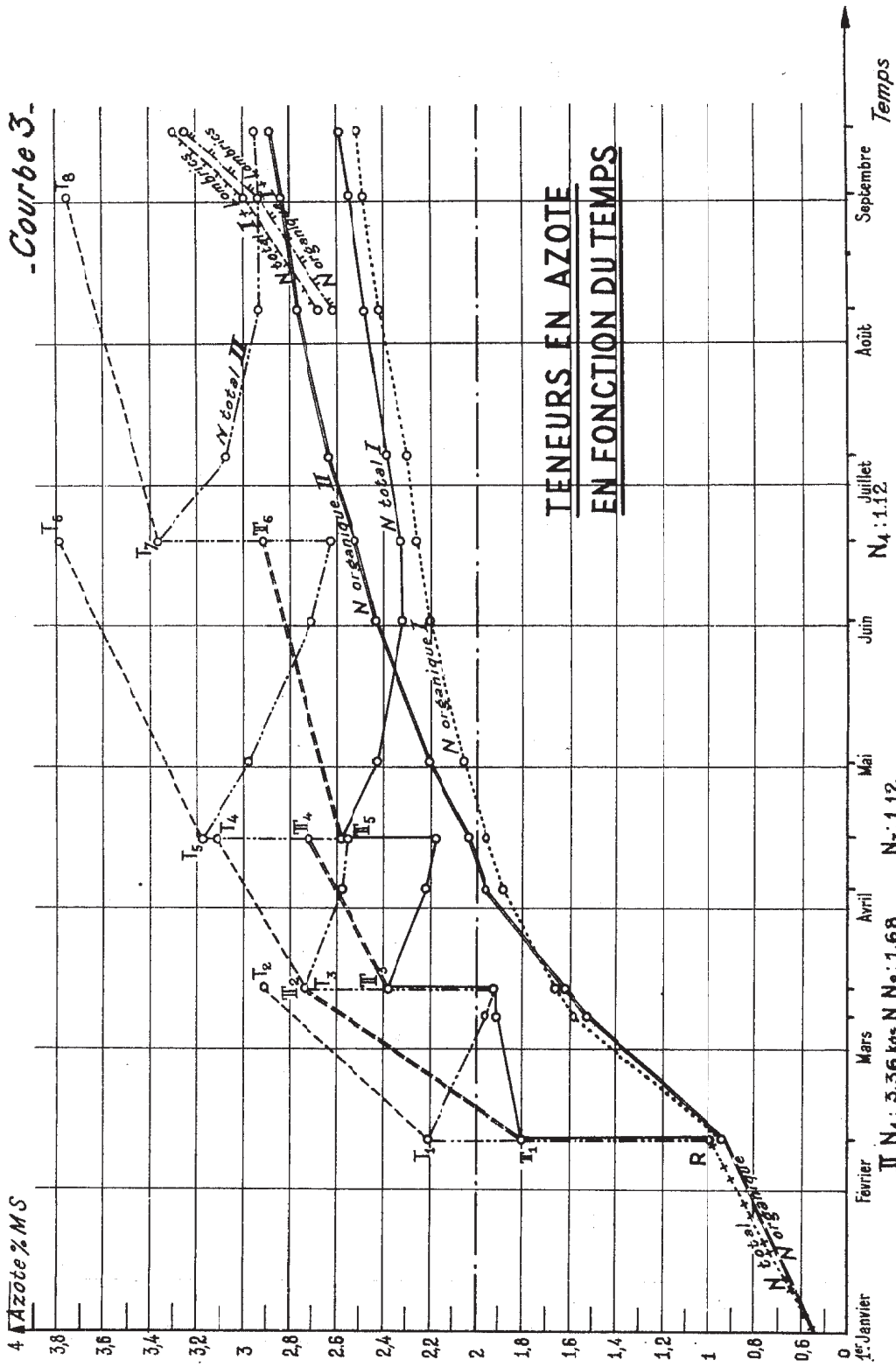
On est tenté de croire qu'avec un matériau aussi résistant que le sarment de vigne, il soit nécessaire d'employer de fortes doses d'azote. Or, cette hypothèse ne semble pas se vérifier dans nos essais.

Tableau 9 : Teneurs en azote en fonction du temps.

Dates	Azote total % M. S.			Azote organique % M.S.		
	I	I + lombrics	II	I	I + lombrics	II
1 <sup>er</sup> janvier (R) . . . .	0,543		0,543	0,543		0,543
11 février :						
avant apport d'N (R)	0,989		0,989	0,95		0,95
après » » (T)	1,80		2,21			
7 mars (R) . . . . .	1,91		1,96	1,58		1,52
13 mars :						
avant apport d'N (R)	1,92		1,92	1,66		1,62
» » » (T)	2,73		2,91			
après » » (T)	2,38		2,72			
4 avril (R) . . . . .	2,22		2,58	1,89		1,96
15 avril :						
avant apport d'N (R)	2,18		2,56	1,96		2,04
» » » (T)	2,72		3,12			
après » » (T)	2,59		3,18			
1 <sup>er</sup> mai (R) . . . . .	2,43		2,98	2,06		2,21
1 <sup>er</sup> juin (R) . . . . .	2,32		2,71	2,21		2,44
18 juin :						
avant apport d'N (R)	2,33		2,63	2,26		2,53
» » » (T)	2,92		3,79			
après » » (T)			3,37			
6 juillet (R) . . . . .	2,39		3,08	2,32		2,64
7 août (R) . . . . .	2,48	2,68	2,94	2,42	2,62	2,78
1 <sup>er</sup> septembre (R) .	2,55	3,00	2,94	2,48	2,94	2,84
» (T) .			3,76			
15 septembre (R) .	2,59	3,31	2,95	2,52	3,27	2,89

(R) = Valeur réelle donnée par l'analyse.  
(T) = Valeur théorique obtenue par calcul.

- Courbe 3 -



II N<sub>4</sub>: 3.36 kgs. N. N<sub>2</sub>: 1.68 N<sub>5</sub>: 1.12  
 I N<sub>4</sub>: 2.24 kgs. N. N<sub>2</sub>: 0.84 N<sub>5</sub>: 0.56

Méthodes analytiques employées :

a) pour l'azote total : méthode KJELDAHL-JODLBAUER ;

b) pour l'azote organique : élimination de l'ammoniaque par ébullition avec Mg O, élimination des nitrates par  $\text{Cl}^2\text{Fe}$ , puis méthode KJELDAHL ordinaire.

Examen du tableau 9 et de la courbe 3.

Nous avons vu que lors de l'humification la teneur en cendres augmente, il en est de même pour l'azote qui reste dans le milieu généralement sous forme organique. Ainsi, du 1<sup>er</sup> janvier au 11 février, le taux d'azote passe de 0,543 à 0,989 N pour 100 M.S. Cette augmentation est normale et concorde avec le chiffre calculé, ce qui prouve que, pendant cette période, il n'y avait ni dénitrification, ni entraînement par lessivage.

Les 500 kg. de matière sèche initiale de chaque tas contenaient  $0,543 \times 5 = 2 \text{ kg. } 715 \text{ d'N}$ . Le 11 février, ces 500 kg. étaient réduits (voir tableau 8) à 275 kg. de matière sèche à 0,989 N %, c'est-à-dire ces 275 kg. contenaient  $0,989 \times 275 = 2 \text{ kg. } 719 \text{ d'N}$ . Il n'y a donc pas eu de perte. La différence entre les troisièmes décimales est comprise dans les limites des erreurs analytiques.

C'est sur cette augmentation du taux d'N, due à la diminution de la matière organique, qu'est basé le procédé dit « de soustraction » qui permet d'aboutir à une substance humifiée riche en N, sans apport extérieur de cet élément. Ce procédé a l'inconvénient de nécessiter un temps très long.

L'autre procédé dit « d'addition » consiste à apporter de l'N minéral pour augmenter artificiellement le taux d'N de la matière en décomposition.

Remarquons que, dans notre cas, contrairement à la paille dont une grande partie des glucides est facilement et promptement hydrolysée, le sarment ne cède que lentement et difficilement ses glucides peu polymérisés. Aussi les micro-organismes se développent rapidement dans le cas de la paille dès la mise en tas, alors que, dans le cas du sarment, ce développement ne deviendra vraiment intense qu'après un certain laps de temps. Il est possible qu'il soit avantageux de n'effectuer l'apport d'N qu'environ un mois après la mise en tas, c'est-à-dire quand la flore microbienne aura une nourriture carbonée abondante. La désagrégation du réseau cellulaire du sarment étant

progressive, il conviendra que les apports d'N soient échelonnés dans le temps.

Le 11 février, nous avons apporté 2 kg. 21 d'N dans l'essai I et 3 kg. 36 dans l'essai II.

Les taux théoriques d'N sont obtenus de la façon suivante :

Les 275 kg. de matière restante (M.S.), le 11 février, contiennent 2 kg. 72 d'N.

Dans l'essai I : on aura, après l'apport d'N, une quantité totale d'N =  $2,72 + 2,24 = 4$  kg. 96 d'N.

Teneur théorique de l'essai I =  $4,96 \times 100/275 = 1,80$  N % M.S.

Dans l'essai II :

Quantité totale dans le milieu =  $2,72 + 3,36 = 6$  kg. 08 d'N.

Teneur théorique =  $6,08 \times 100/275 = 2,21$  N % de M.S.

Le 7 mars, la teneur en N dans I a augmenté par rapport à la teneur théorique obtenue le 11 février, alors qu'en II elle a baissé. Le 13 mars, l'évolution s'étant poursuivie dans le même sens, nous obtenons, malgré des doses d'N différentes, la même teneur réelle dans les essais I et II.

D'autre part, en examinant les courbes de température (courbe 1) et la teneur en cendres (courbe 2), nous voyons que la fermentation a été plus active en I qu'en II. Donc une forte dose d'N (essai II) semble être nocive et semble inhiber partiellement la vie microbienne.

Cette inhibition incite la microflore à se débarrasser de cet agent nuisible, elle a recours à la dénitrification. C'est ce que nous observons en comparant les chiffres théoriques que l'on devrait obtenir s'il n'y avait pas dénitrification, et les chiffres réels. Ainsi, le 13 mars, nous devrions obtenir, lors du dosage, un chiffre voisin de 2,73 dans I et 2,91 dans II, or, nous obtenons réellement 1,92 dans les deux essais. La dénitrification a été naturellement la plus intense, là où l'apport d'N a été le plus important.

Remarquons que cette inhibition se retrouve dans les teneurs en N organique, l'essai I présentant une plus grande teneur en N organique que l'essai II ; en effet, la flore microbienne ayant été gênée dans son développement, elle n'a pas pu synthétiser les protéines protoplasmiques à partir de l'N minéral apporté.

D'autre part, tant que l'N n'est pas sous forme organique, il est

sujet à être entraîné par lixiviation et on retrouve une partie de l'N minéral dans le purin artificiel qui se forme au cours de l'humification.

Les pertes d'N sont donc dues, d'une part à la dénitrification, d'autre part au lessivage des formes solubles.

Le 13 mars, les apports d'N ayant été plus faibles (0 kg. 84 d'N en I, 1 kg. 68 d'N en II), l'évolution est encore identique, mais la dénitrification et l'entraînement sont moins forts, comme le montrent les différences entre les chiffres théoriques et les chiffres réels. Même la dose, apportée à II, semble plus favorable au pullulement microbien que celle apportée à I, car, comme l'atteste la courbe de température (courbe 1), la fermentation semble plus active en II. D'ailleurs, à partir du 13 mars, le taux d'N organique croît plus vite en II qu'en I.

Il semble donc que la fraction optima d'N à apporter se situe à 1 kg. 6 dans notre cas, soit environ 3 kg. d'N pour 1.000 kg. de matière sèche.

Lors des apports suivants d'N, nous observons des faits identiques à ceux cités précédemment.

Remarquons que, lors des apports d'N, la dénitrification et le lessivage très intenses au début, se ralentissent dans la suite jusqu'à un moment où la dénitrification et l'entraînement cessent d'exister. La courbe, jusque-là décroissante, devient croissante, le minimum obtenu coïncide avec l'équilibre entre les phénomènes de gain et ceux de perte. Prenons la courbe N total I le 15 avril, le minimum se situe vers le 7 juin et, à partir du 6 juillet, le chiffre théorique calculé correspond avec le chiffre réel obtenu lors du dosage et cela jusqu'à la fin des essais. Cela s'explique du fait que, d'une part, il n'y a plus de dénitrification et que, d'autre part, la quasi-totalité de l'N est sous forme organique qui n'est plus sujette à l'entraînement par lixiviation comme les formes minérales. Il en est de même pour la courbe N total II, mais seulement à partir d'une date plus reculée.

On remarquera que le chiffre d'N organique est légèrement inférieur à celui d'N total.

Nous voyons, d'autre part, la faible différence existant entre les produits obtenus le 15 septembre. L'essai II, ayant eu une dose double d'N à celle reçue par l'essai I, ne possède que 0,36 d'N total p. 100 M.S. de plus que l'essai I. De gros apports d'N ne sont donc pas rentables, surtout, du fait que le produit I est plus décomposé que le produit II comme l'attestent la teneur en cendres, la teneur en carbone et, également l'aspect et la structure des produits humifiés obtenus.



Bilan de l'N :

Les 500 kg. de sarments (M.S.) employés dans chaque essai contenaient 2 kg. 72 d'N.

Essai I :

Apport de 3 kg. 64 d'N + 2 kg. 72 d'N initial = 6 kg. 36 d'N. Les 120 kg. 5 de matière sèche restante (chiffre obtenu à partir du tableau 8), le 15 septembre, ont une teneur de 2,59 N % de M.S., c'est-à-dire ces 120 kg. 5 d'N contiennent 3 kg. 12 d'N.

Pertes d'N au cours de l'humification :

$$6,36 - 3,12 = 3 \text{ kg. } 24 \text{ d'N.}$$

Essai II :

Apport de 7 kg. 28 d'N + 2 kg. 72 d'N initial = 10 kg. d'N. Les 132 kg. de matière sèche résiduelle (voir tableau 8), le 15 septembre, ont une teneur de 2,95 N p. 100 M.S., c'est-à-dire ces 132 kg. contiennent 3 kg. 89 d'N.

Pertes d'N au cours de l'humification :

$$10 - 3,89 = 6 \text{ kg. } 11 \text{ d'N.}$$

*Conclusions relatives à l'apport d'azote.*

L'apport d'une dose double d'N conduit à un produit légèrement plus riche en N que celui obtenu avec une dose simple d'N. Cette faible supériorité du produit II sur le produit I est contre-balancée par la supériorité du produit I sur le produit II, au point de vue de l'humification plus poussée.

Or, un fumier artificiel ne doit pas être, en première ligne, un engrais azoté, mais doit être avant tout un amendement humique. Aussi, sommes-nous d'avis de ne pas employer de fortes doses d'N et de ne pas dépasser 7 N p. 1.000 de sarments (M.S.). Cet apport total devra se faire par fractions ne dépassant pas 3 N p. 1.000 de sarments (M.S.), sinon l'humification est entravée.

Ces résultats confirment d'ailleurs ceux obtenus par SCHULTE (10) dans l'humification des pailles, qui, en accord avec les travaux de HEUE et de SCHMALFUSS, énonce la règle suivante : l'addition d'une forte dose d'N (14 p. 1.000) conduit à un rapport C/N favorable et réduit les pertes au minimum, mais l'humification est alors fortement entravée. On obtient une meilleure décomposition et une plus grande quantité d'humus par addition d'une dose réduite d'N (7 p. 1.000).



c) La teneur en carbone organique C.

Tableau 10 :

Teneurs en carbone organique en fonction du temps.

Dates	I		I + lombrics		II	
	1	2	1	2	1	2
1 <sup>er</sup> janvier .....	46,15	47,6			46,15	47,6
11 février .....	45,2	48,0			45,2	48,0
7 mars .....	44,9	49,2			44,0	47,6
13 mars .....	44,8	49,2			43,7	47,4
4 avril .....	44,5	49,5			43,0	47,0
15 avril .....	44,1	49,2			42,6	46,8
1 <sup>er</sup> mai .....	43,8	49,1			42,2	46,4
1 <sup>er</sup> juin .....	43,0	48,5			41,6	46,4
18 juin .....	42,6	48,4			41,1	46,2
6 juillet .....	42,1	48,1			40,7	45,9
7 août .....	41,5	47,7	41,0	48,3	40,1	45,5
1 <sup>er</sup> septembre .....	41,1	47,4	40,1	48,8	39,7	45,2
15 septembre .....	40,9	47,2	39,3	49,9	39,6	45,1

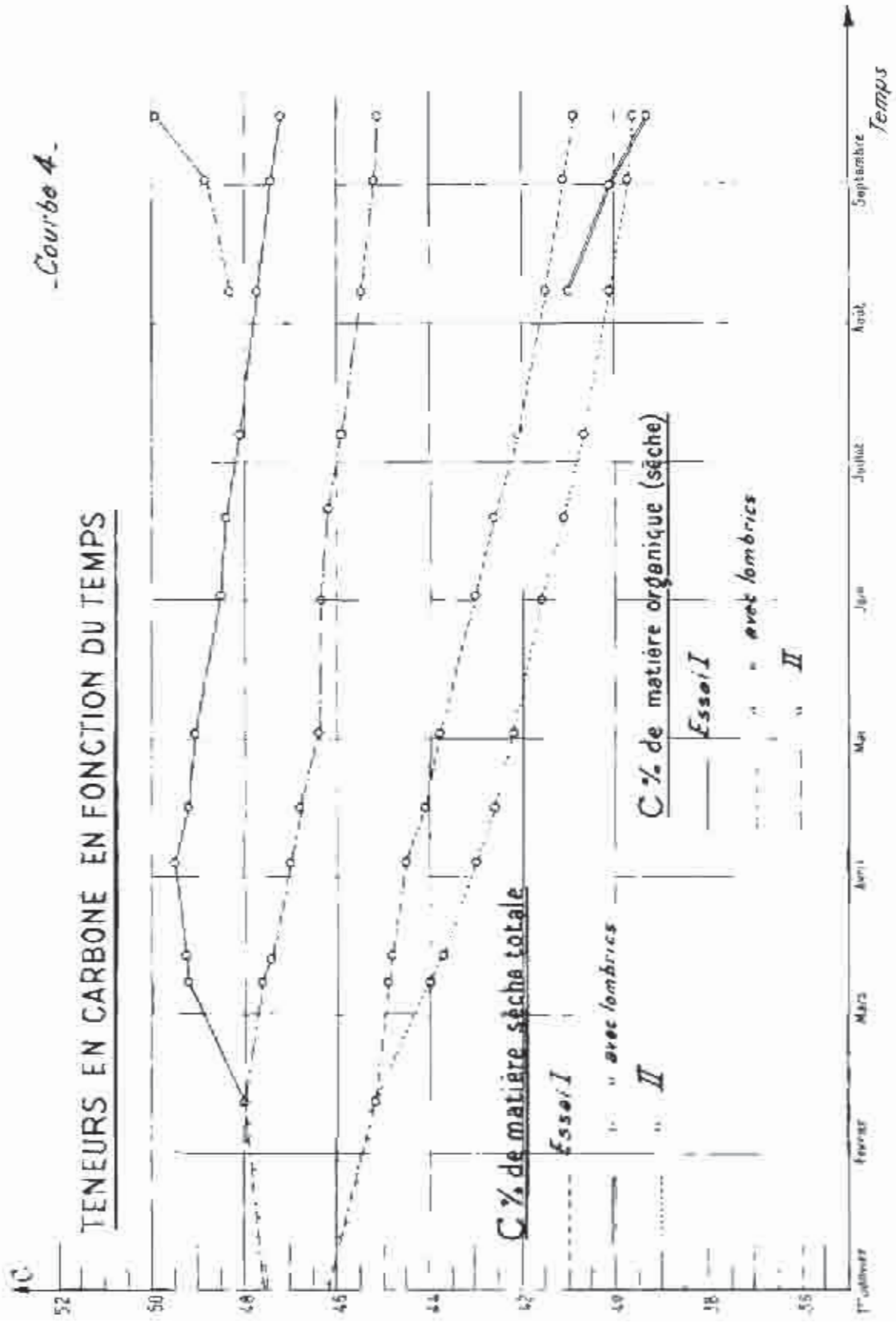
1 = teneur en C organique p. 100 de matière sèche globale.  
 2 = teneur en C organique p. 100 de matière organique sèche dépourvue de cendres.

Méthode analytique : méthode SCHOLLENBERGER-ANNE, modifiée par ANSTETT.

Dans nos essais, la teneur en C p. 100 de matière sèche globale décroît en fonction du temps, tant pour l'essai I que pour l'essai II. Ceci semble être en contradiction avec les faits cités par DEMOLON (11) : « Les lignines renferment 63 à 65 p. 100 de C, tandis que les matières végétales n'en contiennent que 45 à 46 % ; on s'explique ainsi que l'humification soit accompagnée d'une élévation de la teneur en C qui, dans la matière humique, est voisine de 58 % ».

Or, cette contradiction n'est qu'apparente car, la matière végétale, soumise à l'humification, s'enrichit en cendres (matière minérale), ce qui fait nécessairement diminuer le taux de carbone p. 100 de matière sèche globale. Il convient cependant de remarquer que le taux de C p. 100 de M.S. est plus important dans l'essai I qui a subi une humi-

- Courbe A -



fication plus intense que l'essai II, comme le montre la teneur en cendres (courbe 2).

Si, par contre, nous déduisons la teneur en cendres, nous voyons que le taux de C p. 100 de matière organique sèche (dépourvue de cendres) augmente et passe de 47,6 le 1<sup>er</sup> janvier à 48,0 le 11 février. Nous voyons (courbe 4) que, dans l'essai I à décomposition plus active, le taux de C p. 100 de matière organique sèche continue de croître jusqu'au 4 avril, ce qui semble montrer que les glucides peu polymérisés (à faible taux de C) sont consommés par la flore microbienne et qu'il y a accumulation de lignines. La baisse observée, à partir du 4 avril, nous semble imputable à la forte augmentation de la teneur en protéines (celles-ci sont assez pauvres en C), comme le montre d'ailleurs la courbe 3. L'azote organique étant avant tout sous forme protéique.

Quant à l'essai II, la teneur en C est, dans les deux cas, inférieure à celle de I, ce qui prouve que l'essai I a probablement subi une décomposition plus poussée. Dans le cas du taux de C p. 100 de matière organique, nous voyons, comme précédemment, qu'il augmente quand on n'apporte pas d'azote, mais qu'il diminue dès l'apport d'une forte dose d'N (II, le 11 février). On peut donc émettre l'hypothèse que cette forte dose inhibe partiellement la destruction des glucides à faible teneur en C et empêche ainsi l'accumulation de lignines, donc l'augmentation du taux de C et, d'autre part, la formation d'acides aminés fait diminuer le taux de C. La diminution est continue jusqu'à la fin de nos essais et semble, d'après nous, due à la synthèse intense des protéines.

Il nous semble donc qu'un apport d'N fait baisser le taux de C d'une substance végétale en humification, tant par l'inhibition partielle de la destruction des glucides peu polymérisés que par une synthèse active de matière protéique.

d) Le rapport carbone

$$\frac{\text{carbone}}{\text{azote}}$$

Ce rapport, imaginé par WOLFF (12) et confirmé, dans la suite, par HILGARD (13), permet de suivre les humifications et de savoir à quel moment le produit humifié pourra être incorporé au sol, sans effet dépressif pour les cultures.

Tableau 11 :

Variations du rapport C/N en fonction du temps.

(Seules les valeurs réelles obtenues analytiquement, quant à l'azote, sont employées.)

Dates	Rapport $\frac{\text{C organique}}{\text{N total}}$			Rapport $\frac{\text{C organique}}{\text{N organique}}$		
	I	I + lombrics	II	I	I + lombrics	II
1 <sup>er</sup> janvier .....	85,0		85,0	85,0		85,0
11 février .....	45,7		45,7	47,5		47,5
7 mars .....	23,5		22,4	28,4		28,9
13 mars .....	23,3		22,7	26,9		26,9
4 avril .....	20,0		16,6	23,5		21,9
15 avril .....	20,2		16,6	22,4		20,8
1 <sup>er</sup> mai .....	18,0		14,1	21,2		19,0
1 <sup>er</sup> juin .....	18,5		15,3	19,4		17,0
18 juin .....	18,3		15,6	18,9		16,2
6 juillet .....	17,6		13,2	18,3		15,4
7 août .....	16,8	15,3	13,6	17,1	15,6	14,4
1 <sup>er</sup> septembre ....	16,1	13,3	13,4	16,5	13,6	13,9
15 septembre .....	15,7	11,8	13,4	16,3	12,0	13,7

On a employé la teneur de C organique p. 100 de matière sèche globale étant donné que la teneur en N est également rapportée à la M.S. globale.

Le rapport C/N décroît au cours de l'humification, étant donné que le dénominateur : l'N, augmente.

Remarquons que dans ce rapport on considère l'N total, ce qui nous semble un mauvais critère du fait qu'avec des apports d'N minéral la teneur en N total ne donne pas une courbe régulière, mais, comme nous avons vu, une courbe en dents de scie. Ceci se retrouvera dans la courbe représentant les variations du rapport C organique

N total

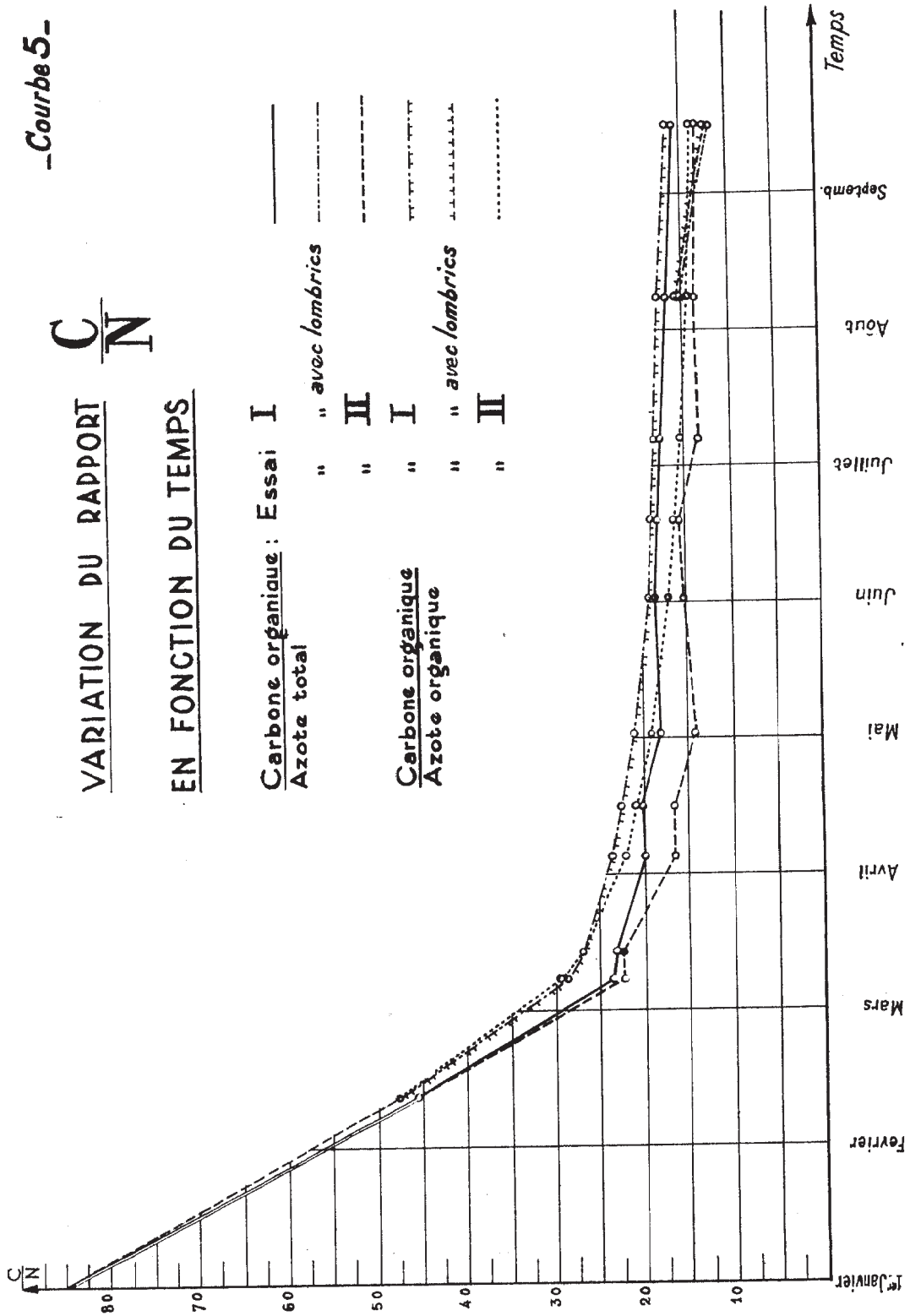
En effet, cette courbe présentera des minima (voir courbe 5). Ainsi, pour la courbe C/N total, essai I, nous observons un minimum le 4 avril, puis le 1<sup>er</sup> mai ; pour celle de l'essai II les minima se situent le 7 mars, le 1<sup>er</sup> mai et le 6 juillet.

- Courbe 5 -

**C**  
**N**

VARIATION DU RAPPORT

EN FONCTION DU TEMPS



Carbone organique : Essai I

Azote total

" " avec lombrics

Essai II

Carbone organique

Azote organique

" " avec lombrics

Essai II

Temps

Septemb.

Aout

Juillet

Juin

Mai

Avril

Mars

Fevrier

1er Janvier

Il nous semble plus logique de considérer le rapport  $\frac{\text{C organique}}{\text{N organique}}$  étant donné le fait que la courbe d'N organique est constamment croissante et donne une image plus exacte des phénomènes d'humification de la matière étudiée. Ainsi, les courbes représentant les variations du rapport C organique/N organique sont des courbes constamment décroissantes.

Voyons l'intérêt de ce rapport :

LEMMERMANN (14), SCHEFFER, KARAPURKAR et d'autres auteurs ont montré qu'une substance humifiée doit avoir un rapport C/N inférieur à 20, sinon l'enfouissement de ces substances aura un effet dépressif sur les cultures. Si le rapport est inférieur à 20, la substance humifiée n'a plus tendance à fixer l'N soluble du sol, alors que s'il est supérieur à 20, les micro-organismes ayant encore une nourriture carbonée abondante se développeront rapidement et absorberont l'N soluble du sol pour former leurs protéines protoplasmiques ; si ce besoin d'azote se manifeste au moment où les plantes supérieures font également un pressant appel aux nitrates, on verra s'établir, entre les infiniment petits et les végétaux supérieurs, une lutte pour la vie préjudiciable au développement des plantes cultivées.

Le rapport C/N nous indique donc le moment à partir duquel le produit humifié pourra être employé. Ce moment est déterminé par l'intersection de la courbe C/N et de la droite parallèle à l'abscisse d'ordonnée 20. Si nous considérons le rapport C organique/N total, le produit I pourra être utilisé comme amendement humique à partir du 4 avril, le produit II à partir du 22 mars. Mais, comme il a été dit, cet N total comprend une forte proportion d'N minéral qui sera sujet à un entraînement dans le sol, d'où possibilité d'une action dépressive de cette fumure dans la suite. Il est donc préférable de s'en tenir au rapport C organique/N organique ; dans ce cas, le rapport sera égal ou inférieur à 20 à partir du 18 mai pour l'essai I, soit après 138 jours, et à partir du 23 avril, soit après 113 jours, pour l'essai II.

Nous voyons, d'autre part, la faible action d'un apport double d'N sur la rapidité d'utilisation du produit humifié. L'avance de 25 jours du produit à haute dose d'N sur celui à faible dose a peu d'importance, cette avance n'étant qu'environ  $\frac{1}{6}$  de la durée totale d'humification.

L'ensemble de nos essais prouve donc que l'apport de fortes doses d'N est à prohiber, tant au point de vue de la décomposition des sar-

ments qui est partiellement inhibée, que du point de vue économique, étant donnée l'augmentation du prix de revient.

4°) *L'influence de l'acide phosphorique et de la potasse :*

Certains auteurs (1) préconisent l'apport non seulement d'un engrais azoté, mais aussi d'engrais phosphaté et potassique pour activer la fermentation.

A ce sujet, de nombreux chercheurs, entre autres FLIEG (2), ont montré que la paille contient une quantité de  $P_2O_5$  et de  $K_2O$  suffisante à la vie microbienne et que l'apport d'acide phosphorique et de potasse ne produit aucun effet sur les phénomènes d'humification. Or, comme nous avons vu, la composition du sarment est voisine de celle de la paille, les mêmes conclusions semblent donc pouvoir être appliquées à l'humification des sarments.

Tableau 12 :

Teneurs du fumier artificiel obtenu le 15 septembre :

Chiffres réels et chiffres théoriques relatifs à la teneur en acide phosphorique et en potasse.

Essai	Teneur en $P_2O_5$ % de M.S.		Teneur en $K_2O$ % de M. S.	
	réelle	théorique	réelle	théorique
I .....	1,001	1,008	1,678	2,875
II .....	0,911	0,920	1,585	2,625

D'autre part, nos essais (tableau 12) montrent qu'une partie de la potasse a été libérée lors de la destruction du réseau cellulaire dans lequel elle était incluse et a été entraînée par lixiviation, en effet, on la retrouve dans le purin artificiel. Si la population microbienne avait eu un réel besoin en potasse, elle se serait servie de cette potasse libre. Or, ce n'est pas le cas, car, seules les formes libres, comme pour l'azote d'ailleurs, sont entraînées ; les éléments englobés dans un complexe organique résistent, par contre, au lessivage.

Il semble que pour l'acide phosphorique il n'y a pas eu d'entraînement.

Il est donc plus rationnel d'apporter directement la potasse au sol, uniquement en fonction de ses besoins, sans faire intervenir cet élément dans le fumier artificiel.



Si la question est nettement tranchée quant à la potasse, elle l'est moins quant à l'acide phosphorique à cause des complexes phosphohumiques. A ce sujet, THENARD (15), en 1861, avait déjà soupçonné la combinaison humus-acide phosphorique quand il disait : « ...tandis que le sucre et l'ammoniaque ne réagissent pas l'un sur l'autre à une température moindre de 140°, le phosphate d'ammoniaque neutre, et même basique, a, dès 80°, une action des plus vives, car, outre de l'acide carbonique, il se produit, dans son contact avec le sucre, des substances carbo-azotées de la série fumique et peut-être des substances phospho-fumiques ».

Il peut donc être intéressant d'ajouter des engrais phosphatés aux sarments en décomposition, afin de former des humophosphates dont la rétrogradation dans le sol est très lente, d'où une meilleure utilisation de l'apport phosphoré par la plante.

D'après les travaux de FLIEG (2), un apport de phosphates bruts à un fumier artificiel n'agit guère sur la formation de complexes phospho-humiques, étant donné que les phosphates bruts ne sont presque pas solubilisés. Il recommande, au contraire, un apport de phosphore soluble comme les superphosphates, les scories, etc...

En conclusion, nous dirons :

1°) un apport de potasse est contre-indiqué, car elle n'a aucune action sur l'humification et, d'autre part, cette potasse est sujette à être lessivée ;

2°) un apport d'acide phosphorique soluble semble être recommandable. Nous nous proposons, au cours de nouvelles recherches, de préciser ce point.

5°) *L'action des vers de terre :*

Le 17 août, nous observions, dans l'essai I, une zone de 20 cm. de diamètre qui grouillait de lombricidés. Cette zone était caractérisée par la présence d'un produit très décomposé où on ne reconnaissait plus le matériel initial : les sarments, et qui présentait l'aspect d'un terreau de haute qualité.

L'analyse révéla que :

1°) La teneur en cendres est supérieure à celles observées dans le reste de l'essai I et dans l'essai II (voir courbe 2) ;

2°) La teneur en carbone p. 100 de matière organique dépourvue de cendres est supérieure à celle des essais I et II (voir courbe 4) ;

On conclut que la décomposition des sarments a été plus active.



3°) La teneur en N total, comme celle en N organique, se situe entre celles de l'essai I et de l'essai II. Cette augmentation de la teneur en N est une suite de la décomposition plus prononcée.

Le 1<sup>er</sup> septembre, la zone plus humifiée avait déjà atteint 60 cm. de diamètre et, le 15 septembre, cette zone s'était encore plus étendue. Les analyses montrent que l'évolution s'est poursuivie dans le sens d'une humification plus poussée, avec une teneur en N très élevée.

L'examen de la courbe 4, relative à l'essai I avec lombrics, est très instructif. En effet, la teneur en C p. 100 de matière organique sèche s'élève, comme nous avons vu, jusqu'à un certain maximum, après quoi la courbe devient décroissante puis, par l'action des lombrics, elle redevient croissante.

Dans ce cas, nous avons donc trois phases :

La première phase croissante est probablement due à la destruction des glucides pauvres en carbone.

La deuxième phase décroissante semble imputable à une synthèse intense de protéines qui sont relativement pauvres en C, synthèse dont les effets annulent ceux de la première phase.

La troisième phase est à nouveau croissante grâce à l'action des lombrics. Les analyses nous montrent (courbe 3) que l'azote s'accumule dans le milieu. Or, si cet azote reste sous forme protéique, le taux devrait décroître, or il augmente. Il nous semble que cet enrichissement en C peut s'expliquer par une intégration directe de l'N dans l'édifice chimique de la lignine ; l'N ne serait plus sous forme protéique, mais serait directement combiné à la lignine. Ceci se confirme d'ailleurs par le fait que l'N d'un matériel très décomposé est difficilement libérable, donc peu utilisable par la plante, étant donné qu'il se trouve intégré dans le complexe lignique.

Il semble donc que les lombrics favorisent l'humification. Quant aux mécanismes de cette action, on ne peut, pour l'instant, qu'émettre des hypothèses.

Les travaux sont en cours, ils sont destinés à voir si les lombrics activent directement ou indirectement l'humification.

Remarquons que l'humification étant très poussée, la décomposition se réduit, avant tout, à celle des lignines, les autres glucides ayant déjà disparu.

## II. — Les caractéristiques des produits obtenus

1°) Qualités des produits humifiés le 15 septembre :

Tableau 13 :

Composition chimique des produits humifiés le 15 septembre.

	% de matière fraîche		% de matière sèche	
	I	II	I	II
Humidité .....	80	81,4		
Cendres .....	2,70	2,29	13,5	12,3
Carbone organique .....	7,82	7,36	39,1	39,6
Azote total .....	0,518	0,548	2,59	2,95
Azote organique .....	0,502	0,537	2,51	2,89
Acide phosphorique en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	0,200	0,169	1,00	0,91
Potasse en K <sub>2</sub> O .....	0,335	0,295	1,68	1,58

A titre de comparaison, nous donnons les chiffres cités par WAKSMAN (9) au sujet de l'analyse de 284 échantillons de fumier de ferme.

Tableau 14 :

Composition chimique du fumier de ferme.

	% de matière fraîche
Humidité .....	73 à 83
Azote total .....	0,25 à 0,65
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	0,10 à 0,40
K <sub>2</sub> O .....	0,30 à 1,10

Nous en déduisons que les produits que nous avons obtenu sont de composition voisine de celle du fumier de ferme.

Nos fumiers artificiels présentent une légère carence potassique due à l'entraînement par lessivage. Ceci montre l'intérêt d'effectuer l'humification des sarments de vigne en fumières munies d'une fosse à purin permettant de récupérer une partie de l'azote et une partie de la potasse.

Quant à l'aspect des produits, ils ressemblent à un bon terreau de jardinier. La couleur est brun-noir.

Différents praticiens pourraient craindre que le fumier artificiel de sarments de vigne favorise le développement du pourridié. Dans un milieu en fermentation, nous avons une flore bactérienne et fongique qui est en lutte continuelle. Non seulement les champignons sécrètent des substances bactériostatiques (ex. : pénicilline, streptomycine, etc...), mais ils excrètent aussi des substances fongostatiques inhibant le développement de leurs congénères. Ainsi, WEINDLING (16) a montré l'action antagoniste des champignons contre les champignons et il cite le cas de *Trichoderma lignorum* (champignon fréquent dans les milieux ligneux en décomposition comme les sarments) qui, par la sécrétion de produits fongostatiques actifs, inhibe et lyse les pourridiés, en particulier les *Armillaria*.

Cette crainte du pourridié ne semble donc pas être fondée.

#### 2°) Quantités de produits obtenus.

Le 15 septembre :

D'après le tableau 8, l'essai I fournit, à partir de 500 kg. de sarments (M.S.), 120 kg. 5 de matière sèche, ce qui correspond à 602 kg. 5 de fumier artificiel à 80 % d'humidité. Dans l'essai II, la fermentation a engendré, à partir de 500 kg. de sarments (M.S.) 709 kg. 6 de fumier artificiel à 81,6 % d'humidité, ce qui correspond à 132 kg. de matière sèche.

Cependant, nous avons vu (courbe 5) que le produit, d'après le rapport C organique/N organique, est déjà utilisable à partir du 23 avril, soit après 113 jours dans l'essai II et à partir du 18 mai, soit après 138 jours d'humification, dans l'essai II.

Le 18 mai pour l'essai I :

Les 500 kg. de sarments (M.S.) sont réduits à 145 kg. de M.S., ce qui correspond à 725 kg. de fumier artificiel à 80 % d'humidité.

Le 23 avril pour l'essai II :

Les 500 kg. de sarments (M.S.) sont réduits à 188 kg. de M.S., ce qui correspond à 940 kg. de fumier artificiel à 80 % d'humidité.

En définitive, on peut dire qu'une tonne de sarments secs engendrent, après 140 jours d'humification, environ 1,4 à 1,8 tonne de fumier à 80 % d'humidité et, après 240 jours d'humification, environ 1,2 à 1,4 tonne de fumier à 80 % d'humidité.

En prenant une production moyenne de sarments de deux tonnes par hectare et par an et en considérant un domaine de 50 ha. de vignes, on récoltera, chaque année, 100 tonnes de sarments qui donneront environ 150 tonnes de fumier artificiel. En comptant comme une fumure normale l'apport de 20 tonnes de fumier par hectare, ces 150 tonnes permettront donc de fumer, chaque année, 7 ha. 5 de vignoble. Donc, chaque pièce recevra une fumure organique tous les 7 ans environ.

### III. — Etude économique

#### *Prix de revient du fumier artificiel de sarments de vigne*

Le sarment de vigne est un sous-produit n'ayant, en général, pas de valeur marchande et n'ayant, à l'intérieur de l'exploitation, qu'une utilisation réduite. Le sarment peut donc être considéré comme une matière sans valeur commerciale, tandis que la paille trouve une demande assez importante dans les régions qui en sont dépourvues.

#### 1°) *Préparation de la matière première :*

Le ramassage devant se faire de toute façon, il n'intervient donc pas dans le prix de revient. La première opération qui intervient dans le prix de revient est le transport à la ferme.

#### a) *Le transport à la ferme.*

La dépense engendrée par le transport à la ferme dépendra naturellement du volume que l'on peut transporter chaque fois, en effet, c'est le volume et non le poids qui est gênant, car les sarments se tassent mal, on compte généralement 50 kg. au mètre cube et, en brélant énergiquement, on arrive à 70 kg. (4). La dépense sera naturellement proportionnelle à l'éloignement du vignoble de la ferme où se trouve généralement le broyeur ou plus exactement le hacheur. La dépense essentielle se rapporte surtout à la main-d'œuvre employée au cours de cette opération.

Cependant, cette opération étant variable vu les nombreux facteurs qui interviennent, il est très difficile de chiffrer la dépense. L'imprécision d'un chiffre donné nous conduit à nous abstenir de

chiffrer cette dépense. Nous en tiendrons compte en majorant le prix de revient.

Si, dans le vignoble, on trouve un point d'eau, on pourra hacher les sarments sur place et y effectuer la mise en tas et l'humification. Dans ce cas, les dépenses précitées disparaissent presque complètement.

Comme l'humification ne nécessite pas de cuve, cette dépense n'intervient pas. Mais, si on possède une cuve ou une fosse non occupée, on aura intérêt à l'utiliser afin de récupérer une partie de l'azote et une partie de la potasse.

b) Le hachage des sarments.

Nous citerons d'abord les caractéristiques des deux modèles de « broyeur » de sarments fabriqués par les Etablissements Blachère, à Hussein-Dey (Alger).

Petit modèle de broyeur à couteaux :

- Débit : 10 qx/heure ;
- Puissance nécessaire : 8 chevaux, soit 6 KWH ;
- Prix : 242.000 francs (le 10 octobre 1950).

Grand modèle de broyeur à couteaux :

- Débit : 15 qx/heure ;
- Puissance nécessaire : 12 à 15 chevaux, soit 9 à 11 KWH ;
- Prix : 281.300 francs (le 10 octobre 1950).

Dans nos calculs de prix de revient, nous nous baserons sur les chiffres obtenus au cours d'essais par M. BASTET, Professeur de Génie Rural à l'E.N.A.A., qui a bien voulu nous les communiquer.

Débit en une heure : 1.340 kg. de sarments à 8 % d'humidité.

Main-d'œuvre : 7 hommes.

Puissance utilisée : 10 KWH.

Ceci correspond aux dépenses suivantes :

Main-d'œuvre (une heure est payée 25 fr.)	.....	175 fr.
Puissance (1 KWH force = 15 fr.)	.....	150 fr.

Soit une dépense, pour 1.340 kg. de sarments .... 325 fr.

Le hachage de 1.000 kg. de sarments revient donc à environ 250 fr.

c) La mise en tas.

Afin d'éviter des transports inutiles, on peut s'organiser de manière que les sarments hachés tombent dans la fumière ou à l'endroit choisi pour l'humification. Nous négligeons donc cette opération.

2°) *Transformation de la matière première :*

a) L'apport d'N.

Nous avons vu qu'une forte dose d'N n'active pas l'humification, au contraire qu'elle la réduit. Prenons donc l'essai I où nous avons apporté 7 kg. 28 d'N sous forme de nitrate d'ammonium pour 1.000 kg. de matière sèche (sarments). Le prix de 100 kg. de  $\text{NO}^3\text{NH}^4$  à 34,5 N % était fixé, par deux arrêtés pris le 14 mai 1950 par le B.O.S.P., à 2.775 fr. 46, soit 2.800 fr. environ. 1 kg. d'N revient donc à environ 82 fr. et nos 7 kg. 28 à environ 600 fr.

b) L'arrosage de la matière en humification.

L'arrosage est, comme nous avons vu, une opération essentielle pour l'obtention d'un produit bien humifié. L'arrosage du tas, tel qu'il a été effectué dans nos essais, nécessitait 60 litres d'eau par tonne et par arrosage. Cet arrosage, qui se faisait avec un arrosoir, demandait 20 minutes à un homme, soit une dépense de  $25 : 3 = 8$  fr. 33 chaque fois. Quant au nombre d'arrosages, il est variable selon que l'on s'arrête après 140 jours d'humification ou plus. Comme il a été vu, le produit est mûr après 140 jours, dans ce cas 10 à 12 arrosages sont suffisants. Nous négligeons le prix de l'eau car nous comptons largement la main-d'œuvre, étant donné que dans une exploitation on emploiera non pas un arrosoir, mais un tuyau. En ne comptant que la dépense de main-d'œuvre, les arrosages nous reviennent à 100 fr.

3°) *Bilan :*

En récapitulant, nous avons les dépenses suivantes relatives à une tonne de sarments.

Hachage .....	250 fr.
Azote .....	600 fr.
Arrosages .....	100 fr.
Total .....	<u>950 fr.</u>

Cette tonne de sarments, en arrêtant l'humification après 150 jours environ, c'est-à-dire quand le rapport C organique/N organique est égal ou inférieur à 20, engendre environ 1 tonne 5 de fumier à 80 % d'humidité.

Le prix de revient d'une tonne de fumier est donc  $950 : 1,5 = 633$  fr., soit environ : 650 francs.

4°) *Rentabilité de la fabrication de fumier artificiel de sarments de vigne :*

Jusqu'à présent, nous n'avons pas parlé de l'amortissement du broyeur, or, c'est précisément de cet amortissement que dépendra la rentabilité de l'opération.

Du fait que l'on trouve, dans toute exploitation, un moteur de 10 chevaux ou plus, on peut négliger l'amortissement de la source d'énergie.

Prenons le petit modèle de broyeur, il coûte 242.000 fr. On compte environ 10 ans pour l'amortissement d'un broyeur de sarments, en fait, il dure plus longtemps. Cela revient donc à 24.200 fr. d'amortissement chaque année.

Le prix à l'achat du fumier de ferme oscille, actuellement, entre 800 et 2.000 fr. la tonne, selon les frais de transport et la demande. Or, cette demande est surtout importante dans les régions viticoles qui sont dépourvues de paille et d'élevage, aussi le prix du fumier y sera-t-il élevé. C'est ce prix qui conditionnera la rentabilité de la fabrication de ce succédané de fumier de ferme.

Prenons 1.000 fr. comme prix d'une tonne de fumier, prix minimum certainement. Rappelons, à ce sujet, que certains fumiers artificiels de paille ont été vendus 1.500 fr. la tonne.

Le viticulteur fabriquant du fumier de sarments gagnera donc, par tonne de fumier,  $1.000 - 650 = 350$  fr. Pour amortir le broyeur, il devra, chaque année, fabriquer, au moins,  $24.200 : 350 = 69,1$  soit 70 tonnes de fumier de sarments, ce qui correspond à environ 47 tonnes de sarments (M.S.).

Selon la productivité en bois du vignoble, l'amortissement du broyeur sera assuré avec une surface variant de 25 ha. (2 tonnes par hectare et par an) à 50 ha. (1 tonne par hectare et par an) de vignoble.

Si nous nous basons sur le prix du fumier artificiel de paille, soit 1.500 fr., l'opération devient rentable à partir d'une production de 30 tonnes de fumier, ce qui correspond à une surface de 10 à 20 ha. de vignoble.

Plus la quantité de fumier fabriqué sera importante, plus le prix de revient sera faible. Si on en fabrique 70 tonnes, le prix de la tonne sera de 1.000 fr., si on en fabrique 200 tonnes, le prix ne sera plus que de 771 fr. la tonne.

Remarquons que dans les zones de petites propriétés viticoles, cette source d'humus peut également être exploitée grâce à la création de coopératives de broyage.

*Conclusions relatives  
à l'étude économique de la fabrication de fumier artificiel  
de sarments de vigne*

Outre l'intérêt de créer de l'humus à partir d'une matière qui est généralement perdue, l'étude économique nous montre qu'il est ainsi possible d'obtenir un fumier assez bon marché à condition d'en fabriquer une quantité suffisante à l'amortissement du matériel. Le prix de revient est inversement proportionnel à la quantité de sarments transformés en fumier.

*Remarques :*

Nous précisons que les chiffres cités sont donnés à titre indicatif, la rentabilité de l'opération étant variable selon les diverses conditions de milieu.



## C. — CONCLUSIONS

L'humification des sarments de vigne est une opération facilement réalisable.

Il convient de maintenir l'humidité de la masse en fermentation au voisinage de 75 p. 100.

L'apport de 5 à 7 kg. d'azote p. 1.000 kg. de sarments (M.S.) est suffisant. Nos essais montrent même qu'un apport supérieur d'azote est préjudiciable aux phénomènes d'humification.

Cet apport d'azote devra être fractionné en doses partielles ne dépassant pas 3 N p. 1.000 de sarments (M.S.).

Un apport de sel de potasse n'est pas nécessaire du tout, par contre un apport de phosphates solubles peut être recommandé.

Le produit humifié peut être employé après 4 à 5 mois d'humification, sans effet dépressif pour les cultures.

Les sarments humifiés ont une composition chimique voisine de celle du fumier de ferme.

Le rendement en fumier artificiel est le suivant : une tonne de sarments (M.S.) donne 1 tonne 5 de fumier à 80 % d'humidité.

L'étude économique nous montre que la rentabilité de cette source d'humus est proportionnelle à la quantité de fumier fabriqué. A partir de 30 à 40 ha. de vigne, on est presque sûr que l'opération est rentable.

Ainsi, à partir d'une matière généralement dédaignée, le viticulteur a la possibilité de pallier la carence humique de son vignoble et de reconstituer un stock de matière organique dans sa terre, sans lequel elle évolue irrémédiablement à une perte de structure et par cela même à la perte de sa fertilité. Les sols viticoles ayant déjà évolué dans ce sens pourront, grâce à cette source d'humus, recouvrer leur vitalité et leur fertilité aujourd'hui en voie de disparition.

Il conviendra que tout viticulteur ait conscience de la faim en humus de ses terres et de l'effort à fournir afin d'empêcher que l'évolution actuelle ne se poursuive. Les possibilités d'y remédier lui sont données dans sa propre exploitation ; c'est à lui d'en faire usage.

MAISON-CARREE, le 12 octobre 1950.

A. ANSTETT.

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) M. MARTY. Utilisation rationnelle des sarments de vigne.
- (2) O. FLIEG, Untersuchungen über Herstellung und Wirkung von künstlichen Stallmist, IG Farben.
- (3) BOUSSINGAULT, *Economie rurale*, 2<sup>e</sup> édition 1854.
- (4) A. BASTET. Sur l'emploi des sarments de vigne comme source d'énergie pour les moteurs à combustion interne, *Ann. I.A.A.*
- (5) LEHNIS, *Cbl. Bakl.* II 15, 92, 1905.  
KÖCHL, *Mitl. der D. L. G.* 173, 1910.
- (6) Cité in « Humus », par WAKSMAN (traduc. française, Centre de Versailles), p. 40.
- (7) P. THENARD, Considérations sur la formation de certaines matières azotées, en particulier de l'acide fumique, *C. R. Acad. Sc.* 52, 444, 1861.
- (8) L.-C. MAILLARD, *Genèse des matières protéiques et des matières humiques*, Masson, Paris, 1913.
- (9) S.-A. WAKSMAN, *Humus* (trad. française, Versailles), p. 72, 122-123, 200.
- (10) SCHULTE, Contribution à l'étude de l'humification des pailles, *Ann. Agron.*, p. 310, 1941.
- (11) - A. DEMOLON, *Dynamique du sol*, p. 358, 1948.
- (12) WOLFF, *Die naturgesetzlichen Grundlagen des Ackerbaues*, I, 265, 1854.
- (13) - HILGARD, *D. landw. Preus.*, 22, 490, 1895.
- (14) LEMMERMANN, cité par WAKSMAN in « Humus » (trad. franç.), p. 205.
- (15) P. THENARD, Note sur l'action réciproque des phosphates, de l'ammoniaque et de divers corps neutres organiques les uns sur les autres, *C. R. Acad. Sc.* 53, 1019, 1861.
- (16) WEINLING, *Trichoderma lignorum* as a parasite of other soil fungi, *Phytopath.* 22, 837-845, 24, 1153-1179, cité in « Antagonismes microbiens et substances antibiotiques », par S.-A. WAKSMAN (trad. française par J. DUCHE).
- (17) Cité par Didier BERTRAND in « Le phosphore et son rôle en biologie », p. 81.