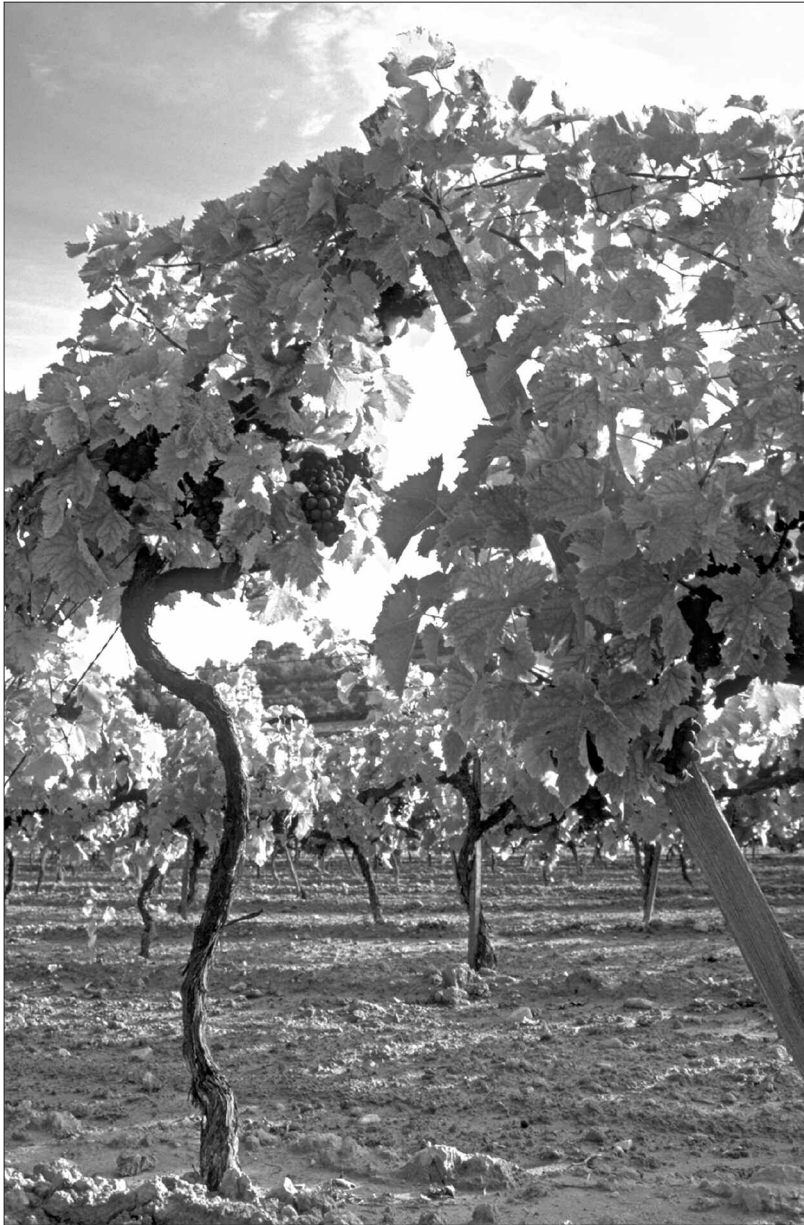


Photo : PNRL



SUIVI DES MODIFICATIONS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DE SOLS DE VIGNOBLES À TEXTURES DIFFÉRENTES APRÈS APPORT DE COMPOST URBAIN

André PRONE, Annie LEBOURG, Fabienne BLANCHON & Catherine DE SWEEMER*

I. INTRODUCTION

Les sols viticoles comportent fréquemment des teneurs en matière organique très faibles. Cela résulte de la faible restitution de la vigne et de l'évolution des pratiques culturales : destruction de la végétation spontanée ou technique de « non culture », abandon des fertilisants traditionnels tels que le fumier (Murisier *et al.*, 1980). L'érosion des sols cultivés en coteaux est également un problème (Ballif, 1993). Cette situation est aggravée par le désherbage des sols, l'agrandissement des parcelles, la suppression des obstacles naturels et la mécanisation (Delas, 1993).

Le maintien de la qualité des sols implique donc des apports en matière organique (Boselli, 1986). Traditionnellement des déchets ont été utilisés comme amendement. Nombreux sont les travaux sur la réponse des végétaux à l'amendement des sols par des boues résiduaires compostées (Tester *et al.*, 1979; Sikora *et al.*, 1980; Tester *et al.*, 1982; Sikora *et al.*, 1982; Mc Coy *et al.*, 1986; Tester, 1989). En 1994, une étude de synthèse sur les conséquences de l'utilisation de compost urbain et de boues de station d'épuration en viticulture (Prone, 1994) montre que peu de travaux sont consacrés à l'application des composts urbains. Or, le secteur viticole, utilise principalement la filière compostage de déchets urbains pour ses amendements, même s'il tend à limiter aujourd'hui les épandages dans la mesure où les effets à court et moyen terme sur la production sont mal connus.

Cependant, l'évolution de la législation actuelle sur la récupération des déchets urbains (Pineau *et al.*, 1995)

et leur tonnage en constante évolution, peuvent favoriser à terme la valorisation de leur matière organique par compostage. L'orientation actuelle, des tris à la source et donc le retrait d'éléments indésirables (plastiques, verres, inertes « indifférents » ou agressifs vis-à-vis du sol), associée à une meilleure maîtrise des problèmes liés au degré de maturité des matières organiques et des concentrations en micropolluants minéraux, vont rendre plus attractif que par le passé ce type de compost (Massiani *et al.*, 1996).

Si des tris en amont de la chaîne d'affinage sont susceptibles de réduire la présence d'indésirables et la charge métallique, de même qu'un contrôle plus rigoureux de la période de maturation permet de mieux cerner les phénomènes d'humification, les effets de la matière organique sur l'organisation du sol en fonction de sa texture, sont plus difficiles à appréhender (Pagliai, 1987). Cependant, ces modifications physiques du sol par l'apport de matière organique vont se répercuter sur la biodisponibilité des éléments majeurs et mineurs et donc influencer sur la qualité des crus. C'est pourquoi nous avons privilégié l'étude des modifications de la structure et de la microstructure du sol au cours de la minéralisation de la matière organique, afin de suivre l'évolution de la nature de l'espace poral après apport de matière organique et de discriminer la quantité et la qualité des vides, en particulier ceux composant la microporosité, susceptibles de jouer un rôle dans le transfert des substances minérales nécessaires à la nutrition végétale (Guerif, 1990; Prone *et al.*, 1992).

* Laboratoire de chimie et environnement, Université de Provence, 3 place Victor Hugo, I 3003 Marseille, France.

Initialement, l'épandage de compost avait pour unique objectif de fertiliser les sols. Actuellement, il est reconnu que la matière organique ainsi apportée agit directement sur un ensemble de caractéristiques du sol : propriétés chimiques, physiques et microbiologiques (Tester, 1990). Les conséquences de ces modifications et leurs répercussions sur la vigne et le vin définissent les intérêts et les inconvénients que présente l'emploi de compost. Pour assurer une meilleure compréhension des relations sol/compost en vue d'une valorisation agricole, nous avons corrélé les informations fournies par l'étude morphologique et micromorphologique aux résultats obtenus par les méthodes classiques d'analyses chimiques et physiques de la pédologie.

Pour conduire ce travail, deux sites expérimentaux sur des sols de vignoble à texture différente ont été étudiés d'octobre 1990 à octobre 1993 :

- site du sud Luberon (Vaucluse) sur sol à texture argileuse,
- site de Quinson (Alpes-de-Haute-Provence) sur sol à texture sablo-argileuse.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Choix et nature des sites expérimentaux

L'effet du compost sur les modifications du sol en fonction des différences de texture étant privilégié dans notre étude, il importait que la qualité des cépages et les pratiques culturales soient les plus proches. C'est pourquoi nous avons pris en compte les facteurs d'utilisation suivants :

- des cépages sélectionnés et des porte-greffes de même nature,
- un âge des vignes équivalent,
- un désherbage effectué grâce au travail du sol,
- un apport contrôlé d'engrais minéraux,
- une connaissance de l'histoire des pratiques culturales du vignoble et la sélection de cépages à appellation contrôlée,
- une station climatique à proximité des parcelles expérimentales,
- un effet de pente et de ruissellement faible,
- une couche arable moyennement profonde,
- un profil pédologique à deux horizons différenciés sur chaque site.

Afin de caractériser le profil pédologique l'ouverture d'une fosse est pratiquée sur chaque site ; de même qu'un périmètre de protection est défini pour se garantir de tous passages d'engins agricoles sur le secteur d'étude.

Le premier site est situé dans la partie est du Luberon, entre les villages de Corbières et de Grambois, à une altitude de 388 m, en exposition Sud. Du point de vue géologique, la parcelle de vigne se trouve dans la partie sud-est de la feuille de la carte géologique au 1/50 000 de Reillanne, dans la zone anticlinale du Petit Luberon « la Déboulrière-Beaumont », contre la zone de flexure des poudingues du Miocène terminal. Elle occupe des sols d'érosion, peu évolués, non climatiques, régosolitiques, résultant de l'altération des marnes oligocènes de Viens et d'apports des poudingues oligocènes et des calcaires hauteriviens. Le climat est de type méditerranéen : sec et chaud en été avec des températures moyennes de juillet et de décembre très contrastées et des précipitations annuelles de l'ordre de 700 mm (valeur moyenne des précipitations de 1990 à 1994 : données du centre départemental de Météo France).

Le deuxième site englobe un vignoble de la zone sud de Quinson (sud des Alpes-de-Haute-Provence), entre le domaine de Sainte Maine et la Bastide Blanche à une altitude de 491 m et en exposition sud-sud-ouest. Il se situe dans la partie nord-est de la carte géologique de Tavernes au 1/50 000, au sud du puissant ensemble marno-calcaire de l'Hauterivien constitué de marnes jaunes et de calcaires riches soit en lamellibranches soit en échinides. Les sols sont peu à moyennement profonds, d'érosion, caillouteux et calcaire. Le climat est de type méditerranéen sub-humide avec un caractère continental dû au relief : présence de gelées en hiver et précipitations annuelles conséquentes (750 mm de pluie en 1992, pour une valeur moyenne de 1990 à 1994 de 720 mm).

Les pratiques culturales employées sur les sites étudiés et la nature du profil pédologique sont répertoriées dans le tableau ci-après.

Site	Luberon (L)	Quinson (Q)
Qualité du cépage	Grenache, porte-greffe	Carignan, porte-greffe 41B
Année de plantation	1965	1962
Appellation	Côtes du Luberon	Pierrevert
Fertilisation	Phosphore, potassium et magnésium 400 kg/ha, tous les trois ans, un sillon sur deux Dernier apport : novembre 1990	Phosphore, potassium et azote 700 kg/ha, tous les trois ans sur tous les sillons Dernier apport : février 1992
Désherbage	Grattage à la herse 2 fois par an.	Grattage à la herse 2 fois par an.
Profil : litière horizon Ap horizon C substrat	0 à 2 cm (hors labour) 0 à 30 cm 30 à 60 cm marnes oligocènes	2 à 45 cm 45 à 100 cm marno-calcaire hauterivien
Couleur ¹	2,5 Y/6/4	10 YR/6/6
Remarques	réseau racinaire diffus, composé de nombreuses radicules activité biologique non visible traces d'hydromorphie : taches de rouille	réseau racinaire important, principalement latéral présence de lombrics, de nombreux insectes et de leurs larves

2.2. Mode de prélèvement

Trois campagnes d'échantillonnage par an sur chaque site, prenant en compte l'action saisonnière à intervalle régulier : octobre, février, juin, sont effectuées sur la totalité des horizons (0 à 30 cm de profondeur en moyenne). Trois types d'échantillons différents sont prélevés : le sol nu (noté S), le sol amendé une fois (noté S/C) et le sol amendé deux fois (noté S/C2), selon les techniques suivantes :

- par carottier à double chambre, de 50 mm de diamètre et 300 mm de long, équipé de dents en carbure de silicium dont l'angle de coupe autorise une pénétration dans le sol sans déformation majeure. Les carottes obtenues sont imprégnées de résine synthétique colorée en vue de l'étude micromorphologique en lames minces.
- par cylindres en acier (chanfreiné à une extrémité pour faciliter la pénétration de l'outil dans le sol) de volume connu (250 ml) afin de définir la porosité et l'humidité au champ.

- « en vrac » (1 à 2 kg), à l'aide d'une petite pelle, destinés aux diverses analyses physico-chimiques.

2.3. Mode d'amendement

L'amendement n'est pas incorporé dans le sol mais simplement déposé en surface à raison de 100 t/ha, renouvelé une fois à deux ans d'intervalle, sur 10 m² environ, englobant trois ceps de vigne. Nous avons utilisé du compost urbain de la société SOGEA à la maturité de six mois.

2.4. Méthodes d'analyses

Nous avons opté pour une méthodologie permettant de suivre à moyen terme, les propriétés physiques et chimiques du sol après ajout de compost. Pour cela, nous avons associé aux analyses classiques de la pédologie, l'étude par lames minces du pourcentage, de la taille et la distribution des pores permettant de suivre l'évolution de l'espace poral.

1. Ces codes font référence au « Musell soil colour charts » (Musell, 1971), code international des couleurs utilisé en pédologie.

L'examen micromorphologique fait appel à la technique d'imprégnation, *avant et après la collecte d'échantillons*, des matériaux argileux en vue de leur étude en lames minces et surfaces polie (Prone, 1976). Pour l'analyse de la porosité et de la microporosité des lames minces en microscopie photonique, nous sommes assistés par un système informatique de traitement d'image couleur.

III - RÉSULTATS ET SYNTHÈSE DES ANALYSES

3.1. Résultats

3.1.1. Observations de terrain

L'observation de terrain sur les deux parcelles nous amène à 5 constats :

- La couleur de surface de S/C2 est plus foncée (Q = 10 YR5/3 ; L = 2,5 Y5/2) que celle de S (Q = 10 YR6/4 ; L = 2,5 Y6/6), à la fois dans le Luberon et à Quinson. Il en résulte que les parcelles fraîchement amendées, même après trois mois, sont susceptibles d'absorber davantage l'énergie thermique incidente. Par contre, en octobre 1992, la teinte sur S/C est sensiblement la même que sur S.
- La dessiccation du vignoble du Luberon en périodes sèches (sol fissuré) est moins intense dans la zone couverte de compost trois mois auparavant qu'aux alentours.
- Sur ce même site, à la même époque (juin), on note la présence d'insectes et de crustacés (cloportes) en grand nombre sous la couverture de compost ; ce qui contraste fortement avec le reste du vignoble. À Quinson, où une faune variée est bien représentée sur l'ensemble du site, cela est moins net.
- Le vignoble du Luberon ne présente pas de végétation spontanée. Par contre, à Quinson, les graminées et autres « mauvaises herbes » forment un tapis dense sur toute la surface du sol, sauf sur la zone amendée.
- L'évolution dans le temps de l'aspect de la couche de

compost est similaire sur les deux sites : les débris de verre introduits par le premier épandage semblent se regrouper en amas et par endroits, des morceaux de plastique et d'os sont retrouvés partiellement enfouis dans le sol. La pénétration de la matière organique du compost s'étend jusqu'à 4 cm de profondeur après 10 mois, à Quinson. Dans le Luberon, sur la zone d'épandage la plus ancienne (février 1991), la couche organique n'est plus visible.

3.1.2. Étude de la texture et de la structure

a) Texture et cortège argileux

L'analyse par diagramme triangulaire GEPPA montre des différences notables de texture et de cortège argileux entre les deux sites expérimentaux :

- Luberon : argileuse (A) avec, dans l'ordre des proportions décroissantes, smectite, illite, kaolinite et vermiculite,
- Quinson : sablo-argileuse (Sal) avec, dans l'ordre des proportions décroissantes, kaolinite, illite et smectite.

b) La porosité totale

À Quinson, les porosités relevées en octobre dans le sol nu et dans la zone S/C sont semblables et augmentent avec la profondeur. Par contre, en février, elles sont plus élevées dans les zones S/C et S/C2 que dans le sol nu, surtout dans les cinq premiers centimètres de profondeur (S : 26,9 % ; S/C : 32,2 % ; S/C2 : 32,6 %). En juin, la porosité moyenne de chaque profil est sensiblement la même (de l'ordre de 27 %), consécutive à un maintien de la porosité sur S et une baisse sur S/C et S/C2.

Dans le Luberon, l'apport de compost provoque également une augmentation de la porosité totale, mise en évidence par les échantillons de juin. Un tassement de la terre, survenu lors du prélèvement, expliquerait la valeur faible obtenue pour le sol nu à cette date. Entre octobre et février les porosités de S et de S/C diminuent légèrement mais restent, dans les deux cas (octobre et février), très proches.

c) La perméabilité

Malgré la minutie apportée à la détermination pratique du coefficient de perméabilité (K), il n'a pas été possible d'obtenir une répétabilité des résultats suffisante pour juger convenablement de l'impact du compost sur ce paramètre.

Aucun changement de classe n'est observé entre S, S/C et S/C2, pour une même saison, sur les deux sites. Une tendance à la baisse de la perméabilité est notée sur les parcelles amendées de Quinson en octobre et juin et en octobre et février celles du Luberon ($K_S > K_{S/C} > K_{S/C2}$). Cependant, en février à Quinson et en juin dans le Luberon, l'inverse est observé ($K_S < K_{S/C} < K_{S/C2}$). Il semble que la perméabilité diminue sensiblement dans tous les cas entre octobre et février et se maintienne en juin (cela pourrait être la conséquence d'une activité biologique plus intense au printemps et en été, ainsi que des facteurs climatiques).

d) La microstructure

Microscopie optique et traitement d'images

L'étude micromorphologique de lames minces de sol a pour objectif de qualifier et de quantifier l'espace poral pour ensuite confronter les observations aux résultats analytiques. La porosité totale est répartie en macroporosité (macropores supérieurs à 2 mm et ceux de 2 à 0,2 mm), mésoporosité (mésopores de 200 μm à 6 μm), et microporosité (micropores de 6 μm à 0,2 μm). La porosité matricielle constituée de pores très fins de dimensions inférieures à 0,2 μm est difficilement exploitable par les plantes. L'extraction de l'eau dans un tel milieu doit être faite avec des succions inférieures à -15 bars. Toutefois, l'espace poral que l'on rencontre dans la fraction caillouteuse du sol (cas de la plupart des sols de vignobles) ou dans la roche du sous-sol, constitue un domaine qui ne doit pas être négligé, surtout en zone méditerranéenne dans le cas de l'alimentation en eau de certaines essences forestières ou de la vigne, susceptibles d'explorer très profondément le substratum calcaire ou marno-calcaire à des potentiels hydriques inférieurs à -15 bars. Aussi la porosité matricielle des substrats peut-elle être dans certaines conditions xériques une réserve en eau appréciable.

L'examen de lames minces de S, de S/C et de S/C2 par traitement d'image et mesure de la taille des pores aux objectifs : x20, x105, x600, d'une même campagne, permet de caractériser les modifications structurales induites par les apports de compost. Nous avons ainsi pu montrer que la morphologie des sols nus est nettement différente de celle des sols amendés de façon récente ou non. En effet l'apport de compost induit une baisse de la représentation relative des macropores au profit des mésopores et des micropores en favorisant la formation de microagrégats issus de la fragmentation du fond matriciel. Par ailleurs, la continuité de l'espace poral des lames de S/C et de S/C2 est meilleure que celle des lames de S. Aucune influence saisonnière n'est relevée.

(Voir planche 1, page suivante : photos au microscope photonique en lumière polarisée)

Quel que soit l'objectif du microscope la surface totale des vides des lames de S/C et des lames de S/C2 est significativement supérieure à celle des lames de S, à chaque campagne, et sur les deux sites (excepté en février dans le Luberon, valeurs sensiblement identiques). Dans le Luberon les valeurs moyennes mesurées sur les 30 premiers centimètres au mois de juin 1993 donnent respectivement : 31,8 % sur S, 34,1 % sur S/C et 41,3 % sur S/C 2.

Le suivi des effets du compost sur les 30 premiers centimètres à Quinson montre une évolution croissante de la porosité moyenne de S/C2 au cours du temps alors que celles de S et de S/C diminuent légèrement, ce qui accroît d'autant plus les différences relevées entre les zones. Ainsi on note en juin 1993 des valeurs de porosité moyenne de 26,6 % pour S, de 32,6 % pour S/C et de 44,1 % pour S/C2. Si l'on considère séparément les coupes horizontales et verticales sur les deux sites, il est difficile de définir une orientation préférentielle de la porosité, les valeurs étant généralement trop proches.

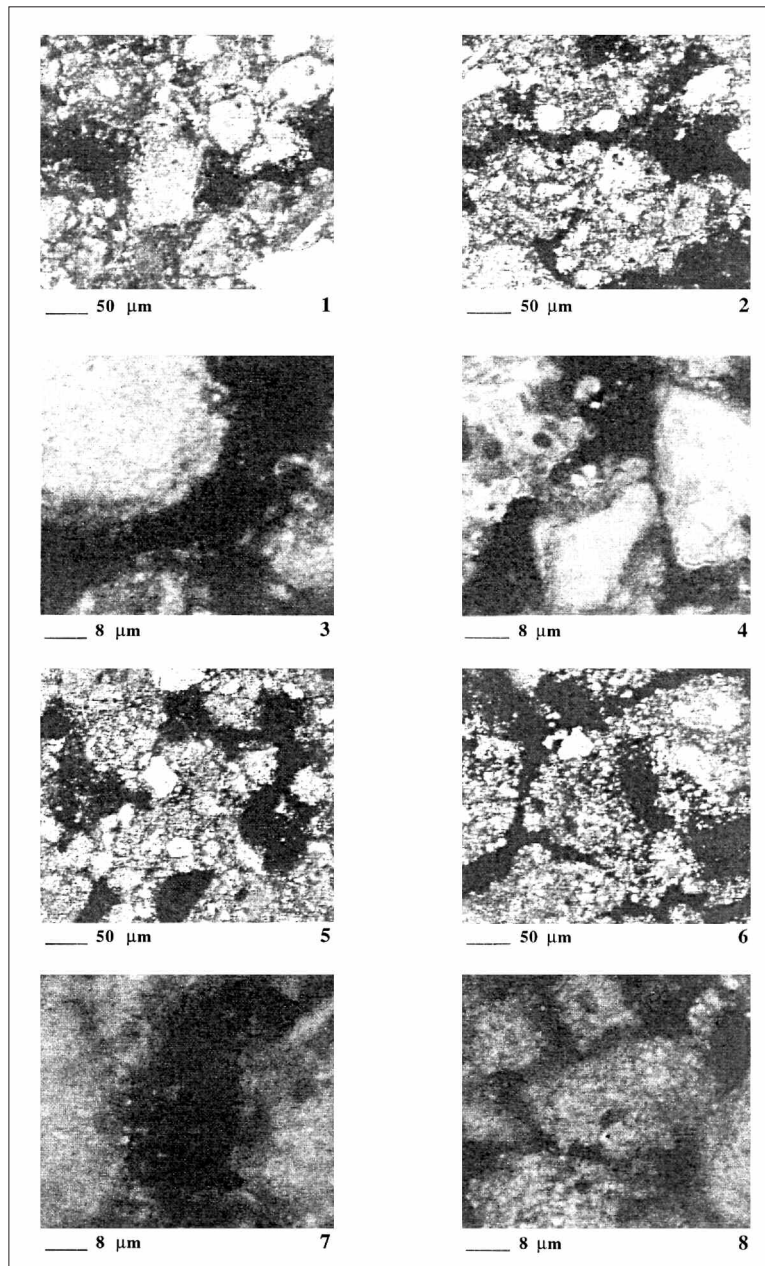


Planche 1 : Photos 1, 2, 3, 4 : **Site du Luberon**, juin 1993 (coupe verticale, profondeur : 25 à 30 cm) :

- 1 : S, mésopores inter granulaires;
- 2 : S/C2, V2, mésopores fins interconnectés par fragmentation du fond matriciel;
- 3 : S, micropores;
- 4 : S/C2, V2, micropores inférieures à 6 µm bien connectés.

Photos 5, 6, 7, 8 : **Site de Quinson**, juin 1993 (coupe verticale, profondeur : 25 à 30 cm).

- 5 : S, mésopores inter granulaires peu connectés;
- 6 : S/C2, V2, formation de micro-agrégats et de mésopores fins interconnectés.
- 7 : S, micropores « grossiers » ; microgranulation du fond matriciel et formation d'un réseau anastomosé.

Microscopie électronique à balayage

L'examen de petits agrégats de terre confirme les observations faites au microscope optique. En effet, sur les clichés à grossissement « x100 », l'aspect général des échantillons S/C et S/C2 est moins compact et plus granuleux que celui des échantillons S, surtout dans le secteur de Quinson. Sur ce site, à des grossissements plus fort (x500), la multiplication des microagrégats est particulièrement nette, principalement sur S/C2. Les radicules y sont également plus fréquentes et l'on note la présence de bouts de verre, de filaments métalliques provenant du compost. De telles remarques sont plus discutables sur les petites mottes du secteur du Luberon : S et S/C sont difficilement différenciables. Par ailleurs, aucune évolution saisonnière n'est discernable.

3.1.3. L'eau dans le sol

a) Capacité de rétention (humidité équivalente)

Pour des raisons pratiques, c'est une humidité considérée comme équivalente qui est mesurée au laboratoire sur un sol remanié et tamisé. Au fil des saisons, l'humidité équivalente des deux sites n'évolue pas de façon significative à la fois sur S et S/C. On y trouve sensiblement les mêmes valeurs : de l'ordre de 20 % à Quinson et de 30 % dans le Luberon. Ce n'est qu'après le deuxième ajout de compost qu'une nette augmentation est visible (Q : 29 % ; L : 43 %).

<i>Humidité équivalente en %</i>			
Zone	Octobre	Février	Juin
Q - S	21,8	20,1	23,8
Q - S/C	20,7	23,9	25,7
Q - S/C2	/	29,1	27,1
L - S	29,9	30,0	31,6
L - S/C	28,7	31,6	33,1
L - S/C2	/	/	43,9

b) L'humidité utile

De même, l'influence de l'épandage de compost est observée dans les variations de l'humidité utile (diffé-

rence entre la capacité de rétention en eau et le point de flétrissement).

Après 4 mois, à Quinson, elle passe de 16,4 % (S) à 24,8 % (S/C2) et dans le Luberon de 24,2 % (S) à 37,2 % (S/C2). Quant aux valeurs obtenues sur S et sur S/C, elles ne diffèrent pas significativement et sont constantes dans le temps. Enfin, quelles que soient la saison et la zone, la capacité de rétention en eau du sol du Luberon est supérieure à celle de Quinson.

<i>Humidité utile en %</i>			
Zone	Octobre	Février	Juin
Q - S	18,1	16,4	20,1
Q - S/C	16,2	20,1	21,9
Q - S/C2	/	24,8	22,8
L - S	21,6	22,0	24,2
L - S/C	20,6	24,1	25,8
L - S/C2	/	/	37,2

c) L'humidité au champ

Elle est définie en même temps que la porosité, sur des échantillons non perturbés et conservés hermétiquement au frais. La présence nouvelle de compost se répercute peu sur les valeurs d'humidité au champ, quels que soient la profondeur et le site considéré. Les parcelles de S/C et de S ne se révèlent pas non plus différentes. Seule une évolution à la baisse au cours du temps est à noter à Quinson. Dans le Luberon, les analyses ne permettent pas de souligner d'éventuelles modifications. Par contre l'ensemble des mesures montre que l'humidité au champ du Luberon est toujours nettement supérieure à celle de Quinson.

<i>Humidité au champ</i>			
Zone	Octobre	Février	Juin
Q - S	10,4	6,4	3,6
Q - S/C	7,8		4,5
Q - S/C2	/	8,6	3,4
L - S	13,8	16,2	13,6
L - S/C	11,1	16,7	/
L - S/C2	/	/	8,0

d) Le point de flétrissement (méthode hygroscopique)

À Quinson, le point de flétrissement évolue uniquement sur la zone S/C : l'effet du compost est encore visible en octobre (S : 3,7 % ; S/C : 4,5 %) mais totalement absent en février (S = S/C : 3,7 %). Par contre, là où du compost à été à nouveau épandu le point de flétrissement se maintient sensiblement à la valeur définie au moment de l'épandage (en février et juin, S/C2 : 4,3 %).

Dans le Luberon, le point de flétrissement de S et de S/C diminue légèrement d'octobre à juin. En outre, la valeur la plus basse est celle de S/C2 (6,7 %) mais diffère peu de celles de S (7,4 %) et de S/C (7,3 %). Dans tous les cas les points de flétrissement mesurés à Quinson sont approximativement inférieurs de moitié à ceux du Luberon.

<i>Point de flétrissement</i>			
Zone	Octobre	Février	Juin
Q - S	3,7	3,7	3,7
Q - S/C	4,5	3,8	3,8
Q - S/C2	/	4,3	4,3
L - S	8,3	8,0	7,4
L - S/C	8,1	7,5	7,3
L - S/C2	/	/	6,7

3.1.4. Étude des propriétés chimiques

a) La capacité d'échange cationique (CEC)

Ici, seuls le potassium, le sodium, le magnésium et le calcium sont dosés.

Comparaison des teneurs globales

Les teneurs cumulées en Na⁺, K⁺ et Mg²⁺ de S, S/C et S/C2 de chaque campagne avec une erreur moyenne de +/- 0,3 meq/100 g. Le Ca²⁺, n'est pas noté pour deux raisons :

- il représente en moyenne 98 % de la CEC totale à Quinson (soit 79 meq/100 g) et 95 % de celle du Luberon (soit 85 meq/100 g),
- les teneurs relevées n'évoluent ni avec le temps ni avec l'apport de compost de façon significative (voir tableau ci-après).

<i>Na⁺, K⁺ et Mg²⁺, (en meq/100 g)</i>			
Zone	Octobre	Février	Juin
Q - S	1,8	1,1	1,4
Q - S/C	2,1	1,6	1,3
Q - S/C2	/	2,3	2,1
L - S	3,5	4,1	3,9
L - S/C	5,0	4,4	3,9
L - S/C2	/	/	5,0

Sur les deux sites, les parcelles S/C2 ont des teneurs significativement supérieures à celles du sol nu et de S/C après 4 mois. À Quinson cela est toujours vrai après 8 mois. D'une façon générale, les zones S et S/C ont sensiblement les mêmes teneurs totales. Il n'y a qu'en octobre dans le Luberon que la teneur de S/C est plus élevée que celle de S.

À partir de ces observations et des comparaisons des valeurs de S/C et de S/C2, on en déduit que l'ajout de compost a bien provoqué une augmentation des teneurs relevées et qu'il ne s'agit pas d'un simple maintien de la CEC de S/C. Seuls les résultats du sol nu de Quinson montrent une diminution de la teneur totale entre octobre et février. Dans l'ensemble, aucune variation saisonnière n'est statistiquement mise en évidence. Par ailleurs, les teneurs dans le Luberon sont toujours plus fortes qu'à Quinson.

Étude de chaque cation

Na⁺

Le peu de résultats et les très faibles teneurs dosées ne permettent pas de conclure quant aux hypothétiques apports de Na⁺ consécutifs aux amendements. De même, aucune influence de la saison n'apparaît.

<i>Na⁺, (en meq/100 g)</i>			
Zone	Octobre	Février	Juin
Q - S	0,4	0,1	0,0
Q - S/C	0,1	0,0	0,0
Q - S/C2	/	0,1	0,1
L - S	0,1	0,1	0,1
L - S/C	0,2	0,1	0,1
L - S/C2	/	/	0,3

K⁺

Quatre mois après le deuxième ajout de compost, la teneur en K⁺ dans le sol augmente de façon significative sur les deux sites (concentration doublée à Quinson et triplée dans le Luberon). La même constatation est faite au bout de huit mois à Quinson. Une légère tendance à la baisse au cours du temps peut être notée sur la totalité des parcelles mais elle n'est pas statistiquement significative. Les deux sites montrent des teneurs en K⁺ identiques.

<i>K⁺ (en meq/100 g)</i>			
Zone	Octobre	Février	Juin
Q - S	0,6	0,5	0,4
Q - S/C	1,0	0,8	0,5
Q - S/C2	/	1,0	0,8
L - S	0,5	0,5	0,3
L - S/C	0,6	0,4	0,4
L - S/C2	/	/	0,9

Mg²⁺ et Ca²⁺

Parmi les quatre cations dosés, Mg²⁺ est le plus représenté après Ca²⁺. À Quinson, les teneurs en Mg²⁺ sont stables au cours du temps, sur l'ensemble des parcelles. Les zones S/C2 montrent un enrichissement significatif en février (S : 0,7 meq/100 g; S/C2 : 1,4 meq/100 g) mais plus en juin. Dans le Luberon, des variations saisonnières légères sont notées sur S et S/C, respectivement une augmentation entre octobre et février et une diminution entre février et juin. Les teneurs de ces deux zones diffèrent en octobre. Par contre, en juin S, S/C et S/C2 ont mêmes teneurs en Mg²⁺ (environ 3,5 meq/100 g). Dans l'ensemble, le sol de Quinson renferme moins de Mg²⁺ que celui du Luberon.

<i>Mg²⁺, (en meq/100 g)</i>			
Zone	Octobre	Février	Juin
Q - S	0,8	0,7	1,0
Q - S/C	1,0	1,2	0,8
Q - S/C2	/	1,4	1,2
L - S	2,9	3,5	3,5
L - S/C	4,2	4,0	3,4
L - S/C2	/	/	3,8

<i>Ca²⁺ (en meq/100 g)</i>			
Zone	Octobre	Février	Juin
Q - S	84	80	82
Q - S/C	76	78	78
Q - S/C2	/	74	76
L - S	79	78	106
L - S/C	88	71	97
L - S/C2	/	/	78

b) Le pH

D'après le référentiel pédologique français, les sols de Quinson et du Luberon sont qualifiés de basiques ($7,5 < \text{pH}_{\text{eau}} < 8,7$). Dans les deux sites, le pH_{eau} tout comme le pH_{KCl} ne sont pas significativement modifiés par les apports de compost. De même, le pH_{KCl} est stable dans le temps. Par contre, le pH_{eau} a tendance à augmenter entre octobre et juin.

c) Le carbone organique et le rapport C/N

L'influence de la présence du compost sur le taux de carbone organique est nette.

<i>Carbone organique (en meq/100 g)</i>			
Zone	Octobre	Février	Juin
Q - S	7,4	10,4	9,8
Q - S/C	14,8	17,2	18,5
Q - S/C2	/	30,7	29,5
L - S	14,5	9,8	8,6
L - S/C	11	9,8	9,8
L - S/C2	/	/	41,8

- À Quinson, les zones S/C et S/C2 ont des teneurs en carbone respectivement de 2 à 3 fois plus élevées que dans le sol nu, lors de chaque campagne (pour février, en mg de C/g de sol sec, S : 10,4; S/C : 17,2; S/C2 : 30,7).

- Dans le Luberon, la présence ancienne du compost (20 mois) est indiscernable. Par contre, celle du nouvel apport induit un enrichissement en carbone organique flagrant en multipliant la teneur par 5 (en mg de C/g de sol sec, S : 8,6; S/C2 : 41,8).

Les variations des teneurs en azote entre les différentes zones sont sensiblement les mêmes que celles du carbone organique.

Zone	Octobre	Février	Juin
Q - S	0,70	0,70	0,28
Q - S/C	0,19	1,12	0,56
Q - S/C2	/	1,26	0,98
L - S	0,70	0,70	0,70
L - S/C	0,70	0,70	0,84
L - S/C2	/	/	1,96

Au cours des saisons, le rapport C/N évolue de façon significative sur l'ensemble des parcelles. Ainsi, d'octobre à juin, alors qu'il augmente à Quinson (S : +20,1 ; S/C : +17,6 ; S/C2 : +5,7), il diminue dans le Luberon (S : -8,4 ; S/C : -4).

Zone	Octobre	Février	Juin
Q - S	11	15	35
Q - S/C	12	15	33
Q - S/C2	/	24	30
L - S	21	14	12
L - S/C	16	14	12
L - S/C2	/	/	21

d) Le calcaire total et le calcaire actif

Les deux vignobles sont très fortement calcaires : les teneurs en calcaire total relevées sont de l'ordre de 60 %. Seule la zone S/C2 du Luberon montre une augmentation significative après 4 mois d'apport par le compost. Au cours du temps, les teneurs des différentes parcelles ont tendance à croître entre octobre et février. Ces constatations ne sont pas liées à un enrichissement en calcaire actif puisque les teneurs sont relativement homogènes sur ce site et, d'une façon générale, stables dans le temps.

En revanche, on distingue en octobre dans les deux vignobles des différences entre les taux de calcaire actif de S et de S/C qui ne modifient pas les mesures de calcaire total.

4. DISCUSSION

L'interprétation des résultats exposés implique en premier lieu de considérer les liens étroits de cause à effet que possèdent les différents paramètres mesurés. Il convient donc de recouper les diverses données recueillies en intégrant les facteurs susceptibles d'influer sur ces paramètres afin de vérifier et/ou d'expliquer les observations. Ainsi, le rôle de la matière organique, de la texture et du climat doit être tout particulièrement abordé. Dans cette discussion, les durées d'expérimentation ont pour référence la date du deuxième épandage. Ensuite, l'évolution des données obtenues depuis octobre 1990 est abordée.

4.1. La structure et l'eau du sol

Les mesures de porosité totale à la fois par la méthode analytique et par l'étude de lames minces mettent en évidence les mêmes tendances et se vérifient donc mutuellement. Ceci permet de conclure à l'augmentation de la porosité totale à Quinson après 4 et 8 mois et dans le Luberon après 4 mois. Les conditions climatiques sèches et la similitude des résultats relevés sur les vignobles autorisent à penser que le rôle de la matière organique sur les modifications de la porosité prédomine sur l'influence de l'état hydrique du sol et de sa texture (Stengel, 1990).

Les propriétés de transfert du sol sont étroitement liées à la géométrie de l'espace poral. Par conséquent, les modifications de porosité totale et de distribution de la taille des pores sont susceptibles de se répercuter sur la perméabilité, la capacité de rétention en eau, le point de flétrissement et l'humidité au champ. Du fait des problèmes rencontrés lors de la détermination de la perméabilité, il apparaît délicat d'utiliser ce paramètre en temps que témoin d'une modification structurale.

La capacité de rétention en eau définit la quantité maximale d'eau qu'un sol peut emmagasiner dans ses micropores. C'est pourquoi l'augmentation de la proportion des pores fins causerait l'augmentation de la capacité de rétention en eau après 4 et 8 mois. Ce paramètre, tout comme le point de flétrissement, est également influencé par la texture et par la surface spécifique qu'elle définit (Tester, 1990) : le taux d'argile du

Luberon (39 %) expliquerait une capacité de rétention et un point de flétrissement généralement plus élevés qu'à Quinson (teneur en argile de 13,5 %) dans des conditions climatiques semblables. De même, l'augmentation du point de flétrissement après épandage de compost sur la parcelle de Quinson implique que la texture du sol a évolué (augmentation de la proportion d'éléments fins).

Quant aux taux d'humidité au champ corrigée, ils ne s'accordent guère avec les remarques précédentes. Ils sont faibles et, en juin, à Quinson, correspondent exactement aux mesures du point de flétrissement. Il convient de préciser à nouveau que les prélèvements ont été effectués à la suite de périodes sèches : moins de 10 mm de précipitation sont notés un mois avant la prise d'échantillon des campagnes de février et de juin. De plus, la présence d'herbacées, à Quinson, peut accentuer le phénomène d'assèchement du sol. Ces conditions atténueraient donc l'influence indirecte de la matière organique sur l'humidité au champ corrigée.

4.2. Les propriétés chimiques du sol

À la suite de l'épandage de compost, certains paramètres chimiques du sol évoluent également. Plusieurs facteurs sont à considérer : la composition du compost (éléments minéraux et matière organique), la texture du sol et l'activité biologique.

Les minéraux phylliteux et la matière organique sont les principaux composés adsorbant les cations échangeables. Ils influencent la CEC en fonction de la nature des minéraux argileux du sol et du degré d'humification de la matière organique (Bruand *et al.*, 1987). L'enrichissement en matières organiques et en éléments minéraux provoqué par l'épandage expliquerait l'amélioration des teneurs en K^+ et Mg^{2+} échangeables. Malgré tout, ces teneurs restent faibles voire nulles (cas de Na^+). Deux explications peuvent être formulées. D'une part, la kaolinite, la smectite et l'illite, argiles à faible CEC, sont particulièrement abondantes dans les sols étudiés. D'autre part, ces sols sont particulièrement calcaires, d'où une sursaturation du complexe argilo-humique par Ca^{2+} qui limiterait l'adsorption de tout autre élément.

Les valeurs du pH et leur stabilité malgré l'ajout de compost sont également la conséquence de la nature des sols (calcaires et argileux) et de leur forte CEC (Boiffin *et al.*, 1990).

Les variations du rapport C/N portent à considérer les différentes sources de matière organique dont disposent les vignobles. À Quinson, il s'agit de la végétation spontanée et des restitutions de la vigne. Dans le Luberon, seule la restitution de la vigne est à noter. Dans l'ensemble, les apports sont donc restreints. C'est pourquoi l'évolution du rapport C/N diffère selon les sites entre octobre et juin (diminution dans le Luberon et augmentation à Quinson) et l'ajout de compost induit des changements sensibles sur les deux vignobles.

Les modifications des teneurs en calcaire total et calcaire actif sont liées à l'apport de compost et à la succession des phénomènes de précipitation/dissolution. Par contre, indirectement, l'apport est susceptible de provoquer une dissolution due au dégagement de CO_2 , l'ensemble résultant de la biodégradation de la matière organique introduite (Jacquin *et al.*, 1980). Il apparaît donc délicat de définir exactement les causes des variations observées d'autant plus que, d'après Baize, les cycles de dissolution/reprécipitation seraient très rapides.

4.3. Évolution des données depuis 1990

L'étude de l'évolution de l'organisation du sol après épandage de compost a débuté en octobre 1990. Nous disposons des données suivantes :

- Luberon : épandage de compost en février 1991 et février 1993 et campagnes de prélèvement en février 1991 (témoin), mai 1991 (3 mois), octobre 1992 (20 mois), février 1993 (24 mois) et juin 1993 (28 mois et 4 mois).
- Quinson : épandage de compost en décembre 1991 et octobre 1992 et campagnes de prélèvement en novembre 1991 (témoin), mars 1992 (3 mois), juin 1992 (6 mois), octobre 1992 (10 mois), février 1993 (14 mois et 4 mois) et juin 1993 (18 mois et 8 mois).

À la suite du premier épandage, les modifications de l'état physique du sol à court terme (3 mois) sont globalement semblables sur les deux sites : amélioration de la structure (augmentation de la porosité et modification de la distribution des pores) et des relations sol/eau (augmentation de la capacité de rétention en eau). Elles diffèrent sur un point : l'évolution de la texture du sol. À Quinson, il semble que la présence de compost produise un accroissement significatif de la proportion d'éléments fins ; ce qui n'est pas le cas dans le Luberon. Ceci explique qu'à Quinson le point de flétrissement augmente aussi et pas dans le Luberon. Notons que les tendances relevées après 4 mois lors de l'étude des effets du deuxième épandage sont similaires.

Le suivi des vignobles à plus long terme montre que les effets du compost sur la structure du sol s'atténuent avec le temps : les mesures effectuées sur les zones S et S/C sont homogènes après 10 mois à Quinson et 20 mois dans le Luberon (nous ne disposons pas de valeurs « après 10 mois » pour ce site). Seule l'observation au microscope optique indique des variations entre l'espace poral de S et celui de S/C, non significativement vérifiées par les méthodes analytiques. Il ne résulte donc aucun cumul des effets des amendements organiques successifs. La seule exception est le point de flétrissement à Quinson. L'amélioration s'est maintenue après 10 mois et le nouvel apport de compost a permis de prolonger dans le temps l'effet observé sur S/C qui, après 14 mois, s'est totalement estompé.

Le suivi des paramètres chimiques est plus complet dans le Luberon qu'à Quinson. En effet, à Quinson, seuls le calcaire total, le calcaire actif et le pH ont été définis après le premier apport de compost. La comparaison de ces données avec celles de 1992-1993 indique que :

- l'effet du compost sur ces paramètres, déjà atténué après 6 mois, est indiscernable après 10 mois,
- la tendance à l'augmentation du taux de CaCO_3 total et la stabilité du CaCO_3 actif sont observées à la fois 3 mois après le premier amendement et 4 mois après le deuxième.

Les mêmes constations sont à observer pour la parcelle du Luberon.

Quant au pH, il n'évolue ni au cours du temps ni après un ou deux apports de compost et garde sensiblement la même valeur à cause du fort pouvoir tampon des sols. Si l'on se réfère aux autres paramètres mesurés (CEC et C/N définis pour les sols du Luberon), on remarque que les modifications enregistrées lors de la campagne de juin 1993 (après 4 mois) ne sont que peu ou pas constatées en juin 1991 (après 3 mois). Cela pourrait s'expliquer par les évolutions climatiques durant les périodes d'expérimentation. Quoi qu'il en soit, à plus long terme (20 mois), aucune différence significative n'est notée entre S et S/C.

5. CONCLUSION

À la suite de l'épandage de compost urbain, les propriétés physico-chimiques du sol sont modifiées. Par la comparaison des résultats obtenus à Quinson et dans le Luberon, l'influence de la texture du sol sur certains paramètres (capacité de rétention en eau, point de flétrissement et CEC) est mise en évidence. Cependant, quelle que soit la texture du sol, les tendances observées sont globalement similaires.

Les mesures de porosité totale montrent une amélioration de la structure du sol. Celles-ci sont confirmées et approfondies par l'étude de lames minces de sol : les proportions de mésopores et de micropores sont devenues plus importantes. Par conséquent, comme le vérifient nos résultats, les réserves en eau sont également modifiées : la capacité de rétention en eau et la réserve utile augmentent.

L'influence de la présence du compost sur les paramètres chimiques du sol est plus modulée. La CEC est légèrement améliorée (augmentation des teneurs en K^+ et Mg^{2+} échangeables) mais reste faible et le pH est stable. Par contre, le rapport C/N augmente nettement. En ce qui concerne le CaCO_3 total, il augmente également mais uniquement sur le site du Luberon. Le taux de CaCO_3 actif ne varie pas.

Globalement, d'un point de vue trophique, l'apport de compost est donc favorable à la viticulture des régions de Provence : la réserve en eau du sol (paramètre important à considérer en région sèche) et sa fertilité sont améliorées. En outre, les modifications de

l'organisation du sol, sont susceptibles d'induire une amélioration de ses propriétés mécaniques (Bresson *et al.*, 1989; Boiffin *et al.*, 1990). Enfin, à l'aide des données recueillies depuis 1990, il est clairement établi que les effets du compost sur les propriétés du sol sont limités dans le temps. Bien qu'ils évoluent en fonction des conditions édaphiques observées sur chaque site, leur durée moyenne peut s'établir entre 12 mois et 20 mois.

Actuellement, des études sont menées pour définir les performances de nouveaux produits d'amendement que sont les mélanges de compost et de déchets verts et les déchets verts seuls. En effet, face à la réticence croissante des viticulteurs vis-à-vis des composts (Monbrun, 1991), il est maintenant nécessaire de trouver des moyens d'améliorer la qualité des produits proposés sous peine de les voir finalement refusés.

BIBLIOGRAPHIE

AUBERT G., 1978, *Méthodes et analyses des sols*, Ed. CNDP, Marseille, 191 p.

BAIZE D., 1988, *Guide des analyses courantes en pédologie*, Ed. INRA, Paris, 172 p.

BALLIF J.-L., 1993, *Ruissellement et érosion des sols en vignobles de coteau. Effets de couvertures de composts urbains et d'écorces broyées*, Travaux de la station d'agronomie de Châlons-sur-Marne, T. 249, 18 p.

BOIFFIN J. & MARIN-LAFLÈCHE A., 1990, *La structure du sol et son évolution : conséquences agronomiques, maîtrise par l'agriculteur*, Ed. INRA, Versailles, 216 p.

BOSELLI M., 1986, Il ruolo della sostanza organica in viticoltura, *Vignevini*, n° 12, p. 31-33.

BRESSON L. M. & BOIFFIN J., 1989, Morphological characterization of soil crust development stages on an experimental field, *Geoderma*, T. 47, n° 3/4, p. 301-325.

BRUAND A. & TESSIER D., 1987, Étude de l'organisation d'un matériau argileux en microscopie : modifications intervenant lors de la déshydratation, *Actes du Congrès international de micromorphologie des sols*, p. 31-35.

CHAMAYOU H. & LEGROS J.-P., 1989, *Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol*, Presses universitaires de France, Paris, 592 p.

DELAS J., 1993, Nutrition azotée - Composition des baies et des moûts, *Progrès agricole et viticole*, T. 110, n° 6, p. 139-142.

GUERIF J., 1990, Conséquences de l'état structural sur les propriétés et les comportements physiques et mécaniques, in *La structure du sol et son évolution : conséquences agronomiques, maîtrise par l'agriculteur*, *Les colloques de l'INRA*, n° 53, Ed INRA, Paris, p. 15-36.

JACQUIN F., HAIDOUTI C. & MULLER J.-C., 1980, Dynamique de la matière organique en sols carbonatés cultivés, *Bulletin de l'association française pour l'étude du sol*, n° 1, p. 27-36.

KHALEEL R., REDDY K.R. & OVERCASH M.R., 1981, Changes in soil physical properties due to organic waste applications : a review, *Journal of environmental quality*, T. 10, n° 2, p. 133-141.

MASSIANI C., PRONE A. et al., 1995, Valorization of municipal solid waste using a clean technology which associates pressing, aerobic or anaerobic digestion an wet air oxidation. REWA-CT92-0015, Recycling waste management remediation of contaminated sites, European commission DGXII/D-1, Report 8, p. 239-247.

Mc. COY J.-L., SIKORAL J. & WEIL R.R., 1986, Plant availability of phosphorus in sewage sludge composts, *Journal of environmental quality*, T. 15, n° 5, p. 403-409.

MONBRUN M.D., 1991, Amendements organiques : un problème de qualité, *La Champagne viticole*, Hors série : Environnement et aménagement des vignobles, décembre 1991, p. 56-59.

MUNSELL, 1971, *Munsell soil colour charts*, Munsell colour company, INC Baltimore, Maryland 21218 - USA.

MURISIER F., CALAME F., 1980, Essais d'entretien du sol en viticulture, *Revue suisse de viticulture, arboriculture, horticulture*, n° 4, p. 233-241.

PAGLIAI M., 1987, Effects of different management practices on soil structure and surface crusting, (Eds) *International working meeting on soil micromorphology*, p. 415-421.

PINEAU J.-L., RANGUIS I., MASSIANI C., & PRONE A., 1995, La masse de l'échantillon d'ordures ménagères en vue d'une étude descriptive quantitative, *Techniques Sciences Méthodes*, n° 12, p. 901-905.

PRONE A., 1976, Méthode d'imprégnation des matériaux argileux en vue de leur étude en lames minces, *Géologie méditerranéenne*, T. 3, n° 3, p. 191-198.

PRONE A., 1994, *Étude de matériaux soumis à divers facteurs environnementaux : apport de la microscopie et de l'analyse physico-chimique*, Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille I, 301 p.

PRONE A., RODRIGUEZ M.L., & MASSIANI C., 1993, Étude des interactions physiques et chimiques d'un compost en épandage sur un sol, *Science du sol*, T. 31, n° 1, p. 1-14.

SIKORA L.-J., BURGE W.D. & JONES J.-E., 1982, Monitoring of a municipal sludge entrenchment site, *Journal of environmental quality*, n° 11, p. 321-326.

SIKORA L.-J., TESTER C.-F., TAYLOR J.-M., & PARR J.-F., 1980, Fescue yield response to sewage sludge compost amendements, *Agronomy journal*, n° 72, p. 79-84.

STENGEL P., 1990, Caractérisation de l'état structural du sol - Objectifs et méthodes, in *La structure du sol et son évolution : conséquences agronomiques, maîtrise par l'agriculteur*, *Les colloques de l'INRA*, n° 53, Ed INRA, Paris, p. 37-69.

TESTER C.-J., 1989, Tall fescue growth in greenhouse, growth chamber and field plots amended with sludge compost and fertilizer, *Soil biology biochemistry*, n° 20, p. 915-919.

TESTER C.-J., 1990, Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil, *Soil science society american journal*, n° 54, p. 827-831.

TESTER C.-J., SIKORA L.-J., TAYLOR J.-M. & PARR J.-L., 1979, Decomposition of sewage sludge compost in soil : III. carbon, nitrogen, and phosphorus transformation in different sized fractions, *Journal of environmental quality*, T. 8, n° 1, p. 79-82.

TESTER C.J., SIKORA L.J., TAYLOR J.-M. & PARR J.-L., 1982, Nitrogen utilization by tall fescue from sewage sludge compost amended soils, *Agronomy journal*, n° 74, p. 1013-1018.