ETUDE MICROBIOLOGIQUE DES SOLS DU VIGNOBLE SAUTERNAIS

B. PUCHEU-PLANTE
Institut d'Œnologie - Université de Bordeaux II
351, cours de la Libération, 33405 Talence

INTRODUCTION

La composition quantitative et qualitative de la microflore tellurique résulte de l'interaction de différents facteurs : sol, climat et végétation, qui rendent difficile l'interprétation des résultats. Quelques travaux portent sur des thèmes bien précis tels que l'influence des excrétions radicellaires de la vigne par SADOVSKAYA (1959) ou bien l'étude de la rhizosphère de **Vitis vinifera** par VIDAL et LEBORGNE (1963) mais la plupart des travaux concernent la dégradation chimique et biologique de ces sols sous l'action des traitements sulfocupriques.

En ce qui concerne le vignoble bordelais, les travaux de POCHON et **al.** (1962) sur les sols viticoles du Médoc montrent l'incidence des doses élevées de cuivre et de soufre sur la microflore bactérienne. BAROUX (1972), étudie les effets de la toxicité du cuivre sur l'ammonification dans des sols de la région de Saint-Emilion. POUGNARD (1967), a comparé qualitativement et quantitativement la microflore fongique des vignobles de Sauternes et de Saint-Emilion. Actuellement, DONECHE (1974), étudie les effets des traitements au mancozèbe sur la microflore des sols de différents crus du Bordelais.

Les prélèvements effectués en 1972 dans la région de Sauternes, nous ont permis de comparer l'état de la microflore et de suivre l'activité de certains groupements physiologiques en fonction :

— **des variations saisonnières.**

— **des types de sol.**

— **de la topographie.**

REGION D'ETUDE

A. PRESENTATION GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DE LA REGION ETUDIEE.

Couvrant une superficie de plus de 2.000 ha, le vignoble de Sauternes et Barsac est situé à 40 kilomètres au Sud-est de Bordeaux en remontant la rive gauche de la Garonne. GALET (1962), définit ainsi l'aire de répartition du vignoble : « Seuls ont droit à l'appellation Sauternes, les vins blancs récoltés sur les territoires délimités des communes de **Sauternes, Bommes, Fargues, Preignac et Barsac,** à l'exclusion des parcelles situées sur les alluvions modernes et celles destinées à la culture forestière » (fig. 1). Elle est donc située sur les deux rives du Ciron et limitée par la Garonne au Nord et la forêt de pins maritimes au Sud et à l'Est.

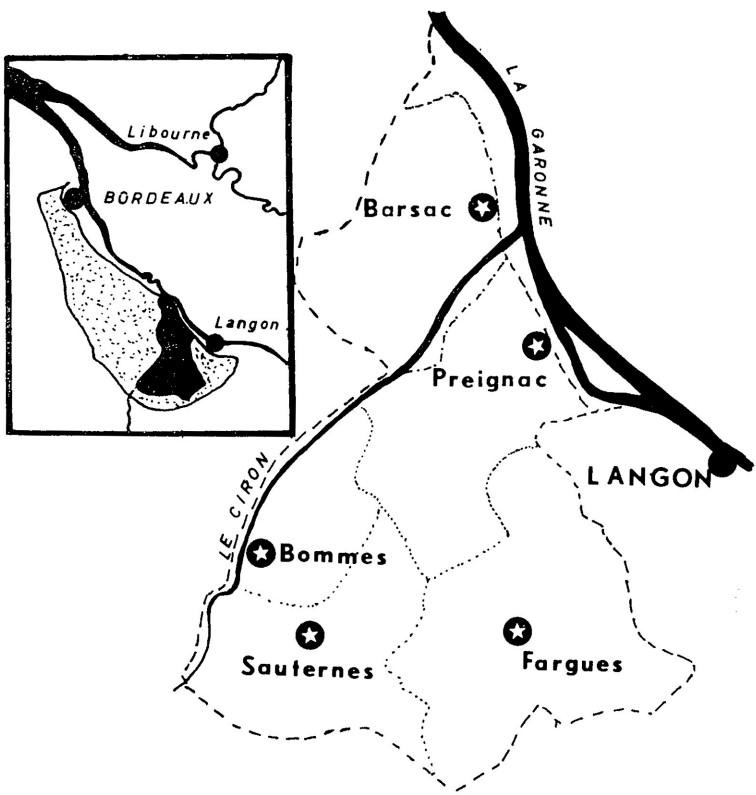


Fig. 1. — Aire de répartition du vignoble sauternais

La roche mère de ces sols est constituée essentiellement de terrains plio-quaternaires avec quelques affleurements du Stampien et de l'Aqui-

tanien. Le Stampien affleure dans la région de Barsac sous le faciès du calcaire à Astéries. Les terrains plio-quaternaires recouvrent d'une manière générale les sédiments précités sur des épaisseurs variables.

La majeure partie du vignoble est située sur les anciennes terrasses de la Garonne et du Ciron (terrasses a ^{1a} de la carte géologique, nappe alluviale externe « n » de FABRE). Ces terrasses sont constituées de sédiments gravelo-sableux hétérogènes, reposant sur un soubassement argileux ou calcaire. Elles ont subi une érosion hydroéolienne, qui les a découpé en croupes. Ces croupes dont l'altitude varie de 30 à 80 mètres constituent au sud le Haut-Pays Sauternais **(Bommes, Fargues et Sauternes)** par opposition à un pays plat bordant la Garonne **(Preignac et Barsac).**

B. CLIMAT.

Cette région est située dans la zone de climat océanique dit Aquitain. La moyenne du mois de janvier est de + 5°2 C (Celsius), celle du mois de juillet s'établit autour de + 20 °C (**Sauternes :** Château d'Yquem 1951 - 1973). L'hiver y est généralement humide et les gelées s'étalent de novembre à avril. La moyenne annuelle des précipitations est de 860 mm. Les climatogrammes (fig. 2) correspondent, l'une à la moyenne de la pluviométrie et de la température mensuelle de 1951 à 1973, l'autre à la moyenne de 1972. L'année d'étude a été caractérisée par un hiver à pluviométrie et températures supérieures à la normale. L'été fut particulièrement sec en juin et juillet mais marqué par une pluviosité exceptionnelle au mois d'août (136,5 mm en 7 jours).

Les différents prélèvements de sol correspondent donc à des périodes de pluviosité et de températures variées.

La microflore tellurique dépendant de ces facteurs, il nous a semblé important de donner dans le tableau n° I, les caractéristiques moyennes thermiques et pluviométriques durant les deux semaines précédant le prélèvement.

C. SOLS ETUDIES.

Les prélèvements ont été effectués sur trois parcelles gravelo-sableuses situées dans les communes de **Bommes** et **Sauternes.** Ultérieurement, une étude sera réalisée dans la région de Barsac.

Les parcelles choisies sont situées sur les flancs de croupes gravelo-

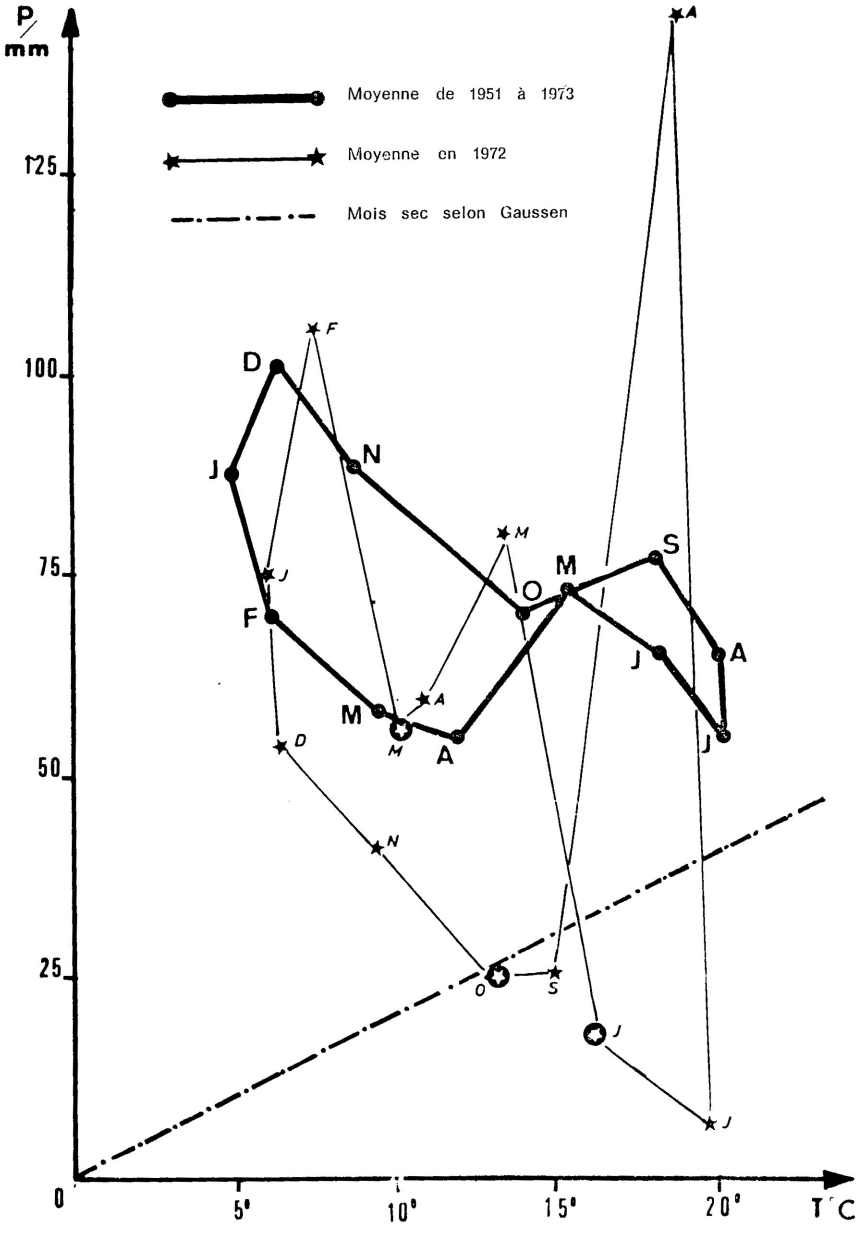


Fig. 2. — Climatogrammes du Sauternais

sableuses. Dans chaque parcelle, désignée par une lettre, nous avons étudié deux zones, l'une dans la partie haute (n° 1), l'autre dans la partie basse (n° 2). Un sol de prairie limono-sableux (R) a servi de référence.

TABLEAU I

Caractéristiques thermiques et pluviométriques de la période précédent le prélèvement

	4 Mars	9 Juin	18 Octo.
Moyenne des T° minimales	3°8	10°1	8°5
Moyenne des T° maximales	12°	21°5	19°8
Pluie (mm)	52,5	18,4	12,8
Etat du sol au moment du prélèvement	Sol très humide	Sol sec	Sol trés sec

D. VEGETATION.

Les parcelles étudiées ont été replantées en Semillon depuis une vingtaine d'années. (Le Sémillon représente 80 % de l'encépagement du Sauternais).

Le sol R est couvert par une prairie naturelle permanente, non paturée depuis plus de cinquante ans, situé au voisinage de la parcelle C.

La végétation est constituée de graminées **(Anthoxanthum odoratum)** et de diverses plantes telles que le **Trifolium pratense, Viscia sp, Plantago lanceolata** et **Medicago lupulina.**

MATERIEL ET TECHNIQUES ANALYTIQUES

A. PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS DE SOL.

Les échantillons de terre sont prélevés stérilement dans l'horizon de surface (5 — 15 cm) après dégagement de la couche superficielle. Les prélèvements sont réalisés au hasard autour des pieds de vigne sur l'alignement et au milieu de chaque rang. Chaque prise d'environ 5 g est placée dans un sac stérile en polyéthylène. Le poids de terre ainsi recueilli n'excède pas 1,5 kg.

B. PREPARATION DES ECHANTILLONS.

La terre séchée à l'air est passée au tamis AFNOR n° 34 (maille de 2 mm) pour séparer la fraction grossière de la fraction fine. (Les plus gros cailloux n'ont pas été prélevés). Après homogénéisation, la terre est stockée dans des poches en papier Kraft doublées intérieurement de polyéthylène.

C. METHODES D'ANALYSE PHYSICO-CHMIQUE.

L'analyse physico-chimique des échantillons de sol a été réalisée sur la terre fine.

— **Analyse granulométrique** : méthode à la pipette de Robinson ; les sables fins et grossiers sont séparés par tamisage.

— **Humidité actuelle** : passage à l'étuve à 105 °.

— **Matière organique** : obtenue en multipliant la teneur en carbone par 1,72.

— **Humidité équivalente** : mesurée sur la terre fine par la méthode de LEBEDEFF modifiée compte tenu des travaux de BONNEAU (1961).

— **Carbone organique** : dosé par la méthode ANNE modifiée.

— **Azote total** : dosé par la méthode de KJELDAHL.

— **Azote ammoniacal et nitrique** : dosé selon la technique de DROUINEAU et GOUNY.

— **Cations métalliques échangeables** : dosés sur le percolat à l'acétate d'ammonium neutre et normal.

K^+ et Na^+ par photométrie de flamme.

Ca^{++} par absorption atomique.

Cuivre échangeable et cuivre total dosés par spectrophotométrie d'absorption en présence de bis-cyclohexanone oxyldihydrazone formant en milieu alcalin avec les ions Cu^+ et Cu^{++} un complexe stable coloré en bleu.

Mg^{++} : extrait au chlorure de calcium 0,025 N est dosé par spectrophotométrie d'absorption (méthode de SCHACHTSCHABEL).

— **Somme des cations métalliques échangeables (S)** obtenue par addition des différents cations dosés.

— **Capacité d'échange (T)** : méthode de MEHLICH.

— **Taux de saturation du complexe absorbant** : $V = S/T \times 100$.

— **pH** : mesuré dans l'eau après 24 h. de mise en suspension, le rapport sol/liquide étant de 1/2,5.

— **Fer libre** : dosé par la méthode de DEB modifié.

— **Acide phophorique** : dosé par la méthode de TRUOG.

Les résultats sont exprimés en pour cent ou en milliéquivalents pour 100 grammes de terre fine séchée à l'air.

D. METHODES D'ANALYSE MICROBIOLOGIQUE.

Nous avons utilisé la méthode des suspensions dilutions de terre, avec ensemencement de milieux de culture solides et liquides, selon les techniques de J. POCHON et P. TARDIEUX (1962).

Le nombre le plus probable de microorganismes a été calculé au moyen des tables de Mc CRADY.

L'activité des principaux groupes physiologiques a été suivie et représentée graphiquement.

L'extrait de terre utilisé au cours de la préparation des milieux provient d'une terre de jardin en bon équilibre chimique et biologique de pH = 6,9. Ce même extrait a toujours été utilisé lors des diverses préparations. Quelques modifications ont été cependant apportées dans la filtration de l'extrait de terre où nous avons utilisé selon la technique de ROUGIEUX (1965) des rondelles filtrantes d'amiante cellulose « Seitz » K 5. Cela nous permet d'obtenir un filtrat très clair dans un minimum de temps.

Pour des raisons matérielles nous avons utilisé des tubes de culture de 16/160 ; les corrections de volume ont été réalisées de manière à conserver le rapport surface sur volume (HUGE, 1969).

Pour la culture des actinomycétes sur milieu solide, nous avons utilisé le milieu à la pomme de terre.

TABLEAU II

Caractéristiques physio-chimiques des sols étudiés

Parcelles		A_1	A_2	B_1	B_2	C_1	C_2	R
Sable grossier	p. 100	61,5	60,0	63,3	67,7	47,9	54,0	52,0
Sable fin	p. 100	16,5	24,1	15,1	17,6	28,2	20,0	16,8
Limon grossier	p. 100	4,6	5,0	5,9	4,3	5,6	7,5	3,8
Limon fin	p. 100	7,1	3,4	6,6	5,9	4,5	8,1	5,8
Argile	p. 100	7,6	6,5	6,8	3,3	11,8	9,1	14,5
Humidité actuelle	p.100	0,7	0,3	0,4	0,3	0,8	0,5	1,6
Matière organique	p. 100	2,0	0,7	1,9	0,9	1,2	0,8	5,5
Carbone	p, 100	1,2	0,45	1,1	0,52	0,70	0,45	3,3
Azote	p. 100	0,090	0,046	0,081	0,044	0,059	0,050	0,240
C/N		12,8	9,7	13,6	11,8	11,9	9	13,7
Humidité équivalente	p. 100	10,6	8,6	12,0	7,5	15,0	13,0	27,0
Complexe absorbant — NH_4^+	mEq/100 g	0,22	0,22	0,26	0,23	0,23	0,22	0,26
K^+	mEq/100 g	0,40	0,18	0,25	0,18	0,40	0,30	0,35
Na^+	mEq/100 g	0,15	0,10	0,12	0,10	0,10	0,10	0,17
Mg^{++}	mEq/100 g	0,35	0,27	0,15	0,10	0,30	0,30	0,93
Ca^{++}	mEq/100 g	5,00	2,40	1,90	1,20	+	+	10,00
S	mEq/100 g	6,12	3,17	2,68	1,81	+	+	11,71
T	mEq/100 g	7,70	4,20	5,50	3,10	7,20	6,50	15,90
V	p. 100	79,0	75,4	48,8	58,4	sat.	sat.	73,0
pH dans l'eau		6,0	6,1	4,9	4,8	7,3	7,3	6,3
Cuivre échangeable	ppm	30	19	62	36	18	10	1 — 2
NO_3^-	mEq/100 g	0,28	0,25	0,26	0,28	0,30	0,30	0,30
Fer libre	p. 100	0,40	0,25	0,26	0,23	0,30	0,20	0,30
P_2O_5	p. 100	0,024	0,009	0,033	0,023	0,043	0,031	0,090

RESULTATS ET DISCUSSION

A. RESULTATS PHYSICO-CHIMIQUES.

Les variations analytiques entre les différents prélèvements saisonniers sont très faibles, ce qui montre d'une part, la bonne reproductibilité des techniques de détermination et d'autre part l'homogénéité des prélèvements.

Dans le tableau n° II, nous avons indiqué seulement la moyenne des trois résultats correspondant aux prélèvements de Mars, Juin et Octobre.

Pour l'ensemble des points étudiés, la fraction sableuse constitue la classe granulométrique dominante avec 74 à 85 p. 100 de sables.

La structure particulaire meuble, sans cohésion, facilite les phénomènes de colluvionnement sur ces sols en pente.

Les teneurs en carbone sont normales dans les zones A1 et B1 (parties hautes), alors qu'elles sont nettement trop faibles en A_2 et B_2 (parties basses) ainsi que dans la parcelle C.

Les quantités d'azote suivent les mêmes variations que celle du carbone si bien que les rapports C/N ne varient que de 9 à 13 ; ils sont toujours plus élevés dans les parties hautes que dans les parties basses.

L'humidité équivalente, assez faible, est normale pour ces horizons superficiels sableux, sans structure, avec des teneurs en matière organique faibles.

La capacité totale d'échange des cations est peu élevée (3,1 à 7,7 mEq pour 100 g de terre fine).

Le complexe absorbant est saturé dans la parcelle C ce qui se traduit par un pH supérieur à 7. Dans la parcelle A le taux de saturation est assez élevée (75 à 79 p. 100) aussi le sol présente-t-il une réaction peu acide tandis qu'en B les pH inférieurs à 5 correspondent à des taux de saturation nettement insuffisants ($\sim$ 50 p. 100).

Les teneurs en cations échangeables sont faibles dans l'ensemble et caractérisées par un déséquilibre entre K et Mg : le rapport K/Mg est généralement supérieur à 1 ce qui a pour conséquence d'induire une carence magnésienne.

Les teneurs en cuivre échangeable sont assez élevées dans la parcelle B où le pH est relativement bas (4,8 à 4,9) ce qui peut entraîner une certaine toxicité vis-à-vis de la plante ou des microorganismes.

La cation ammonium et les nitrates sont présents en très faibles quantités et sont du même ordre de grandeur dans les différents sols.

L'acide phosphorique se trouve en quantité normale dans tous les sols, sauf en A_2 ou la teneur est un peu faible.

Le pourcentage de fer libre apparaît comme étant normal dans des horizons superficiels.

L'ensemble de ces résultats montre que : ces sols ne sont pas très différents les uns des autres avec cependant des variations nettes dans les teneurs en carbone et en azote suivant la topographie et des différences de pH importantes de 4,8 à 7,3 selon les parcelles.

B. RESULTATS MICROBIOLOGIQUES.

Les méthodes de numération utilisées ne nous permettent pas de caractériser la composition microbiologique « in situ » du sol. Comme le fait remarquer DOMMERGUES (1973), les milieux de culture solides ou liquides utilisés sont « trop électifs et éliminent de nombreuses souches dont les exigences nutritionnelles ne sont pas conformes avec celles des souches connues ». Les valeurs obtenues par cette technique ne représentent qu'une certaine potentialité de la densité microbienne.

La numération des microorganismes ne doit pas être confondue avec l'activité microbienne du sol, car d'une part les conditions écologiques du sol (nombreux micro-habitats) sont différentes de celles de milieux de culture et d'autre part de nombreuses bactéries se trouvent dans le sol sous forme de spores inactives, ou bien sont inhibées pour des raisons variées (antagonismes spécifiques, concurrence vis-à-vis de certains substrats, etc...).

Malgré l'imperfection des méthodes utilisées il n'en demeure pas moins qu'elles présentent un intérêt agrobiologique certain et permettent d'étudier la composition, ou de suivre l'activité des groupes physiologiques d'une façon comparative.

Légende des figures

Histogrammes : fig. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 23 et 25,

— Ligne de base :

sols étudiés A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2 et R.

prélèvements ;

Mars : colonne blanche

Juin : colonne hachurée

Octobre : colonne noire

— Ordonnée : nombre de microorganismes par gramme de terre sèche.

Courbes d'activité : fig. 11, 12, 16, 21 et 22.

— Abcisse : nombre de jours.

— Ordonnée : Indice de la dilution moyenne limite (ID), soit : le nombre de tubes positifs/Nombre total de tubes par dilution.

— Courbes :

Prélèvement de Mars — Mars
Prélèvement de Juin — Juin
Prélèvement d'Octobre — Octobre

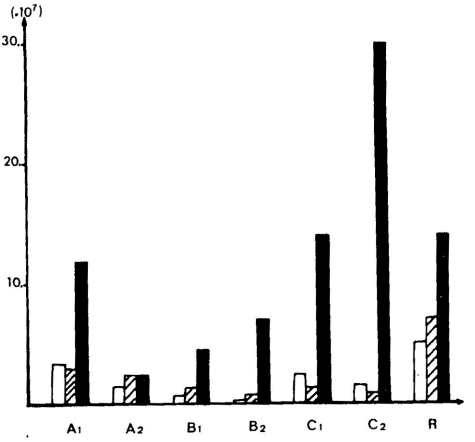


Fig. 3. — Microflore totale

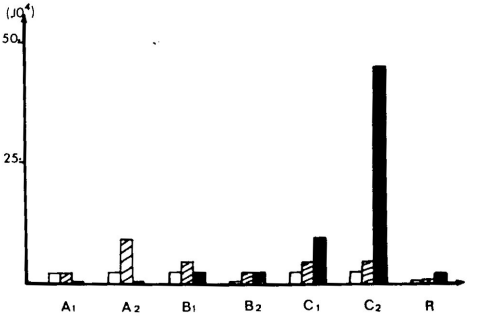


Fig. 4. — Algues

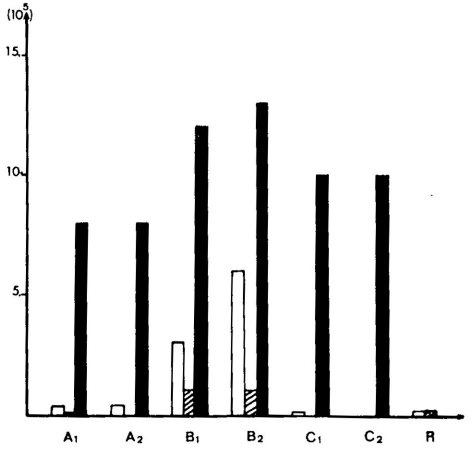


Fig. 5. — Champignons

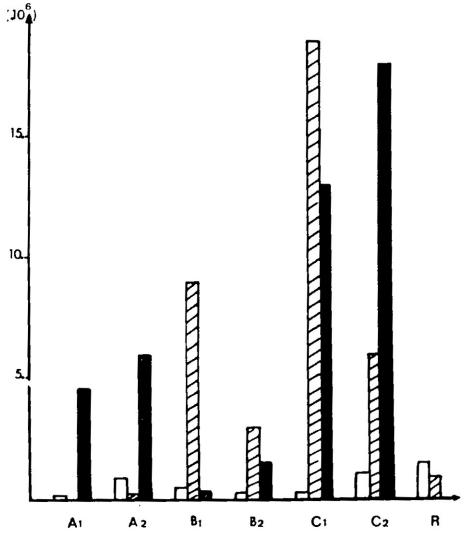


Fig. 6. — Actinomycètes

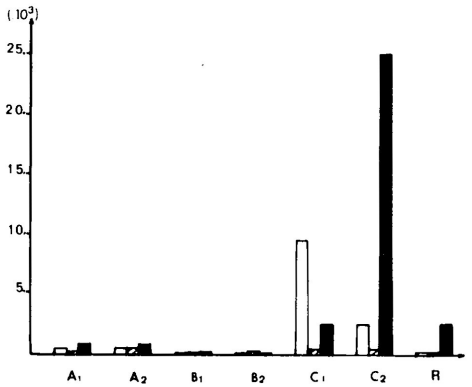


Fig. 7. — Fixation du N_2 aérobies

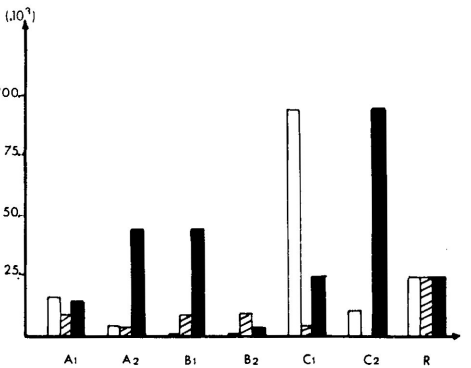


Fig. 8. — Fixation du N_2 anaérobies

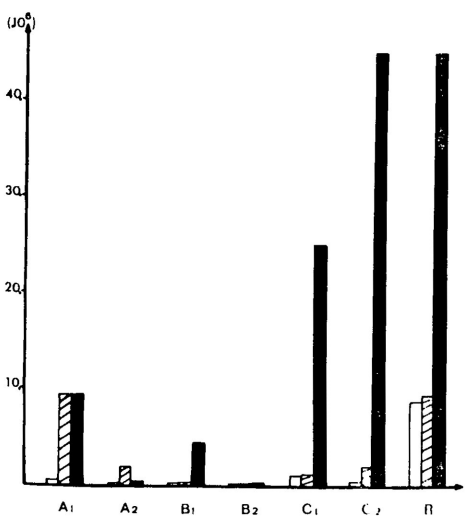


Fig. 9. — Protéolyse

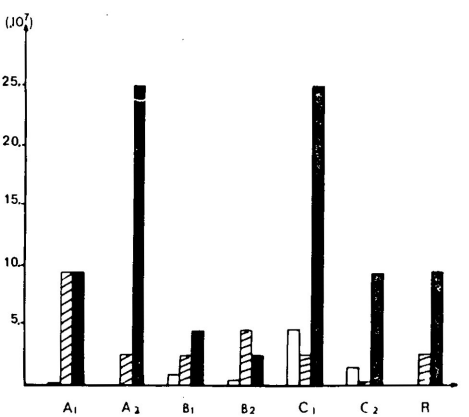


Fig. 10. — Ammonification

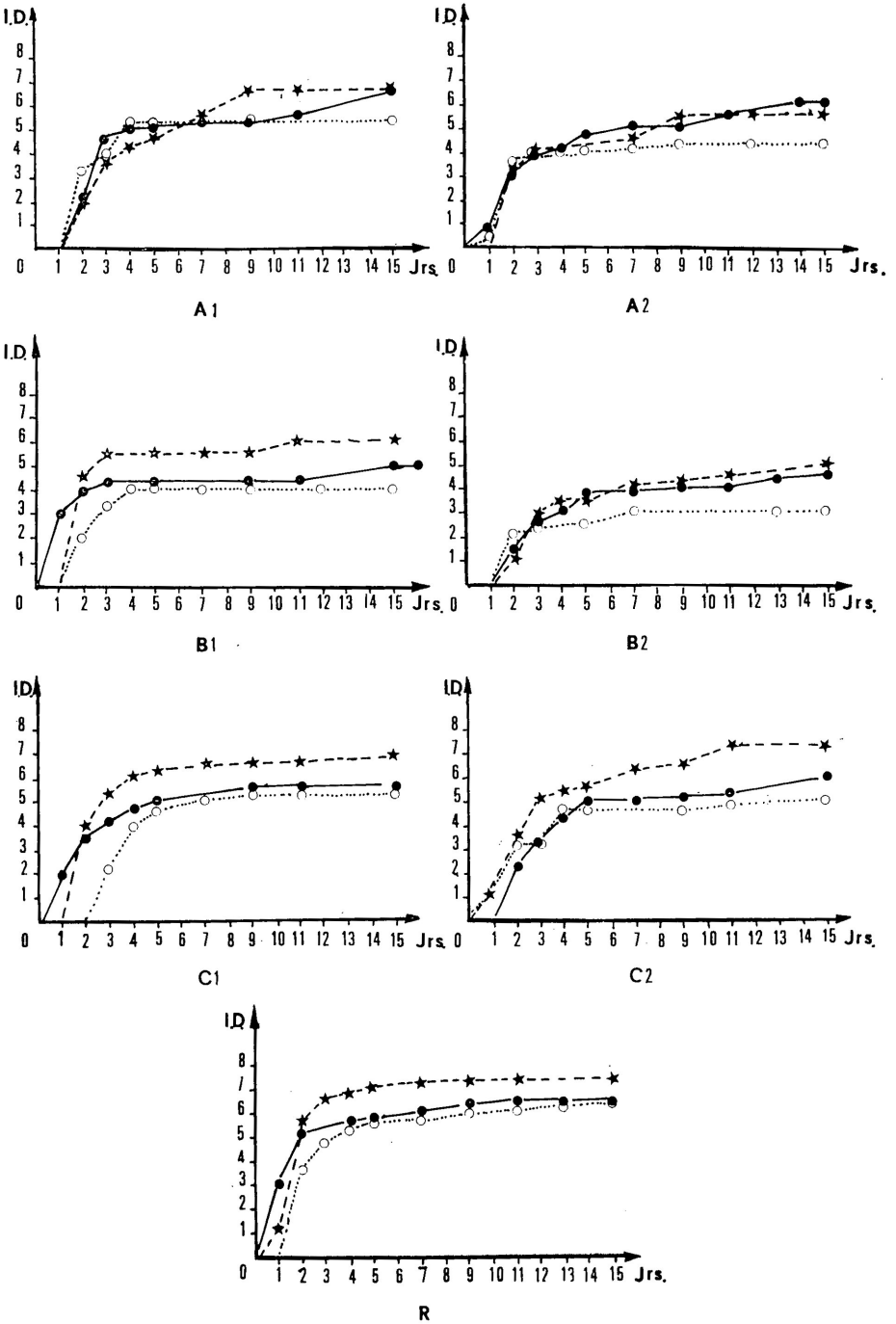


Fig. 11. — Activité protéolytique.

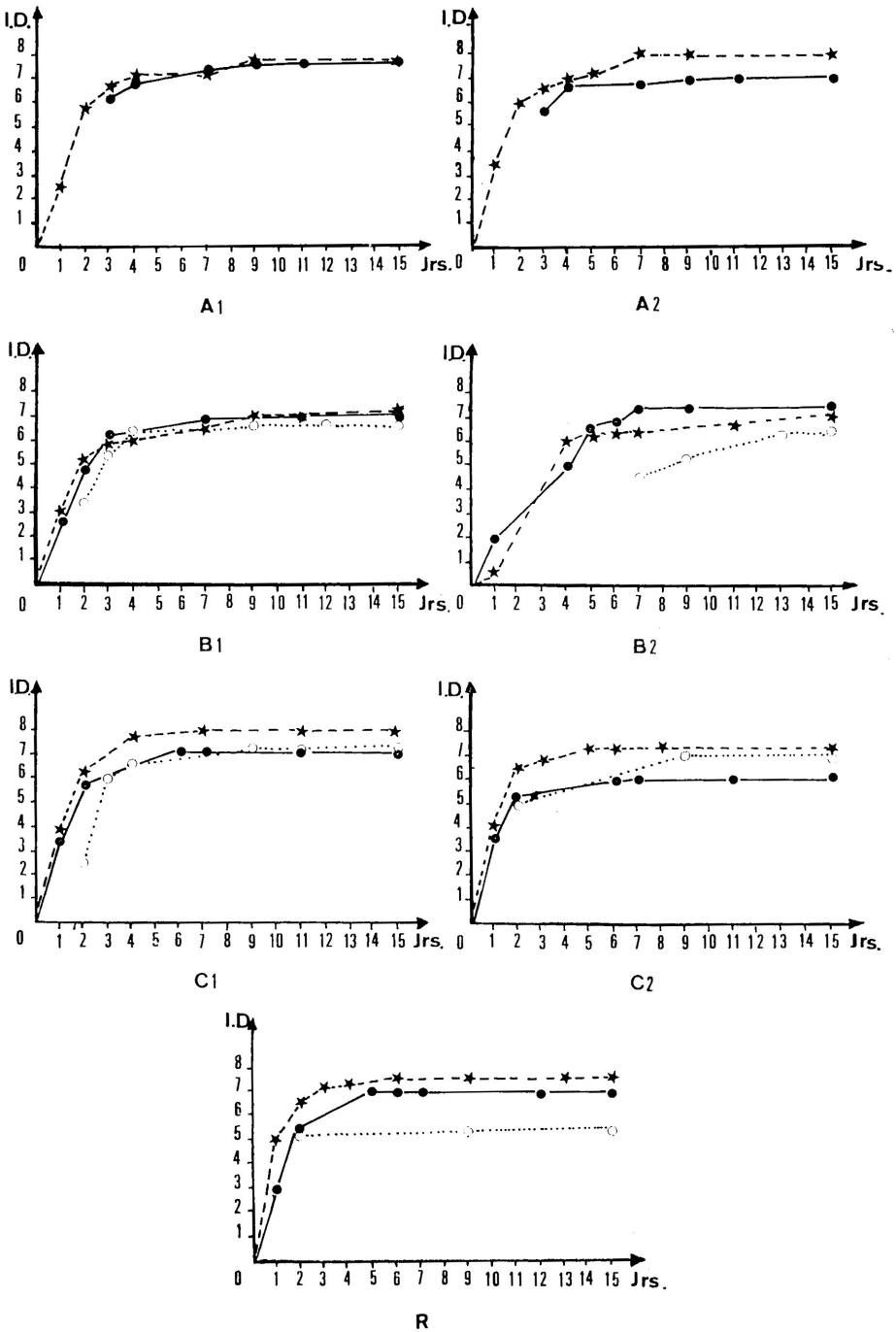


Fig. 12. — Activité ammonificatrice

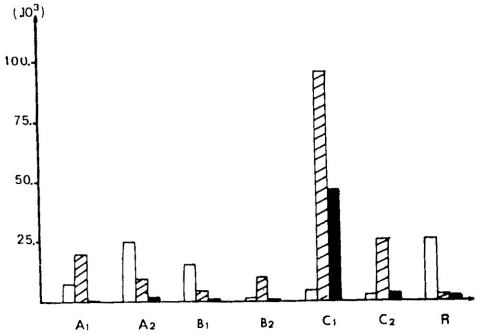


Fig. 13. — Nitrification (Nitreux)

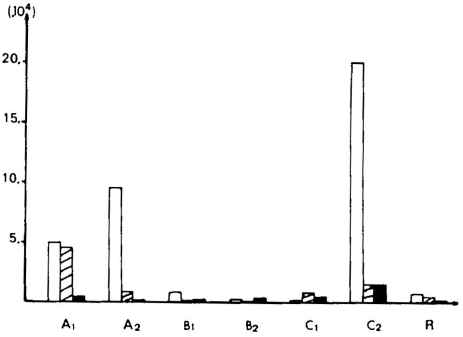


Fig. 14. — Nitrification (Nitriqué)

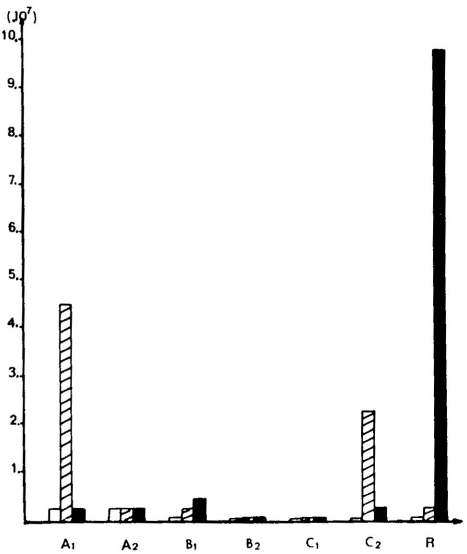


Fig. 15. — Dénitrification

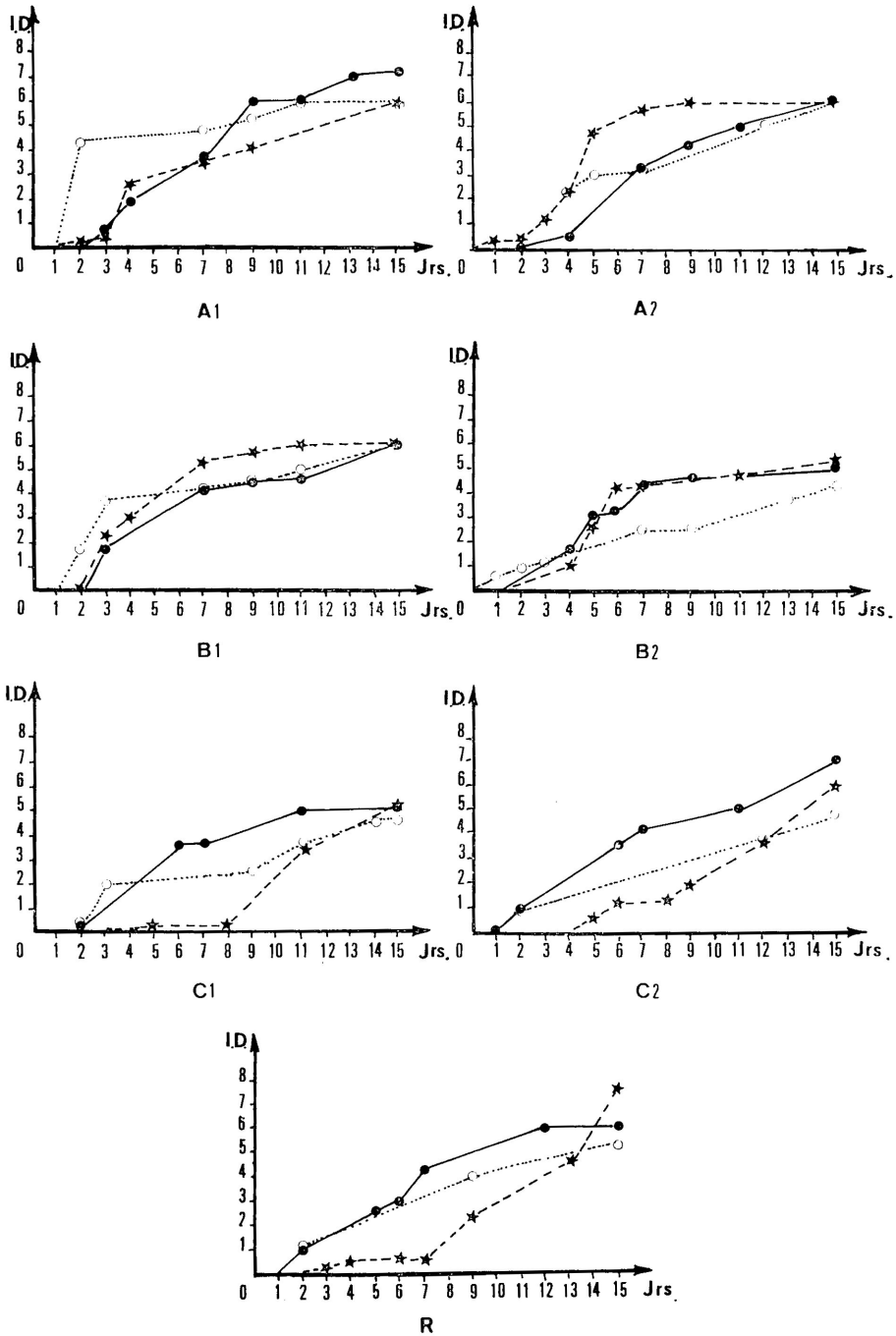


Fig. 16. — Activité dénitrificatrice

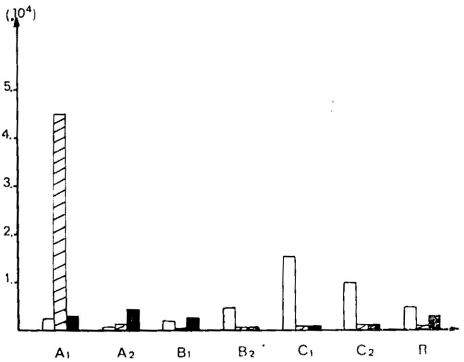


Fig. 17. — Celluloyse aérobie

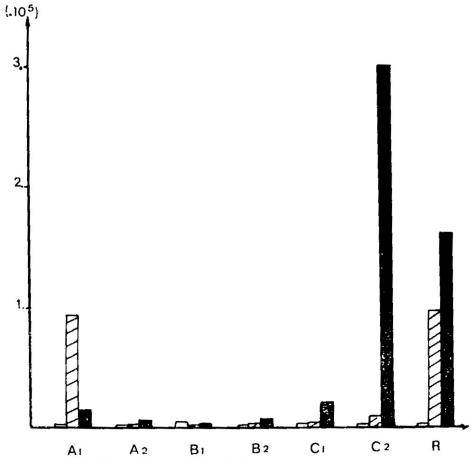


Fig. 18. — Cellulolyse anaérobie

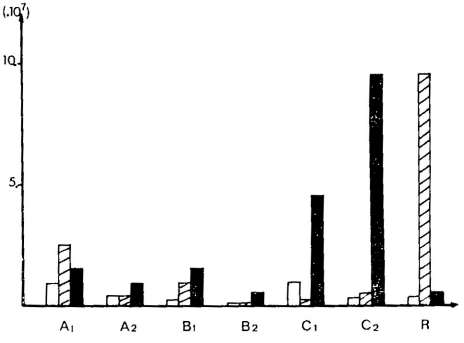


Fig. 19. — Amylolyse

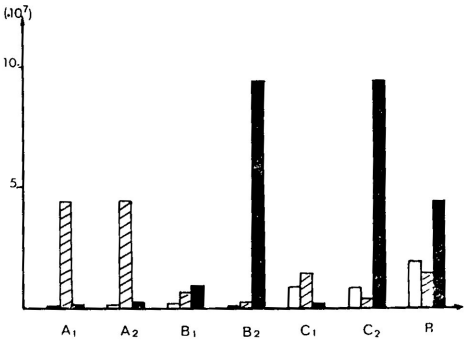


Fig. 20. — Hémicellulolyse

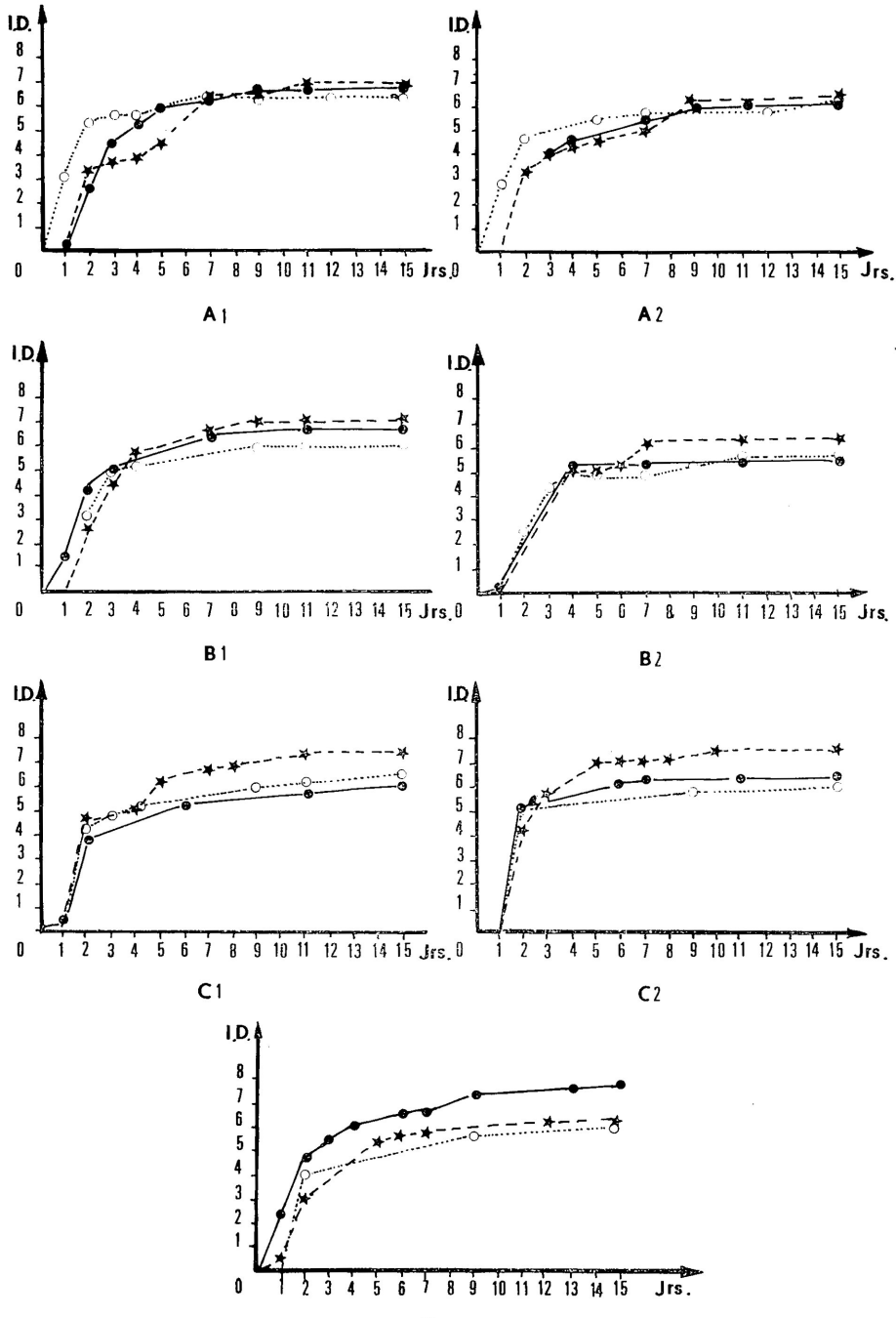


Fig. 21. — Activité amylolytique

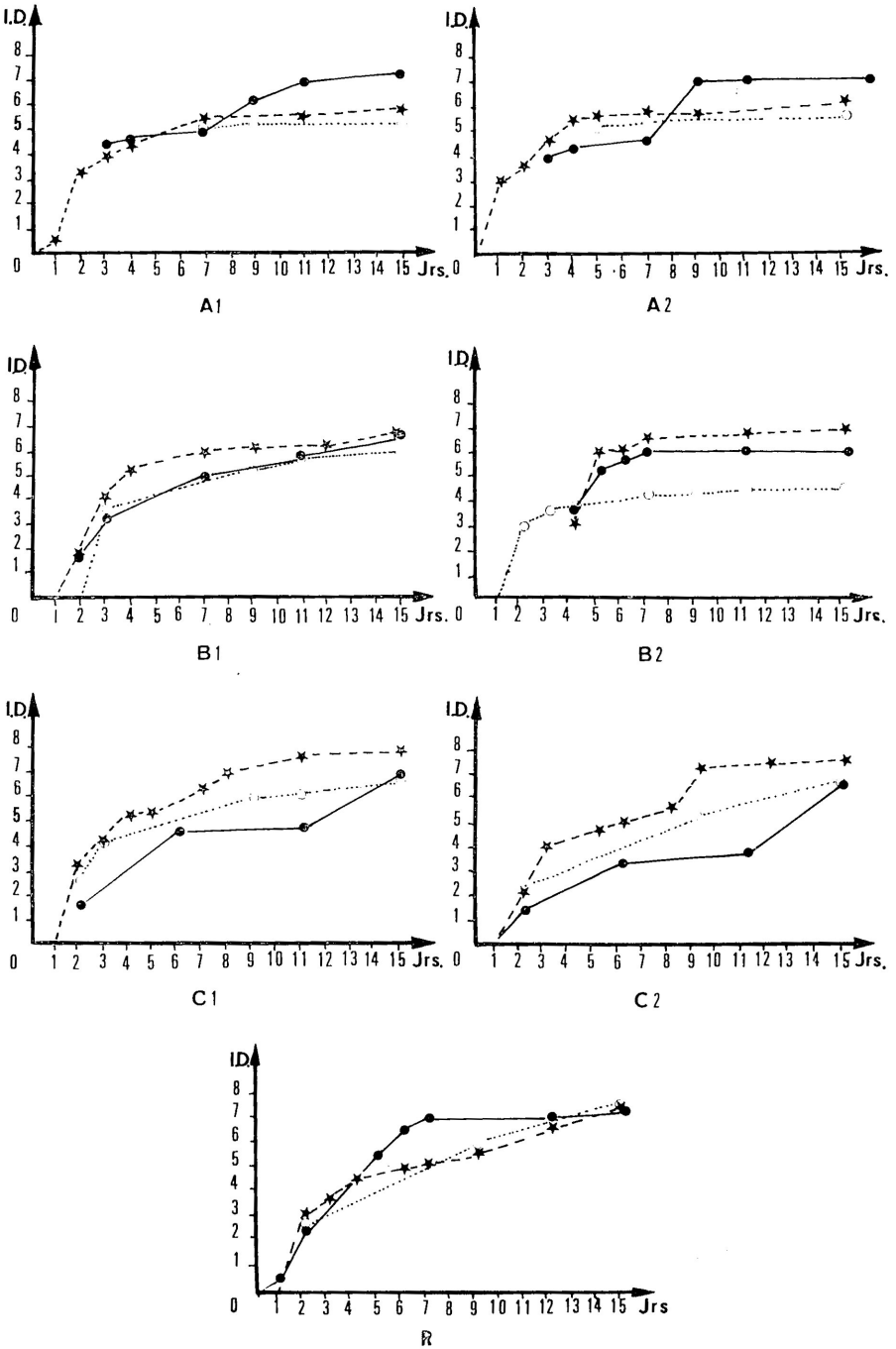


Fig. 22. — Activité hémicellulolytique

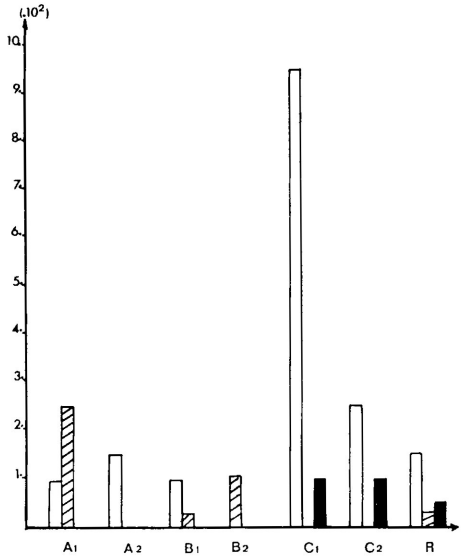


Fig. 23. — Minéralisation du soufre organique.

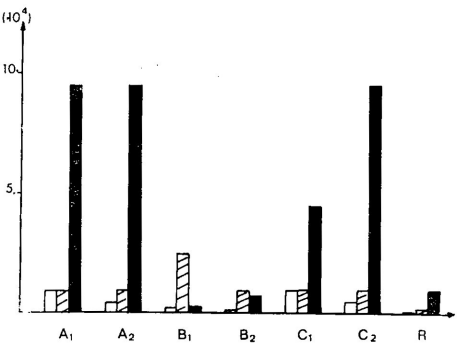


Fig. 24. — Oxydation du soufre.

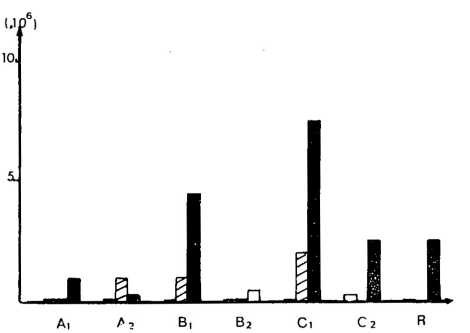


Fig. 25. — Sulfato-réduction.

I. — Microflore totale et groupements non bactériens du sol

a) Microflore totale (fig. 3).

La microflore totale présente dans l'ensemble des parcelles étudiées, des valeurs normales pour des sols de vignobles (10^6 à 10^8).

Les numérations réalisées sur les prélèvements du mois d'octobre montrent une microflore plus abondante (4 à 35 fois plus qu'en Mars ou Juin). Ce phénomème déjà observé par de nombreux auteurs s'explique généralement, soit par des apports nutritifs provenant de la chute des feuilles, soit par des conditions climatiques plus favorables. Or, le mois précédent le prélèvement a été caractérisé par une période de sécheresse (13 mm de pluie seulement entre le 18-9 et le 18-10) assez peu favorable à une stimulation de la microflore du sol. Cette augmentation de la densité microbienne pourrait être liée d'une part aux apports de matière organique fraîche provenant des écimages et de l'effeuillage et, d'autre part, à l'arrêt des traitements antifongiques depuis trois semaines environ. Le travail superficiel du sol (herses et disques) réalisé au début du mois d'octobre a pu également intervenir dans la mesure où il permet une meilleure aération du sol.

Les variations observées entre les différentes parcelles montrent la sensibilité de la micropopulation tellurique au pH. La parcelle B qui est acide (pH 4,8) présente une microflore moins abondante ce qui peut également s'expliquer par une éventuelle toxicité du cuivre (36 à 62 ppm) qui est soluble et échangeable en milieu acide. Les deux autres parcelles de pH 6,0 et 7,3 présentent un nombre de microorganismes deux fois plus élevé. Les variations topographiques au sein d'une même parcelle permettent d'observer (à deux exceptions près, au mois d'Octobre) une nette diminution de la densité microbienne dans les parties basses. Cela correspond bien aux résultats physico-chimiques montrant des teneurs en carbone et azote plus faibles dans le bas des pentes.

b) Groupements non bactériens du sol.

1) Les algues (fig. 4).

La microflore algale est assez abondante (10^4 à 10^5 par gramme de terre sèche). Bien que l'interprétation des résultats soit délicate, du fait de l'imprécision de la méthode, la figure 4 montre bien l'importance du facteur humidité sur le développement des algues. En effet, les parcelles A

et B présentent un nombre d'organismes plus faible au mois d'Octobre, ce qui s'explique par une période de sécheresse prolongée sur des sols à texture sableuse. Par contre, la parcelle C caractérisée par un pH voisin de 7 et surtout par un horizon sous-jacent argileux favorisant une meilleure conservation de l'eau, possède une micropopulation d'algues nettement plus abondante.

La parcelle R voisine de C possède une population moins dense ; cela peut s'expliquer par l'influence du couvert végétal qui intercepte une grande partie de l'énergie lumineuse.

2) Champignons (fig. 5).

Les champignons sont nombreux dans l'ensemble des parcelles (10^5).

Les résultats obtenus en fonction des variations saisonnières laissent apparaître, comme de nombreux auteurs l'ont déjà constaté, un maximum de densité en automne et une baisse numérique en été. On interprète généralement cette diminution par la chaleur estivale excessive en surface et par une évaporation intense qui entraîne un tassement du sol limitant l'aération (GUILLEMAT et MONTEGUT, 1956).

La parcelle B à réaction acide possède dans l'ensemble une mycoflore plus abondante malgré la présence de doses plus élevées de cuivre (62 et 36 ppm de cuivre échangeable et 225 et 116 ppm de cuivre total). Ce phénomène s'explique par le fait que les bactéries sont fortement inhibées à ces pH bas (4,8 et 4,9) et que les champignons étant peu concurrencés prolifèrent plus facilement.

3) Actinomycètes (fig. 6).

Le nombre de colonies d'Actinomycètes semble très important pour ces sols de vignoble (10^5 à 10^6 par gramme de terre sèche).

Ceux-ci sont présents dans les différentes parcelles en proportions sensiblement égales. La parcelle C moins acide paraît être plus favorable à leur développement.

L'ensemble de ces premiers résultats nous permet de constater que :

— les variations saisonnières laissent apparaître dans la majorité des cas des densités de population maximales en automne.

— les différences observées entre les parcelles reflètent souvent les résultats de l'analyse physico-chimique des sols (pH, Carbone, Azote, Humidité, etc...).

— les variations en fonction de la topographie sont assez nettes dans le cas de la microflore totale, alors qu'il n'en est pas de même pour les algues, champignons et actinomycètes qui présentent de plus grandes facilités d'adaptation.

II. — **Groupements physiologiques du sol**

Les groupements physiologiques du sol représentent un ensemble de microorganismes hétérogènes pouvant se développer dans des conditions bien définies et accomplissant une réaction biochimique déterminée (transformation d'amino-acides en ammoniaque par exemple). Ces groupements physiologiques ou fonctionnels sont plus ou moins liés entre eux et permettent ainsi la réalisation de certains cycles au sein du sol (cycle de l'azote, cycle du carbone, cycle du soufre) dont nous suivrons les principales étapes.

a) Cycle de l'azote.

1) Fixateurs libres d'azote atmosphérique (fig. 7 et 8).

Les fixateurs libres aérobies et anaérobies sont présents dans ces sols, mais demeurent en nombre faible (10^2 pour les **Azotobacter** et 10^3 pour les **Clostridium**).

Dans les différentes parcelles on remarque surtout la sensibilité des **Azotobacter** (fixateurs aérobies) au pH. La parcelle B, la plus acide (pH = 4,8 — 4,9) présente la plus faible densité microbienne. Les **Clostridium** (fixateurs anaérobies), par contre, colonisent indifféremment toutes les parcelles, du fait de leur plus grande tolérance vis-à-vis du pH et des facteurs écologiques. La parcelle C qui possède un horizon sous-jacent plus argileux et plus humide semble mieux leur convenir.

2) Ammonification (fig. 9 et 10).

L'ammonification a été suivie sur deux milieux représentant deux stades complémentaires.

Stade intermédiaire : la source d'azote est fournie sous forme de gélatine (protéine complexe) qui sera liquéfiée au cours du temps (protéolyse) ;

Stade final ou ammonification vraie : la source d'azote est un amino-acide (asparagine) dont la dégradation libère de l'ammoniaque que l'on caractérise par le réactif de Nessler.

1) Les microorganismes protéolytiques (fig. 9) se trouvent en nombre important (10^5 à 10^6) ; cela semble tout à fait normal si l'on considère que les bactéries participant à ces processus de dégradation appartiennent à de nombreux genres et à de nombreuses espèces.

Les faibles densités de population observées au cours du prélèvement du mois de Mars sont la conséquence des basses températures et de l'humidité élevée ralentissant le développement bactérien.

Les bactéries protéolytiques sont sensibles aux variations de pH du sol. Les parcelles A (pH = 6,0) et surtout B (pH = 4,8) en sont les plus affectées.

Les dénombrements réalisés dans les parties basses (A_2 et B_2) présentent toujours les plus faibles densités microbiennes (sauf en C_2). Cela reflète les résultats de l'analyse chimique (teneurs en matière organique moins élevées dans les parties basses).

Les courbes d'activité représentées sur la figure 11 concordent bien avec les observations précédentes : les pentes initiales des courbes sont plus faibles dans les zones basses (n° 2) alors qu'elles demeurent assez fortes dans les zones hautes (n° 1).

2°) Les bactéries ammonifiantes du 2ème stade (fig. 10) sont en nombre plus important que les précédentes (10^7 à 10^8). Ces valeurs sont tout à fait normales, car la dégradation d'un amino-acide en ammoniaque peut être réalisée par un plus grand nombre de bactéries possédant un matériel enzymatique beaucoup plus réduit que dans le cas de la protéloyse.

Les courbes d'activité (fig. 12) ont des pentes initiales assez fortes, ce qui met bien en évidence l'importance de ce processus. En effet, il suffit de trois à quatre jours pour que l'asparagine soit dégradée et ceci jusqu'à des dilutions relativement élevées. En B_2 on observe une pente plus faible et moins régulière, cela pouvant résulter des faibles teneurs en carbone et azote dans cette zone ; cependant, la toxicité due au cuivre échangeable ne doit pas être négligée surout à tel pH (4,8) avec seulement 0,9 % de matière organique. En effet, BERTRAND (1971) et BAROUX (1972) ont montré la sensibilité des germes ammonifiants à la toxicité cuprique.

3) Nitrification (fig. 13 et 14).

Les germes nitreux et nitriques sont présents dans ces sols en nombre limité (10^3 à 10^4 par gramme de terre sèche).

Les variations saisonnières sont assez irrégulières (les densités maximales s'observent en Mars ou Juin) ce qui peut s'expliquer par des apports de sulfate d'ammonium et de fumier au début du printemps. Les faibles densités obtenues en Octobre proviennent probablement de la sécheresse (tableau I) qui a sévi pendant près d'un mois.

Dans l'ensemble des parcelles, on constate que les germes nitreux et surtout nitriques se développent plus difficilement en B à cause de l'acidité (pH = 4,8 à 4,9).

4) Dénitrification (fig. 15).

Les microorganismes dénitrificateurs sont assez nombreux dans ces sols (10^5 en moyenne).

Les numérations effectuées au cours des différents prélèvements saisonniers ne présentent pas de gros écarts (sauf en A et C_2 pour le mois de Juin).

La parcelle A légèrement acide semble bien leur convenir. Les courbes d'activité de la figure 16 possédent des pentes normales pour l'ensemble des points étudiés. Dans la parcelle C on constate que le prélèvement du mois d'Octobre présente un certain retard, la dénitrification ne débutant qu'au 4ème et 8ème jour.

Les résulats précédents, concernant les transformations microbiennes de l'azote montrent que tous les groupement physiologiques sont représentés dans ces sols mais en nombre variable. Les différences numériques observées entre les divers groupes sont étroitement liées, d'une part à la spécificité des exigences nutritionnelles des microorganismes et d'autre part aux conditions écologiques qui leurs sont propres.

Le bilan de l'azote dans les sols résulte d'un ensemble de processus que l'on peut classer en trois catégories (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970) :

— Processus entraînant un gain d'azote.

— Processus entraînant une minéralisation de l'azote sous forme assimilable pour les végétaux.

— Processus entraînant une perte d'azote.

Ces processus peuvent être soit d'origine microbienne soit d'origine non microbienne (naturelle ou artificielle).

1°) **Gain d'azote.**

Dans les sols de vignobles étudiés, les gains d'azote les plus importants sont d'origine non microbienne (fumiers, déchets de laine, cornes, nitrate de potassium et sulfate d'ammonium). Les apports d'origine bactérienne sont, semble-t-il, négligeables si l'on se réfère aux faibles densités de population des fixateurs libres aérobies ou annaérobies présents dans ces sols.

2°) **Minéralisation de l'azote**

Malgré les apports de sulfate d'ammonium ou de nitrate de potassium, on peut supposer que les bactéries ammonifiantes jouent un rôle prépondérant si l'on en juge par les résultats obtenus précédemment. Les germes nitreux et nitriques bien qu'en nombre plus limité ont certainement une action importante dans ces sols.

3°) **Perte d'azote**

Parmi les processus d'origine microbienne, la dénitrification peut être la cause de pertes importantes d'azote, mais il faut surtout les attribuer à des phénomènes physico-chimiques.

b) Cycle du Carbone

1°) Cellulolyse (fig. 17 e 18).

Les microorganismes cellulolytiques mésophiles aérobies et anaérobies sont présents dans ces sols en assez faible quantité (10^3 en moyenne).

Les différents prélèvements saisonniers ne montrent pas de grandes variations de la densité microbienne à l'exception de la parcelle A (A_1 en Juin pour les aérobies et anaérobies) et de la parcelle C (C_2 en Octobre pour les aérobies ; C_1 et C_2 en Mars pour les bactéries anaérobies).

Parmi les sols étudiés, la parcelle B (acide) possède toujours le nombre de microorganismes le plus faible. La parcelle C, plus favorable aux conditions d'anaérobiose, semble mieux leur convenir.

2°) Amylolyse (fig. 19).

Les bactéries amylolytiques sont très nombreuses (10^6) dans l'ensemble des parcelles. Leur répartition numérique saisonnière est sensiblement la même dans tous les sols.. Seule la parcelle C, plus humide, permet au mois d'Octobre une plus grande prolifération des bactéries.

Les courbes d'activité de la figure (21) reflètent l'importance de ce processus. La pente initiale des courbes de la zone B_2 est toujours plus faible que celle des autres points.

3°) Hémicellulolyse (fig. 20).

Les bactéries hémicellulolytiques se trouvent en nombre sensiblement égal à celui des précédentes mais leur développement est assez irrégulier dans les différents sols.

La figure (22) montre dans la majorité des points, une activité assez importante, les pentes initiales des courbes étant assez fortes surtout en A_1, B_1 et C_1 (parties hautes plus riches en matière organique).

Les bactéries intervenant dans les principales phases de dégradation du carbone organique sont donc présentes dans tous les sols mais en nombre variable. Les bactéries cellulolytiques ont une densité de population plus faible que les germes amylolytiques ou hémicellulolytiques. Contrairement aux microorganismes participant au cycle de Carbone, ces bactéries ne semblent pas présenter d'exigences écologiques très marquées ce qui explique peut-être leur répartition numérique assez homogène dans les différents sols.

c) Cycle du soufre

Les transformations microbiennes du soufre ont été suivies dans ces sols de vignobles, au cours de trois étapes différentes :

— minéralisation du soufre organique (fig. 23) ;

— oxydation du soufre minéral (fig. 24) ;

— réduction des sulfates (fig. 25).

1°) Les bactéries minéralisatrices du soufre organique sont peu abondantes dans ces sols (10^2 par gramme de terre). Ces faibles valeurs peuvent s'expliquer par le fait que ces bactéries strictement anaérobies trouvent difficilement des conditions favorables à leur développement, à la surface de ces sols très bien aérés.

On constate que les dénombrements les plus élevés se situent au mois de Mars, période où la pluviosité importante a permis une anaérobiose temporaire.

2°) Le nombre de microorganismes participant à l'oxydation du soufre minéral est plus élevé (10^3 à 10^4). Ces résultats semblent normaux pour des sols de vignobles où les apports de soufre minéral lors des traitements anticryptogamiques de la vigne sont assez importants.

3°) Les sulfatoréducteurs dominent numériquement les précédents (10^3 à 10^5), ce qui semble à priori normal puisque certains traitements antifongiques se font sous forme de sulfates, élément essentiel de leur métabolisme. Cependant, les densités les plus fortes obtenues au cours du prélèvement du mois d'Octobre ne peuvent s'expliquer par les conditions d'anaérobioses strictes nécessaires aux processus de réduction.

Les bactéries du cycle du soufre sont donc elles aussi présentes dans ces sols où les apports de soufre minéral et de sulfate leur fournissent un métabolite essentiel à leur développement. Cependant, il faut être prudent lors de l'interprétaion de ces résulats car si l'on considère le cas des sulfatoréducteurs, on observe une certaine incompatibilité entre le nombre de microorganismes obtenu en culture élective et les conditions d'anaérobies du sol. Il semble donc que ces microorganismes soient présents mais leur activité doit être très réduite lorsque les conditions écologiques leur sont peu favorables. Quant aux microorganismes sulfoxydants, ils sont trop nombreux pour diminuer le pH du sol par formation de sulfates, d'autant plus que ceux-ci sont facilement lessivés dans ces types de sol.

CONCLUSIONS

A partir de ce travail sur la microbiologie des sols du vignoble Sauternais, nous pouvons dégager les caractéristiques suivantes :

— Tous les groupements physiologiques étudiés sont représentés mais en nombre variable (10^2 à 10^7 en moyenne) ;

— Les écarts de densité de la population microbienne entre les différents points étudiés dépendent principalement de la constitution physico-chimique du sol et en particulier du pH (cas de la parcelle B) et de la teneur en matière organique (valeurs plus faibles en bas de pente) ;

— Les numérations en fonction des divers prélèvements saisonniers montrent parfois des différences importantes d'un prélèvement à l'autre (conditions climatiques plus ou moins propices) mais d'une manière générale le mois d'Octobre correspond à la période la plus favorable.

Si les fixateurs d'azote ainsi que les cellulolytiques sont assez mal représentés, inversement, on trouve en grand nombre des germes ammonificateurs, dénitricateurs, amylolytiques et hémicellulolytiques mais il n'est pas certain que leur activité dans le sol soit aussi importante que les résultats peuvent le laisser supposer.

Manuscrit reçu le 3 juin 1974.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BAROUX J., 1972. Toxicité du cuivre sur les phénomènes d'ammonification dans les sols de vignobles bordelais, **C.R. Acad. Sc.,** Paris, **275,** (17 juillet 1972), Série D 499.

BERTRAND D., 1971. Influence du taux de cuivre soluble du sol sur l'ammonification, **C.R. Acad. Agriculture, 57,** n° 18, 1556.

Carte géologique de la Réole au 1/80 000, n° 192.

DOMMERGUES Y. et MANGENOT F., 1970. **Ecologie microbienne du sol,** 796 pages, Masson et Cie, Paris.

DOMMERGUES Y., 1973. Principes de méthodologie en microbiologie du sol. Recherche coopérative sur programme du C.N.R.S. n° 40, Ecologie du sol. **Nouveaux documents pour une étude intégrée en écologie du sol.** Editions du C.N.R.S., p. 13.

DONECHE B., 1974. Action du Mancozèbe sur la microflore des sols du vignoble bordelais, **C.R. Acad. Sciences,** 29 Avril 1974.

DUCHAUFOUR Ph., 1970. **Précis de pédologie,** 3e éd., 481 pages, Masson. Paris.

FABRE A., 1939. **Les terrains de revêtement du Médoc,** 346 p., Drouillard Imp., Bordeaux.

GALET P., 1956, 1958, 1962, 1964. **Cépages et vignobles de France,** 3 500 p., 4 tomes, Déhan et Paysan du Midi, Imp. Montpellier.

GUILLEMAT J. et MONTEGUT J., 1956. Contribution à l'étude de microflore fongique des sols cultivés. **Ann. Epiphyties,** III, **471.**

HUGE P., 1969. Ensemble technique pour l'analyse microbiologique des sols en série. **Biol. du sol,** n° 11, p. 32.

PEGUY Ch. P., 1970. **Précis de climatologie,** 2e édition, 468 p., Masson et Cie, Ed., Paris.

POCHON J., DE BARJAC H., 1958. **Traité de Microbiologie des sols, applications agronomiques,** 685 p., Dunod, Paris.

POCHON J., TARDIEUX P., 1962. **Techniques d'analyse en microbiologie du sol,** 188 p., Ed. de la Tourelle, Saint-Mandé.

POCHON J. et **al.,** 1962. Incidence des doses élevées de cuivre et de soufre sur la microflore bactérienne de sols viticoles (Médoc), **Ann. Inst.** Pasteur, **103,** n° 4, 614-622.

POUGNARD N., 1967. D.E.S., Bordeaux.

VIDAL G. et LEBORGNE L., 1963. Recherches sur la rhizosphère de la vigne (Vitis vinifera), **Ann. Inst.** Pasteur, **105,** n° 2.

SADOVSKAYA R.O., 1959. **Mikrobologiga, 28,** 534-540.