

# Effets de divers apports en matière organique sur le sol, la vigne et le vin, dans un essai de longue durée à Chinon (France)

## Effects of different organic amendments on soil, vine, grape and wine, in a long-term field experiment in Chinon vineyard (France)

René MORLAT<sup>1\*</sup> et Jean-Claude GRAVIER<sup>2</sup>

1 : U.V.V, Centre INRA, 42, rue G. Morel, BP 60057, 49071 Angers, Beaucouzé, France

2 : Domaine des Fontenils, 37500 Chinon, France

\*Corresponding author: Tel. +33 (0)2.41 22 56 80, Fax +33 (0)2 41 22 56 65, morlat@angers.inra.fr

**Abstract:** In a long-term experiment carried out in Chinon vineyard (37, France) during 23 years, the effects of several organic amendments were studied on soil, vine, grapes and wine. Four main treatments were compared on a calcareous sandy soil: control without organic amendment, dry crushed pruning wood at  $2.1.t^{-1}.ha^{-1}.year^{-1}$  (D1), cow manure at  $10 t^{-1}.ha^{-1}.year^{-1}$  (D1) and cow manure applied at  $20 t^{-1}.ha^{-1}.year^{-1}$  (D2). D1 levels were calculated to fill the annual humus losses by mineralization.

During the experiment, the organic matter content of topsoil (0-30 cm) decreased from  $13.9 g.kg^{-1}$  to  $11.1 g.kg^{-1}$  in control. Other treatments maintained or strongly increased the organic matter content of soil, according to applied organic manure levels ( $21.9 g.kg^{-1}$  measured in 1998, in cow manure D2 treatment). Soil CEC, soil moisture at field capacity, and amounts of available P, K and Mg were significantly improved in different organic treatments.

The weight of pruning wood and grape yield were not modified in D1 organic amendments, but were significantly lower in D2 cow manure. Nitrogen rate in leaves, as well as in berries and in wine, was higher in this last treatment. Also, in D2 cow manure grape composition was unfavourably modified. Consequently, alcoholic rate, colour intensity, anthocyanins and phenolic compounds of wine were lower, but total acidity and pH were higher than in other treatments.

**Key words:** organic matter, soil, vine, berry, wine

### Introduction

Le développement d'une viticulture raisonnée (protection de l'environnement, qualité organoleptique et hygiénique du vin) et l'essor de l'agriculture biologique, accordent aujourd'hui une grande importance à la composante organique du sol, en raison de ses multiples effets potentiels sur le sol, la vigne et le vin. La littérature scientifique mentionne généralement une influence positive de la matière organique sur les propriétés physico-chimiques (structure, cohésion, perméabilité, rétention en eau, capacité d'échange cationique, teneurs en éléments fertilisants...) et la vie microbologique du sol (MOREL, 1989 ; CHAUSSOD *et al.*, 1999 ; THURIES *et al.*, 2000). Mais les connaissances scientifiques relatives aux effets de la matière organique sur la chaîne du terroir (sol / vigne / vin) sont plus rares (DELAS *et al.*, 1985 ; CHONE *et al.*, 2001). Anticipant cette situation, un essai longue durée a été mis en place en 1976 au Domaine expérimental viticole de Chinon. Les objectifs de cet essai sont multiples :

- Étudier l'évolution pluriannuelle du taux de matière organique d'un sol sableux soumis à divers produits organiques appliqués à différentes doses,
- Étudier les effets de la matière organique sur les principales propriétés du sol,
- Étudier l'effet de la matière organique et de l'azote minéralisable sur les principales composantes de la production viticole en quantité et en qualité,
- Étudier l'effet de la matière organique du sol sur les caractéristiques du vin.

## Matériels et Méthodes

L'essai a été installé dans un sol très sableux (teneur moyenne de 890 g.kg<sup>-1</sup> en sables sur le profil), calcique à calcaire et rubéfié, provenant de l'altération d'un matériau calcaire grossier, riche en fossiles d'invertébrés, du Turonien supérieur. Au début de l'expérimentation, en 1976, son taux moyen en matière organique était de 13.9 g.kg<sup>-1</sup>.

Six traitements principaux sont comparés dans le cadre d'un dispositif de type bloc avec split-plot comprenant 4 répétitions : témoin, sarments broyés dose simple, fumier de ferme et compost de champignonnière appliqués tous les deux selon une dose simple et une dose double. La dose simple doit théoriquement compenser la quantité de matière organique du sol qui disparaît chaque année par minéralisation lente. Elle a été calculée sur la base de la teneur moyenne en matière organique mesurée en 1976 (13.9 g.kg<sup>-1</sup>) et en appliquant un coefficient de minéralisation de 2% du stock initial. Elle correspond, pour une épaisseur de sol de 30 cm et une masse volumique apparente de 1,62, à 1 351 kg d'humus.ha<sup>-1</sup>. Cette dose n'a pas varié au cours de l'essai, même si la teneur en matière organique du sol a changé au cours des années. En moyenne, les doses de produits frais organiques appliquées chaque année à la même période (décembre) étaient les suivantes :

- Sarment, dose simple (D1) : 2.1tonnes.ha<sup>-1</sup>,
- Fumier de ferme, dose simple (D1) : 10 tonnes.ha<sup>-1</sup>, dose double (D2) : 20 tonnes.ha<sup>-1</sup>,
- Compost de champignonnière, dose simple : 7 tonnes.ha<sup>-1</sup>, dose double : 14 tonnes.ha<sup>-1</sup>.

Deux niveaux de fertilisation minérale annuelle (N, P, K, Mg) ont été appliqués à l'ensemble des traitements comparés et n'ont eu que de très rares effets significatifs qui ne seront pas présentés ici.

Le cépage utilisé est le Cabernet franc clone 8A 58 greffé sur 3309C. Le raisin sert à élaborer un vin rouge produit en A.O.C. Chinon. La densité de plantation est de 5 000 cep/ha (2 m x 1 m). La vigne est conduite en palissage plan, en taille Guyot simple et a un indice H/E de 0.65. Les troncs ont une hauteur de 0,50 m. Les sarments produits chaque année sont évacués des diverses parcelles. Le sol est désherbé chimiquement et les matières organiques sont incorporées superficiellement par un scarificateur, après leur épandage manuel, en décembre. Les principales caractéristiques physico-chimiques du sol ont été analysées par le laboratoire central de l'INRA. Des prélèvements de sols à la tarière ont servi à déterminer la Capacité au Champ du sol pour l'eau, mesurée par gravimétrie et séchage à l'étuve. Ils ont aussi servi à extraire l'azote minéral du sol au KCl. La biomasse microbienne du sol a été déterminée par fumigation-extraction par le laboratoire de microbiologie des sols INRA de Dijon (CHAUSSOD *et al.*, 1999).

Le poids de bois de taille ainsi que le rendement en raisin et ses composantes ont été déterminés chaque année. Au moment des vendanges, les principales caractéristiques des baies ont été analysées (sucres réducteurs, acides organiques, pH, anthocyanes totales, Indice de Polyphénols Totaux). L'azote total a été dosé dans les limbes, les baies et le vin. Une vinification des principaux traitements a été réalisée, avec un contrôle des conditions de température.

Les données ont été traitées par l'analyse de variance et les moyennes comparées par le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de risque de 1<sup>ère</sup> espèce de 5%, grâce au logiciel STATBOX<sup>®</sup>.

## Résultats obtenus

Les caractéristiques ou les teneurs en divers éléments mesurés dans le sous-sol (30-60 cm) n'ont montré que très rarement des différences significatives entre les traitements comparés, au terme d'une période de 23 ans. Pour cette raison, nous privilégierons celles obtenues pour le sol (0-30 cm). Nous illustrerons les effets des divers traitements sur la vigne, la vendange et le vin, par les résultats de 1998-1999 qui sont représentatifs de ceux obtenus sur une plus longue période. Nous retiendrons 4 traitements principaux : témoin, sarments broyés D1, fumier de ferme D1 et fumier de ferme D2.

### Matière organique du sol

Les résultats des analyses du sol prélevé en 1998 montrent des différences significatives entre traitements (tableau 1). Le témoin, resté sans apport pendant 23 ans, a un taux moyen de matière organique significativement plus faible (11,1 g.kg<sup>-1</sup>) que dans les autres traitements et inférieur à celui du sol au début de l'expérimentation (13,9 g.kg<sup>-1</sup>). La dose simple de sarments broyés a maintenu correctement la teneur initiale (14,5 g.kg<sup>-1</sup>). La dose simple de fumier de ferme a légèrement augmenté ce taux, sans être significativement différent de celui du traitement sarments broyés. La dose double de fumier de ferme a fait croître très significativement la quantité de matière organique du sol, par rapport aux doses simples de

sarment, fumier de ferme et au témoin, puisqu'elle atteint 24,3 g.kg<sup>-1</sup> (tableau 1). Les teneurs en azote total confirment tout à fait les divers résultats obtenus pour la matière organique. Le rapport C/N est significativement plus élevé dans le témoin (11,57) et plus faible dans le traitement fumier de ferme D1 (10,67). Les autres traitements ne se différencient pas entre eux.

### Principales caractéristiques chimiques du sol

Le pH eau moyen est supérieur à 8,0 dans tous les traitements, en raison de la nature calcaire de la roche mère du sol. En 1998, le témoin montre un pH eau significativement plus élevé (8,39) à celui de tous les traitements organiques, particulièrement par rapport au traitement fumier de ferme D2 (tableau 1). La Capacité d'Échange Cationique (C.E.C.) est augmentée significativement par les divers traitements organiques par rapport au témoin. La valeur la plus élevée s'observe dans la dose double de fumier de ferme. En ce qui concerne le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable, K<sub>2</sub>O et MgO échangeables, le traitement sarments broyés D1 ne se différencie pas significativement du témoin, tandis que les traitements à base de fumier de ferme augmentent significativement ce taux (tableau 1).

### Production d'azote minéral dans le sol

Un suivi de la minéralisation de l'azote organique a été réalisé, entre autres, en 1999. Dans le tableau 1, sont présentés les résultats obtenus lors du pic printanier de minéralisation. Les quantités d'azote nitrique et ammoniacal minéralisées sont du même ordre et identiques sur le plan statistique, dans le témoin et le traitement sarments broyés. Pour le fumier de ferme D2, les teneurs en ces deux formes d'azote minéral sont beaucoup plus élevées que dans les traitements précédents, particulièrement en ce qui concerne l'azote nitrique (71 kg.ha<sup>-1</sup>).

**Tableau 1 - Résultats concernant les caractéristiques du sol (0-30 cm) mesurées dans les principaux traitements de l'essai de Chinon, en 1998-1999**

Principaux traitements étudiés	Témoin	Sarments	Fumier	Fumier
Principales variables mesurées	sans MO	broyés D1	Ferme D1	Ferme D2
Matière organique (g.kg <sup>-1</sup> )	11,1 a	14,5 b	16,0 b	24,3 c
Azote total (g.kg <sup>-1</sup> )	0,56 a	0,77 b	0,88 b	1,17 c
C/N	11,57 b	11,18 ab	10,67 a	10,89 ab
pH eau	8,39 b	8,28 a	8,24 a	8,18 a
C.E.C. (cmol+.kg <sup>-1</sup> )	5,1 a	8,6 bc	6,2 b	11,1 c
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable (g.kg <sup>-1</sup> )	0,45 a	0,40 a	0,58 b	0,64 b
K <sub>2</sub> O échangeable (g.kg <sup>-1</sup> )	0,26 a	0,29 a	0,40 b	0,48 c
MgO échangeable (g.kg <sup>-1</sup> )	0,28 a	0,30 ab	0,30 ab	0,33 b
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (kg.ha <sup>-1</sup> )	34 a	33 a	----	71 b
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (kg.ha <sup>-1</sup> )	34 a	29 a	----	44 b
Masse volumique apparente	1,61	1,48	----	1,46
Eau Capacité au Champ (g.kg <sup>-1</sup> )	108,6 a	124,5 b	----	136,8 c
Biomasse microbienne du sol (mg.kg <sup>-1</sup> )	128,5 a	213,5 b	234,5 b	329,5 c

a différent de b, différent de c, au seuil de risque de 5%, par test Newman et Keuls

D1 = dose simple, D2 = dose double

### Propriétés physiques et microbiologiques du sol

La masse volumique apparente du sol est plus faible dans les traitements sarments broyés et fumier de ferme D2, que dans le témoin (tableau 1). La teneur en eau à la capacité au champ, après ressuyage du sol à la fin de l'hiver, est significativement plus faible dans le témoin (108,6 g.kg<sup>-1</sup>) par rapport à la dose simple de sarments broyés (124,5 g.kg<sup>-1</sup>) et surtout la dose double de fumier de ferme (136,8 g.kg<sup>-1</sup>).

La biomasse microbienne du sol est significativement plus faible dans le témoin. Elle augmente significativement en fonction de la dose de matière organique. Le traitement fumier de ferme D2 montre la biomasse microbienne la plus forte (329,5 mg.kg<sup>-1</sup>).

## Résultats concernant la vigne

De 1976 et 1988, les divers traitements organiques n'ont eu aucune influence sur les principales variables de production viticole (bois de taille, rendement, composition de la vendange). Au début des années 1990, les effets de certains traitements sont devenus significatifs. Nous les illustrerons par les résultats de 1999 qui sont représentatifs (tableau 2). Le traitement fumier de ferme D2 a produit significativement moins de bois de taille que les sarments broyés D1, les autres traitements étant intermédiaires. Il a aussi réduit le rendement en raisin par souche, par rapport aux autres traitements qui ne se distinguent pas du témoin. Mais, le rapport rendement / bois de taille n'est pas statistiquement affecté. Le nombre de grappes par cep n'est pas modifié, alors que le poids moyen d'une grappe est significativement plus faible dans le traitement fumier de ferme D2 (tableau 2). La dose double de fumier de ferme montre une tendance affirmée à une augmentation du nombre de ceps manquants (8 % contre 4,8 % dans le témoin). Les divers traitements organiques semblent favoriser le développement de *Botrytis cinerea* sur grappes, par rapport au témoin, comme le montrent les chiffres du tableau 2.

**Tableau 2 - Résultats concernant les variables de production viticoles et la composition chimique des baies et des vins mesurées dans les principaux traitements de l'essai de Chinon, en 1999**

Principaux traitements étudiés Principales variables mesurées	Témoin Sans MO	Sarments broyés D1	Fumier Ferme D1	Fumier Ferme D2
Bois de taille frais (g.cep <sup>-1</sup> )	780 ab	820 b	800 ab	620 a
Rendement en raisin (kg.cep <sup>-1</sup> )	1,97 b	1,99 b	1,86 b	1,54 a
Rendement / Bois de taille	2,53 a	2,43 a	2,33 a	2,33 a
Grappes (nombre.cep <sup>-1</sup> )	10,0 a	10,3 a	9,7 a	9,5 a
Poids d'1 grappe (g)	198 b	197 b	193 b	179 a
Grappes atteintes par <i>Botrytis cinerea</i> (%)	13 a	23 a	18,5 a	18 a
Ceps manquants (%)	4,8 a	4,4 a	5,0 a	7,9 a
N du limbe à la véraison (g.100g <sup>-1</sup> MS)	0,72 a	0,70 a	----	0,94 b
Sucres réducteurs des baies (g.l <sup>-1</sup> )	174 b	171 b	174 b	163 a
Acidité totale des baies (g.l <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	6,04 ab	5,87 a	5,95 a	6,34 b
pH des baies	3,22 ab	3,20 a	3,28 a	3,30 b
N du moût (mg.l <sup>-1</sup> )	383 a	369 a	----	583 b
Alcool du vin (% volume)	12,6	12,4	11,9	11,6
Acidité totale du vin (g.l <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	2,83	2,78	3,08	3,01
pH du vin	3,66	3,70	3,78	3,85
Anthocyanes du vin (g.l <sup>-1</sup> )	0,42	0,40	0,36	0,33
Intensité colorante du vin	0,68	0,61	0,55	0,45
Indice de Polyphénols totaux du vin	34,5	33,6	30,9	27,9
N du vin (mg.l <sup>-1</sup> )	12,6	12,0	17,4	19,4

a différent de b, différent de c, au seuil de risque de 5%, par test Newman et Keuls

D1 = dose simple, D2 = dose double

Le traitement fumier de ferme D2 induit une augmentation significative de la teneur en azote des limbes à la véraison, tandis que le traitement sarments broyés D1 ne se différencie pas du témoin (tableau 2).

### Caractéristiques biochimiques des baies et du vin.

En 1999, la dose double de fumier de ferme a fourni des vendanges significativement moins riches en sucres réducteurs par rapport aux sarments broyés et au témoin (tableau 2). Ce même traitement entraîne une acidité totale des baies significativement supérieure. Le pH du moût y est également significativement plus élevé que dans les sarments broyés D1 ou le fumier de ferme D1. La teneur en azote dans le moût est significativement plus forte dans le traitement fumier de ferme D2, tandis que les sarments broyés D1 ne se différencient pas du témoin. Les teneurs en azote dans le vin confirment celles mesurées dans les moûts.

La teneur en alcool des vins de 1999 est notamment plus faible dans le traitement fumier de ferme D2, par rapport au témoin et aux sarments broyés D1. L'acidité totale est un peu plus élevée dans les doses de fumier de ferme. Le pH du vin montre une augmentation assez nette dans la dose double de fumier de ferme, confirmant ainsi les résultats déjà obtenus pour les moûts. L'intensité colorante, la quantité d'anthocyanes et

L'Indice de Polyphénols Totaux du vin, sont plus faibles pour les traitements fumier de ferme particulièrement dans la dose double, par rapport au traitement sarments broyés D1 et surtout le témoin (tableau 2).

## Discussion et Conclusion

La teneur en matière organique mesurée dans le sol en 1998 est de  $11,1 \text{ g.kg}^{-1}$ , contre  $13,9 \text{ g.kg}^{-1}$  en 1976, soit une diminution de  $2,8 \text{ g.kg}^{-1}$  en 23 ans. Cette assez faible diminution peut s'expliquer, pour partie, par l'effet de protection que constitue le calcium, vis-à-vis des particules organiques. La valeur de 0,02 choisie pour le coefficient de minéralisation lente  $k_2$  de l'humus, semble un peu surestimée puisque les doses simples de sarments broyés et fumier de ferme augmentent légèrement le stock d'humus du sol. Les teneurs observées dans les doses doubles, tout en étant significativement les plus élevées, n'augmentent pas proportionnellement aux quantités de matière organique apportées. Ce comportement serait dû au fait que la quantité d'humus stabilisé disparaissant chaque année par minéralisation lente a été calculée à partir de la teneur initiale en matière organique du sol, soit  $13,9 \text{ g.kg}^{-1}$  et appliquée à tous les traitements. Pour les doses doubles de fumier de ferme, les quantités apportées sont donc calculées par défaut puisqu'elles n'intègrent pas l'effet de l'augmentation de la teneur en matière organique sur la quantité minéralisée.

Les différentes sources organiques utilisées ont des performances voisines quant à l'évolution du taux de matière organique du sol. Toutefois, les sarments broyés apparaissent légèrement moins performants. Cela pourrait être lié à des valeurs très différentes du C/N (CHAMPAGNOL, 1980) qui sont en moyenne de 65 pour les sarments broyés et seulement de 18 pour le fumier de ferme.

Les traitements organiques, particulièrement les doses doubles de fumier de ferme, ont tendance à abaisser le pH eau du sol, par rapport au témoin. Cet effet est à rapprocher des nombreuses fonctions acides qui communiquent à la matière organique sa capacité d'échange (CHAMPAGNOL, 1980). Dans un sol nettement basique comme celui de l'essai, cela semble bénéfique au fonctionnement de la vigne. L'augmentation de la C.E.C. dans les traitements organiques, particulièrement dans les doses doubles de fumier de ferme, peut réduire les risques de lessivage des éléments fertilisants et améliore la capacité de rétention pour l'eau. À l'exception des sarments broyés, les traitements organiques augmentent la teneur en azote, si bien que, dans ces conditions, aucune fertilisation minérale ne serait nécessaire. Cette augmentation est liée bien sûr à la composition chimique des produits organiques appliqués, les sarments broyés étant beaucoup moins riches que le fumier de ferme.

Les quantités d'azote minéralisé diffèrent, bien entendu, selon les doses, mais aussi selon la composition de la matière organique appliquée. Dans la dose simple de sarments broyés, la quantité d'azote minéralisé n'est pas significativement plus élevée que dans le témoin, et la quantité d'azote ammoniacal peut même y être significativement plus faible que dans le témoin. La décomposition annuelle du sarment broyé à C/N très élevé (65) entraîne une immobilisation d'une grande partie de l'azote minéralisé dans les corps microbiens (REES et CASTLE, 2002). Au contraire, dans les parcelles recevant du fumier de ferme dont le C/N moyen est de 18, il n'y a pas d'immobilisation de l'azote minéral (MOREL, 1989).

Pendant les douze premières années de l'essai, aucun effet significatif des amendements organiques appliqués n'a été observé sur la vigne, bien que les parcelles dose double ont cumulé près de 240T de fumier de ferme /ha par rapport au témoin qui n'a reçu aucun apport. Puis, un effet dépressif sur le poids de bois de taille et le rendement s'est peu à peu installé dans le traitement fumier de ferme D2. Dans ce même traitement, la vigne a absorbé une quantité d'azote minéral significativement plus importante. Ce type de réponse ne vérifie pas certaines affirmations de la bibliographie qui concluent à un effet favorable de la matière organique sur le développement de la vigne (CHAMPAGNOL, 1980). Pourtant, sur le sol, plusieurs effets positifs de la matière organique ont été enregistrés dans cet essai, comme : amélioration de la C.E.C., de la réserve en eau, de la biomasse microbienne, de la teneur en éléments fertilisants et diminution du pH en sol alcalin (MOREL, 1989). Par ailleurs, la quantité beaucoup plus importante d'azote minéral disponible dans le sol du traitement fumier de ferme D2, devrait entraîner un plus fort développement végétatif de la vigne. Mais LIČINA (1998), comparant des doses de 50 et 100 kg d'azote minéral/ha, a enregistré une augmentation de la teneur en N des feuilles de Cabernet-Sauvignon, mais n'a noté aucun effet sur le rendement, par rapport à un témoin non fertilisé en N. Dans un essai en conditions contrôlées avec le cépage Merlot, HILBERT *et al.*, (2003) n'ont pas noté d'effet significatif des apports d'azote sur le poids de bois de taille, mais seulement une tendance à une augmentation de la surface foliaire par souche. Par contre, une diminution significative du rendement dans le traitement où l'azote était apporté en excès a été observée. Ces résultats sont en accord avec ceux que nous présentons. Une des explications à ce comportement pourrait être

un seuil de réponse à l'azote de la vigne très bas. Les doses doubles de fumier de ferme ont une influence négative sur la qualité du raisin en diminuant la quantité de sucres réducteurs et en augmentant le pH du moût, mais aussi en réduisant la quantité d'anthocyanes et l'Indice de Polyphénols Totaux du vin. Ces résultats sont également en accord avec ceux obtenus par HILBERT *et al.* (2003) et OKAMOTO *et al.* (2003) qui montrent qu'un excès d'azote absorbé par la vigne affecte largement les voies métaboliques de synthèse des anthocyanes.

En conclusion, des apports de fumier ou de compost à très forte dose semblent à déconseiller, car néfastes pour la vigne, la qualité de la vendange et les caractéristiques du vin. Ils entraînent pourtant la biomasse microbienne du sol la plus forte. Par contre, la pratique du broyage annuel du bois de taille, sous réserve d'un bon état sanitaire des ceps, se révèle une excellente pratique agronomique pour entretenir le taux en matière organique du sol, sans conséquences défavorables sur la vigne, la qualité des vendanges et des vins. Dans les conditions de cet essai, bien qu'ayant la teneur en matière organique du sol la plus faible, le témoin induit un poids de bois de taille, un rendement et une qualité des baies et des vins parmi les plus satisfaisants. Les résultats de cet essai indiquent que seules les propriétés physico-chimiques de l'horizon de surface (0-30 cm) ont été significativement modifiées par les apports. Ils montrent aussi qu'il n'est pas souhaitable de vouloir augmenter à tout prix le taux de matière organique d'un sol viticole sableux et qu'il est illusoire de penser que l'on peut obtenir cette augmentation en un nombre restreint d'années.

### Références bibliographiques

- CHAMPAGNOL F., 1980. La matière organique des sols de vigne du Midi de la France. *Progrès Agricole et Viticole*, **8**, 161-173.
- CHAUSSOD R. BREUIL M-C., NOUAIM R., LEVEQUE J. et ANDREUX F., 1999. Des mesures microbiologiques pour évaluer la fertilité des sols viticoles. *Revue des Œnologues*, **95**, 19-22.
- CHONÉ X., VAN LEEUWEEN C., CHERY P. and RIBÉREAU-GAYON P., 2001. Terroir influence on water status and nitrogen status of non-irrigated Cabernet-Sauvignon (*Vitis vinifera*). Vegetative development, must and wine composition (example of a Médoc top estate vineyard, Saint-Julien area, Bordeaux, 1997). *South African Journal of Enology and Viticulture*, **22**,1, 8-15.
- DELAS J., DUREAU P., GODEFERT M., JUSTE C., MENET M., MOLOT C., SOYER J-P. et VESSOT B., 1985. Effet de l'épandage de vinasses de distillerie sur le comportement de la vigne et les propriétés du sol. *Science du Sol*, **3**, 115-127..
- HILBERT G. SOYER J.P., MOLOT C., GIRAUDON J., MILIN S. and GAUDILLÈRE J.P., 2003. Effects of nitrogen supply on must quality and anthocyanin accumulation in berries of cv. Merlot. *Vitis*, **2**, 69-76.
- LIČINA V., 1998. Nitrogen fertilization of grapevine and its effect on the content of its mineral forms in soil nitrogen content in leaves and grape yield. *Review of Research Work at the Faculty of Agriculture of Belgrade*, **43**, 1, 65-70.
- MOREL R., 1989. *Les sols cultivés*. Éditions Tec & Doc, Lavoisier, 373 p.
- OKAMOTO G., ONISHI H. and HIRANOK., 2003. The effect of different fertilizer application levels on anthocyanoplast development in berry skin of Pione grapevines (*V. vinifera* x *V. labrusca*). *Vitis*, **3**, 117-121.
- REES R. and CASTLE K., 2002. Nitrogen recovery in soils amended with organic manures combined with inorganic fertilisers. *Agronomie*, **22**, 739-746.
- THURIES L., ARRUFAT A., DUBOIS M., FELLER C., HERRMANN P., LARRE-LARROUY M-C., MARTIN C., PANSU M., REMY J-C. et VIEL M., 2000. Influence d'une fertilisation organique et de la solarisation sur la productivité maraîchère et les propriétés d'un sol sableux sous abri. *Étude et Gestion des Sols*, **7**, 1, 73-88.