

Effets d'apports de composts de résidus verts urbains sur les rendements et la nutrition azotée du maïs-grain et sur certaines propriétés du loam argileux de la série Providence

*A. N'Dayegamiye¹, M. Turcot² et M. R. Laverdière¹

Résumé, *A. N'Dayegamiye¹, M. Turcot² et M. R. Laverdière¹. **Effets d'apports de composts de résidus verts urbains sur les rendements et la nutrition azotée du maïs-grain et sur certaines propriétés du loam argileux de la série Providence.** *Agrosol. 16 (1) : 91-99.* Cette étude visait à évaluer la qualité de composts de résidus verts urbains produits suite au retournement mécanique ou à l'aération forcée. Les mélanges de résidus étaient composés de gazon + copeaux de bois dans des proportions de 1 : 2 et 1 : 4, de gazon + feuilles; (1 : 2 et 1 : 4), de gazon + copeaux et feuilles; (1 : 2 et 1 : 4), de feuilles et de copeaux seulement. Le compostage s'est déroulé pendant les mois d'octobre et de novembre, suivi d'une période de maturation de cinq mois en conditions extérieures. De façon générale, les composts obtenus suite au retournement mécanique présentaient une meilleure structure et granulométrie, ainsi que des taux de germination du cresson plus élevés, en comparaison avec l'aération forcée. Les effets des composts qui présentaient une maturité plus élevée ont été évalués sur le maïs-grain cultivé pendant deux années consécutives. Les composts retenus étaient ceux qui avaient été produits à partir de gazon et de feuilles (1 : 2), de gazon et de copeaux d'émondage + feuilles (1 : 2) suite à l'utilisation des deux techniques, et enfin du compost de feuilles seulement obtenu par retournement des andains. Les cinq composts étudiés et le témoin étaient disposés en parcelles principales, avec quatre doses d'azote (0, 60, 120 et 180 kg/ha) en sous-parcelles. L'essai a été mené à Saint Basile-le-Grand, sur un loam argileux de la série Providence. Les apports de composts ont accru de 15 % en moyenne les rendements en maïs-grain. Les réponses du maïs à l'engrais azoté ont été quadratiques, la dose optimale d'azote se situant entre 120 et 180 kg N/ha, ce qui démontre une réduction potentielle des doses d'azote suite aux incorporations de composts dans les sols. L'apport de composts a significativement accru les macro-agrégats de sols stables à l'eau, comparativement au témoin, mais n'a pas eu d'effets sur les niveaux de matière organique et la capacité d'échange cationique. Les augmentations des rendements en maïs et l'amélioration de la structure n'étaient cependant pas différentes entre les composts retenus. Les résultats obtenus suggèrent que les effets significatifs des apports de composts sur les rendements et la nutrition azotée du maïs-grain pourraient être attribuables à l'amélioration rapide de la structure du sol étudié.

Mots clés : résidus verts urbains, composts, maïs et doses d'azote, macro-agrégats stables à l'eau, structure du sol, MO et CEC.

Abstract, *A. N'Dayegamiye¹, M. Turcot² and M.R. Laverdière¹. **Effects of composted urban residues on corn yields and on some soil properties changes.** *Agrosol. 16 (1): 91-99.* This study evaluated the quality of green urban residue composts obtained by mechanical mixing and forced aeration techniques. Different green residues mixtures consisting of grass + tree clippings at 1:2 and 1:4 ratios, grass and leaves (1:2 and 1:4 ratios), grass + tree clippings and leaves (1:2 and 1:4 ratios), leaves and tree clippings alone were composted. Composting occurred during October and November, followed by a five month period of compost maturation. The composts obtained from the mechanical mixing technique generally showed a better structure and a higher watercress germination than those with forced aeration. Composts which presented the highest maturity (grass and leaves (1:2), grass + tree clippings and leaves (1:2) obtained from the two composting techniques, and compost of leaves alone obtained from mechanical mixing technique) were then applied on a soil planted with corn in the following two years. Treatments included the five composts and the control as main plots, and N rates (0,60, 120 and 180 kg/ha) as sub-plots. The study was located at St Basile-le-Grand, on a Providence clay loam. The compost application increased corn yields by 15 %. A quadratic response of corn to N fertilizer was observed, and highest corn yields were obtained with N rate varying between 120 to 180 kg N/ha. This indicates that compost application to the soil could allow a fertilizer N rate reduction. Compost addition to the soil significantly increased water stable macro-aggregates, but had no effect on soil OM and CEC. The effects on corn yields and soil structure were not significantly different between the composts. The significant effects of composts on corn yields and N nutrition could be attributed mainly to the soil structure improvement.

Key words: green urban residues, composts, corn and N rates, water stable macro-aggregates, soil structure, OM and CEC.

1. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA), 2700, rue Einstein, Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8, Canada

*Auteur pour la correspondance : téléphone : (418) 644-6845, télécopieur : (418) 644-6855, Courriel : adrien.ndaye@irda.qc.ca

2. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, Sainte-Foy (Québec), G1K 7P4, Canada

Introduction

Les quantités de résidus verts générés par le secteur résidentiel québécois sont évaluées à 218 000 tonnes par an (Sauvesty et Tabi 1995). Cependant, la proportion de ces résidus organiques actuellement valorisés par le biais du compostage demeure relativement faible. Toutefois, un certain nombre de municipalités québécoises ont opté progressivement pour le compostage de ces types de résidus organiques afin de réduire leurs coûts de gestion.

Le compostage constitue une excellente façon d'utiliser des résidus organiques qui autrement seraient enfouis dans une décharge ou incinérés (Parnes 1986), ou qui ne pourraient pas être appliqués directement sur le sol (Warman et Termeer 1996). Le compostage de la fraction organique des résidus verts urbains présente également des avantages au plan environnemental comparativement à leur enfouissement, car il contribue à la diminution des volumes de résidus organiques mis en décharge, à la réduction du lessivage en périphérie des sites d'enfouissement et à la réduction des odeurs et des substances volatiles (méthane entre autres) susceptibles de se libérer suite à leur décomposition (Vallini et Pera 1989).

Aux États-Unis, on retrouve plus de 1400 sites de compostage pour les résidus solides ou les résidus verts en provenance de municipalités. Cette multiplication des sites de valorisation est notamment liée à la fermeture de plusieurs décharges publiques (Pelletier 1993) et

par la décision de plusieurs états d'interdire l'enfouissement des résidus verts (Richard 1991).

La qualité des composts produits dépend des propriétés physico-chimiques des sources organiques, des ratios des divers constituants utilisés dans les mélanges et des techniques de compostage. Le maintien des conditions optimales pour les microorganismes impliqués dans le processus de compostage est essentiel à l'obtention d'un compost de qualité. Parnes (1986) a identifié trois facteurs physiques importants dans l'optimisation du compostage, soit la teneur en eau, l'aération et la nature de la source organique. Rynk et al. (1992) ont quant à eux indiqué que le rapport C/N, l'apport en oxygène, la teneur en humidité, le pH et la taille des particules déterminent les conditions d'un compostage optimal.

Trois des facteurs cités par les auteurs sont particulièrement importants, notamment la teneur en eau, le rapport C/N et l'aération des tas. La teneur en oxygène est liée à la porosité des tas de matériel organique, et elle tend à diminuer au cours du compostage suite à l'activité microbienne (Rynk et al. 1992). L'aération est alors essentielle pour reconstituer les réserves d'oxygène. Cet apport d'oxygène est réalisé par des retournements mécaniques ou par injection d'air dans les andains par un procédé comme l'aération forcée (Rynk et al. 1992). La saturation en eau d'un tas de résidus en voie de compostage est à éviter puisqu'elle contribue à rendre le milieu anaérobie et sensible à la dénitrification (Parnes 1986). De plus, cet excès d'eau contribue aux baisses de température dans les amas, retardant la décomposition du matériel et favorisant la libération de mauvaises odeurs dans l'air (Rynk et al. 1992). Par contre, une humidité insuffisante aura aussi pour effet de réduire l'activité microbienne et prolonger ainsi le temps nécessaire pour le compostage (Sauvesty et Tabi 1995).

En raison des coûts de fabrication ou d'acquisition des composts qui peuvent s'avérer élevés, ceux-ci sont encore très peu valorisés en cultures commerciales,

contrairement à l'horticulture. Cependant, leur valorisation pourrait améliorer la productivité des sols intensément cultivés. Les composts apportent dans le sol une certaine quantité d'éléments nutritifs majeurs et mineurs qui peuvent progressivement être disponibles aux cultures. Cependant, comme pour les fumiers (N'Dayegamiye et al. 1997), les effets des composts sur la productivité des sols peuvent ne pas dépendre principalement de leur valeur fertilisante, mais surtout de leurs effets sur les bilans humiques et la structure des sols. En augmentant la CEC des sols, les substances humiques améliorent l'efficacité et la disponibilité des éléments minéraux ou des engrais apportés. Elles créent également une agrégation stable dans les sols (Chaney et Swift 1986), pouvant ainsi accroître la porosité, la rétention en eau et la température du sol, ce qui favorise une meilleure croissance des microorganismes et des plantes.

L'objectif de cette étude consistait à évaluer la qualité des composts faits à partir de divers résidus verts urbains et selon les techniques du retournement mécanique et de l'aération forcée. Les effets des composts sur les rendements et la nutrition du maïs-grain ainsi que sur l'évolution de quelques propriétés du sol ont également été déterminés.

Matériel et méthodes

Matériel

Le premier volet de cette étude portait sur la production de composts à partir de 8 types de mélanges de résidus verts urbains et de deux techniques d'aération des composts (retournement mécanique et aération forcée). Les résidus verts et les proportions choisis pour constituer les tas sont indiqués au tableau 1.

Le compostage des 8 mélanges de résidus verts a été effectué selon deux techniques de compostage, pour un total de 16 andains. Le mélange de résidus organiques a été fait sur une base de volume

Tableau 1. Description des mélanges de résidus.

Mélanges de résidus à composter	Proportion des résidus (V/V)
1) Gazon + copeaux d'émondage	1 : 2
2) Gazon + copeaux d'émondage	1 : 4
3) Gazon + feuilles	1 : 2
4) Gazon + feuilles	1 : 4
5) Gazon + copeaux + feuilles	1 : 2 ¹
6) Gazon + copeaux + feuilles	1 : 4 ¹
7) Feuilles seulement	--
8) Copeaux seulement	--

1. Proportion des constituants retrouvés dans les résidus de jardins : 15 % copeaux et 85 % feuilles

et le matériel de chaque andain a été mélangé à deux reprises en début d'opération pour assurer l'homogénéité du mélange de résidus dans les andains. Les andains utilisés avec la technique de l'aération forcée ont été formés sur un lit de copeaux dans lequel était installé un système d'aération. Les dimensions de ces derniers étaient de 15 m de longueur sur 3,5 m de largeur et 1,5 m de hauteur.

Les retournements mécaniques des andains ont été effectués avec un retourneur de type SITTLE et leur fréquence était fonction de la température à l'intérieur des andains, celle-ci étant accrue lors de la phase thermophile afin de prévenir l'atteinte de températures trop élevées défavorables au développement de microorganismes aérobies. Les retournements visaient aussi à maintenir un niveau optimal d'oxygène à l'intérieur des andains.

Le procédé RUTGERS, faisant intervenir l'aération forcée, a aussi été utilisé dans cette étude. Dans cette technique, des ventilateurs insufflaient de l'air dans un tuyau perforé disposé sous les andains. Le tuyau était recouvert d'une couche de copeaux de bois grossiers afin de faciliter le transfert de l'air vers la masse et éviter le remplissage des trous du tuyau. La mise en marche des ventilateurs était contrôlée par des thermocouples disposés dans chaque andain et reliés à un système de contrôle électronique. Deux limites de température, une inférieure et une supérieure, étaient fixées par l'opérateur. Lorsqu'une ou l'autre de ces limites était atteinte, les ventilateurs étaient mis en marche automatiquement jusqu'à ce que la température revienne à l'intérieur des limites déterminées.

Les phases thermophile et mésophile d'une durée de deux mois ont été réalisées à l'automne et suivies d'une période de cinq mois de maturation sous des conditions extérieures hivernales. Les composts qui présentaient une meilleure qualité suite à cette période de maturation, ont ensuite servi à l'étude au champ, afin de déterminer leur valeur agronomique.

Essai au champ

L'essai au champ était situé sur un sol cultivé en maïs-grain depuis plusieurs années. Le sol, non drainé, était une argile limoneuse de la série Providence, son pH était de 6,1 et sa teneur en matière organique s'élevait à 3,9 %. Ce sol intensément cultivé se trouvait en voie de dégradation, manifestant un certain degré de compaction.

Le dispositif expérimental était un bifactoriel ayant en parcelles principales cinq composts retenus et un témoin, combinés avec quatre doses croissantes d'azote (0, 60, 120 et 180 kg/ha) en sous-parcelles. Les traitements étaient répétés trois fois.

Une caractérisation des composts, dont les principaux paramètres analysés et décrits à la sous-section suivante, a permis de classer les composts obtenus. Pour l'essai au champ, nous avons utilisé les composts qui présentaient un meilleur degré de compostage, ceux-ci sont présentés au tableau 2.

Une dose de 20 t/ha de compost sur une base humide, soit de 11,6 à 12,9 t m.s./ha selon le type de compost, a été épanchée manuellement avant le semis au printemps. Les besoins en N, P et K pour le

maïs-grain ont été établis à partir des résultats d'analyses de sols et des grilles du CPVQ (1994). Les sols témoins n'ont pas reçu de fertilisation azotée. Les autres traitements ont reçu 60, 120 ou 180 kg/ha de l'engrais N, selon le traitement. La dose de démarrage était de 30 kg N/ha et un apport subséquent de 30, 90 ou 150 kg/ha de N a été réalisé en bandes au stade 3-4 feuilles du maïs. L'azote était apporté sous forme de nitrate d'ammonium (34-0-0). Des doses de 90 kg P₂O₅/ha sous forme de superphosphate triple (0-46-0) et de 50 kg K₂O/ha sous forme de muriate de potassium (0-0-60) ont été appliquées. Les composts et les engrais minéraux ont été incorporés à une profondeur de 10 cm par une herse à disques.

Le semis de maïs a été réalisé avec un semoir à 6 rangs, la distance entre les rangs étant de 76 cm et le taux de semis de 70 000 graines/ha. Un hybride de maïs 2600 U.T.M. a été utilisé dans le cadre de l'expérimentation. La récolte a été réalisée manuellement sur les rangs centraux de chacune des parcelles. Les épis récoltés ont été égrenés et les grains ont été pesés avant et après séchage à 105 °C afin de déterminer leur teneur en humidité à la récolte. La récolte de grains à l'hectare a ensuite été ramenée sur la base humide de 15 %.

Analyse des composts et des grains

Des analyses physiques, chimiques et biologiques ont été effectuées sur les résidus frais ou compostés. La granulométrie des composts a été déterminée à l'aide d'une série de tamis variant de 16, 8, 5 et 2 mm. Pour les analyses chimiques, les matières premières (gazon, feuilles et copeaux) et les composts ont été séchés à 60 °C pendant 48 heures, tamisés au 2 mm et broyés à 0,5 mm.

Le pH des résidus frais et des composts a été mesuré dans un mélange 1 : 1 eau : matériel organique. Le contenu en carbone organique a été déterminé par la méthode de perte au feu. Le contenu en cendres a été mesuré après calcination à 550 °C durant 16 heures, et le contenu en matière sèche après séchage à l'étuve à 105 °C.

Tableau 2. Description des composts retenus pour l'évaluation au champ.

Mélange	Type de mélange et ratio	Type d'aération
3A	Gazon + feuilles 1 : 2	Pile statique avec aération forcée
3R	Gazon + feuilles 1 : 2	Retournement mécanique
5A	Gazon + (copeaux + feuilles) 1 : 2 ¹	Pile statique avec aération forcée
5R	Gazon + (copeaux + feuilles) 1 : 2 ¹	Retournement mécanique
FR	Feuilles seulement	Retournement mécanique

1. Mélange de feuilles et de copeaux selon la proportion habituellement retrouvée dans les résidus de jardins municipaux, soit 15 % de copeaux et 85 % de feuilles.

Les quantités d'azote minéral (N-NH₄⁺ et N-NO₃⁻) ont été extraites avec une solution de 2N KCl (Bremmer et Mulvaney 1982) et dosées par colorimétrie sur Technicon. Les teneurs en N, P, K et Mg des composts et des grains de maïs ont été déterminées après digestion acide dans une solution de H₂SO₄ et H₂SeO₃ avec ajout de H₂O₂ pendant une heure à 400 °C (Isaac et Johnson 1980). Les teneurs en N dans l'extrait ont été mesurées par colorimétrie sur Technicon, tandis que celles en P, K, et Mg ont été dosées par spectrométrie d'émission au plasma à induction couplée.

La germination du cresson a été évaluée selon la méthode décrite par Zucconi et al. (1981). Des extraits hydrosolubles des 16 composts (8 mélanges x 2 techniques d'aération) ont été obtenus par agitation de 20 g de matériel séché à l'air dans 200 ml d'eau distillée pendant 11 heures à la température de la pièce. Chaque traitement a fait l'objet de 4 répétitions. Les graines de cresson ont été incubées durant 20 heures à 22 °C dans un milieu humide, déposées ensuite dans une boîte de Pétri (10 graines par boîte) sur 4 papiers Whatman n° 1, puis arrosées avec 2,5 ml d'extraits hydrosolubles obtenus des composts. Les boîtes de Pétri ont par la suite été déposées dans un incubateur pour une période de 24 heures. Après cette période de temps, les boîtes ont été retirées de l'incubateur et la germination des graines de cresson évaluée.

Analyse du sol

Deux ans après les applications de composts, des échantillons de sol ont été prélevés dans les sous-traitements de 0 et 120 kg/ha N. La teneur du sol en matière organique a été déterminée par la méthode de Walkley et Black (Allison Allison et al. 1965) et la capacité d'échange cationique par la méthode à l'acétate d'ammonium (McKeague 1978).

La stabilité des agrégats à l'eau et le diamètre moyen des agrégats ont été mesurés sur des échantillons humides prélevés dans les traitements 0 et 120 kg N/ha. La mesure de la stabilité des agrégats à l'eau a été effectuée par

Tableau 3. Caractéristiques physiques et chimiques des mélanges de résidus verts frais.

Mélanges	pH	NO ₃ (mg/kg)	N total (%)	MO (%)	C/ N
1) Gazon + copeaux	5,7	10,3	0,86	97	65
2) Gazon + copeaux	5,2	27,8	0,83	97	67
3) Gazon + feuilles	7,7	23,4	2,09	76	21
4) Gazon + feuilles	8,0	30,0	1,74	65	22
5) Gazon + copeaux + feuilles	7,2	18,2	1,50	81	31
6) Gazon + copeaux + feuilles	8,0	43,5	1,83	68	21
7) Feuilles seulement	7,1	6,6	1,79	86	28
8) Copeaux seulement	5,2	1,4	0,38	99	153

tamissage humide du sol sur une série de tamis de 5, 2, 1 et de 0,25 mm de diamètre. Les agrégats récupérés dans chaque tamis ont été séchés à 60 °C et leur diamètre moyen pondéré (DMP) calculé après correction pour la présence de sable (Kemper et Roseneau 1986).

Résultats

Caractéristiques des mélanges de résidus verts

Les différents mélanges de résidus verts ont fait l'objet d'une série d'analyses avant le début du compostage et les résultats obtenus sont présentés au tableau 3. De façon générale, les valeurs de pH étaient acides dans les mélanges contenant des copeaux d'émondage. Des valeurs de pH supérieures à 7 ont été mesurées dans les mélanges qui avaient une plus grande proportion de gazon et de feuilles. Tous les mélanges contenaient des quantités élevées de matière organique. Cependant, les mélanges ayant une forte proportion de copeaux avaient de faibles teneurs en N et par conséquent des rapports C/N élevés.

Caractéristiques des composts

De manière générale, un compost en voie de maturité possède une grande proportion de particules de petit diamètre. Ceci est à la fois le résultat de l'action des microorganismes qui transforment les matières organiques et des interventions mécaniques telles que les retourne-

ments qui contribuent à la réduction de la taille des particules. De ce fait, l'évolution de la taille moyenne des particules dans le temps est un indicateur du degré d'évolution du matériel de départ.

La proportion de particules de diamètre inférieur à 2 mm s'est accrue pendant les deux mois de compostage intensif (octobre et novembre) pour les deux procédés (tableau 4). Pour les composts aérés (1-A à 8-A), cette fraction variait entre 18 et 88 % selon les composts, tandis que pour les matériaux retournés (1-R à 8-R), elle était entre 28 et 76 %. De façon générale, la technique du retournement a accéléré la réduction du diamètre des particules grâce à l'action mécanique lors du retournement des andains et à l'activité des microorganismes.

Les rapports C/N moyens varient de 12 à 66 pour les composts aérés et de 14 à 56 pour les composts retournés (tableau 5). Pendant les périodes de compostage, les rapports C/N ont généralement diminué avec la maturité des composts. Il existe un risque d'immobilisation de l'azote associé à l'application au champ de matière organique ayant des rapports C/N supérieurs à 30 (Beauchemin et al. 1990). Dans un tel cas, les microorganismes utilisent l'azote du sol dans leur action de décomposition des matériaux organiques. En assumant que les rapports C/N doivent être inférieurs à 30 (Zucconi et de Bertoldi 1987) pour limiter les risques d'immobilisation de l'azote, seuls les composts aérés 3 à 6 ainsi que les composts retournés 1 à 6 (tableau 5) rencontraient cette exigence après deux mois de compostage.

Tableau 4. Fractions granulométriques des composts de résidus verts (%).

Composts	8-16 mm	5-8 mm	2-5 mm	<2 mm	Composts	8-16 mm	5-8 mm	2-5 mm	<2 mm
1-A*	23	13	11	25	1-R*	3	9	22	64
2-A	22	13	10	44	2-R	24	12	11	38
3-A	0	1	9	88	3-R	5	8	10	71
4-A	8	9	11	61	4-R	14	9	12	76
5-A	2	10	12	65	5-R	11	4	13	70
6-A	12	9	12	58	6-R	9	11	9	59
7-A	14	8	7	66	7-R	6	6	8	78
8-A	50	11	8	18	8-R	48	16	8	28
moyenne	16	9	10	53	moyenne	15	9	12	61

*A = aération forcée; R = retournement mécanique; la description des mélanges 1 à 8 est indiquée au tableau 3.

Tableau 5. Caractéristiques physiques et chimiques des composts obtenus après cinq mois de maturation.

Composts	C/N	Cendres (%)	pH	N-NO ₃ (mg/kg)	Composts	C/N	Cendres (%)	pH	N-NO ₃ (mg/kg)
1-A*	36	26	7,1	36,3	1-R*	22	60	7,4	145,0
2-A	35	55	7,3	4,7	2-R	27	75	7,6	175,0
3-A	19	77	7,5	160,0	3-R	14	76	7,5	360,0
4-A	12	61	7,7	161,0	4-R	15	73	7,7	393,0
5-A	15	74	7,7	204,0	5-R	17	71	7,7	325,0
6-A	17	81	7,7	151,0	6-R	22	75	8,0	74,7
7-A	61	59	7,4	1,7	7-R	41	62	7,8	2,0
8-A	66	73	7,1	5,8	8-R	56	84	8,1	11,9
moyenne	37	63	7,4	90,6	moyenne	31	72	7,7	185,8

*A = aération forcée ; R = retournement mécanique; la description des mélanges 1 à 8 est indiquée au tableau 3.

Les teneurs en cendres, en nitrates et les valeurs de pH des composts sont présentées au tableau 5. Suite à la réduction du poids initial des résidus organiques au cours du processus de compostage, on observe généralement une augmentation de la teneur en cendres dans le temps (Garcia et al. 1992). La teneur moyenne en cendres variait de 26 à 81 % pour les composts aérés, et de 60 à 84 % pour les andains retournés (tableau 5). La teneur en cendres est un paramètre qui est fortement influencé par la nature du matériel utilisé (Garcia et al. 1992). Toutefois, les composts retournés tendent à avoir une teneur moyenne en cendres plus élevée (72 %) comparativement aux composts aérés (63 %), ce qui suggère qu'ils ont atteint un degré plus avancé de maturité.

Le pH est un paramètre qui augmente généralement avec la maturité du compost. Les valeurs moyennes étaient de 7,4 pour les composts en andains aérés et de 7,7 pour les composts faits avec la

technique de retournement (tableau 5). Ces résultats suggèrent que la technique du retournement ait également permis d'accélérer l'humification des matériaux utilisés pour le compostage.

De façon générale, la concentration en ammonium diminue au cours du processus de compostage, alors que la teneur en nitrate augmente (N'Dayegamiye et al. 1997b). La concentration moyenne en nitrate était de 90,6 mg/kg pour les piles statiques et de 185,8 mg/kg pour les andains retournés (tableau 5). Les composts ayant atteint la maturité doivent généralement présenter des teneurs en nitrate supérieures à 300 mg/kg (Forster et al. 1993). Les résultats obtenus indiquent donc une faible maturité pour plusieurs composts. Par contre, trois des composts en andains retournés présentaient une maturité élevée sur la base de ce critère (> 300 mg NO₃-N/kg) (tableau 5). Ceci confirme un degré plus avancé de maturité tel que l'ont démontré N'Dayegamiye et al. (1997b) pour les

composts de fumier de bovins. Dans cette étude, les teneurs des composts en nitrate variaient de 443 à 770 mg N-NO₃/kg.

Les données du test de germination sont présentées au tableau 6. La germination du cresson est sensiblement meilleure pour les mélanges retournés, toutefois, le faible pourcentage de germination pour les andains retournés (34 % en moyenne) suggère que ces composts n'aient pas non plus atteint un stade de maturité avancé après deux mois de compostage en automne. La répétition de cette mesure après cinq mois de maturation en conditions extérieures hivernales (données non présentées) a permis d'obtenir des taux de germination supérieurs à 90 % pour tous les composts indépendamment de la technique de compostage utilisée, ce qui suggère que les composts ont poursuivi leur phase de maturation.

Tableau 6. Effet des composts de résidus verts sur la germination du cresson.

Composts	Germination (%)	Composts	Germination (%)
1-A*	15	1-R*	30
2-A	32	2-R	35
3-A	42	3-R	39
4-A	41	4-R	47
5-A	33	5-R	41
6-A	19	6-R	29
7-A	29	7-R	26
8-A	9	8-R	20
moyenne	28	moyenne	34

*A = aération forcée; R = retournement mécanique

Rendements du maïs-grain

L'analyse statistique des rendements en maïs-grain montre une différence significative ($\alpha = 0,0338$) entre les sols recevant les cinq composts comparativement aux parcelles témoins sans amendement (tableau 7). Le rendement moyen obtenu avec les composts a été de 7,6 t/ha, comparativement à 6,7 t/ha pour les parcelles non amendées (tableau 8). Ainsi l'ajout de composts de résidus verts urbains a eu un effet positif sur la production de maïs-grain lors de l'année

d'application. Cela est conforme aux résultats obtenus par Rao et Shantaram (1996) qui avaient obtenu des hausses de rendement dans le maïs-grain en utilisant des composts de résidus urbains dès l'année d'application, comparativement au traitement sans compost.

Les effets sur les rendements en maïs-grain n'étaient pas significativement différents entre les composts. De même, les niveaux de rendement en grains de maïs n'étaient pas significativement différents entre les techniques de compostage utilisées; ceux-ci étaient en moyenne de 7,7 t/ha et 7,5 t/ha respectivement pour les composts aérés et retournés.

Dans le sol étudié, la réponse du maïs à la fertilisation azotée a été importante. En effet, chaque dose d'azote a permis des augmentations successives de rendement en maïs, selon les doses d'engrais azoté. Les rendements moyens obtenus sont ainsi passés de 5,1 à 6,9, et de 8,4 et à 9,1 t/ha pour les doses d'azote successives de 0, 60, 120 et 180 kg/ha (tableau 8). Les gains les plus importants des rendements en maïs ont été observés lorsque la quantité d'azote appliquée passait de 0 à 60 et de 60 à 120, avec des augmentations moyennes

de l'ordre de 3,3 t/ha. Le gain de rendement obtenu entre 120 et 180 kg N/ha n'était que de 0,7 t/ha de grain.

L'analyse statistique (tableau 7) démontre un effet significatif de la dose d'azote sur la quantité de grains récoltés. L'analyse de variance indique des effets linéaires et quadratiques très significatifs avec des valeurs respectives de $\alpha = 0,0001$ et $\alpha = 0,0210$.

Pour les sols amendés avec les composts, le rendement moyen a été de 8,84 t/ha pour une application de 120 kg/ha de N (figure 1), alors qu'une application de 180 kg/ha a permis d'obtenir un rendement moyen de seulement 9,18 t/ha. Pour les sols sans compost, les rendements obtenus étaient de 6,5 t/ha et 9 t/ha respectivement pour les doses 120 et 180 kg/ha de N. De façon générale, les sols amendés de composts ont présenté des rendements supérieurs aux parcelles non amendées pour toutes les doses d'azote minéral. Un effet synergique a donc été observé lorsque des apports de composts étaient complétés avec l'engrais azoté, ce qui a permis d'obtenir des rendements élevés en maïs-grain avec une dose de 120 kg N/ha.

Les prélèvements en azote du maïs ont été proportionnels aux rendements en grains (tableau 8). Des effets linéaires et quadratiques des doses d'azote ont également été observés sur les prélèvements en N (tableau 7). De même, les apports de composts ont légèrement augmenté les prélèvements en N du maïs-grain ($P > 0,07$).

Tableau 7. Probabilité de l'erreur alpha associée à chacune des comparaisons a priori pour les paramètres rendements en grains et prélèvements en azote.

Comparaisons a priori	Rendements en grains	Prélèvements en azote
Composts versus témoin	0,0338	0,0725
Compost 3 versus compost 5	0,2803	0,7271
Compost 3 versus compost de feuilles	0,6136	0,9419
Compost 5 versus compost de feuilles	0,7030	0,8320
Retournement versus aération	0,3964	0,3745
N_t	0,0001	0,0001
N_q	0,021	0,9729

Tableau 8. Effets combinés du type de compost et de la dose d'azote minéral sur les rendements et les prélèvements en azote du maïs-grain (1^{ère} année de culture).

Dose d'azote	Rendements (t/ha)						Prélèvements en N (kg/ha)					
	Témoin	3-A*	3-R	5-A	5-R	F	Témoin	3-A	3-R	5-A	5-R	F
0	4,9	5	5,7	4,8	5,6	4,8	72,8	77,4	81,6	71,8	77,9	73,9
60	6,5	7,6	6,7	7	6	7,5	98,4	107,8	90,7	107,2	83,0	107,8
120	6,5	8,8	8,8	9,3	8,9	8,4	120,4	151,4	156,3	155,5	162,8	141,1
180	9	9,7	9,4	9,3	8,2	9,3	173,3	175,6	166,9	185,5	169,2	179,3

* : La description des composts retenus est donnée au tableau 2.

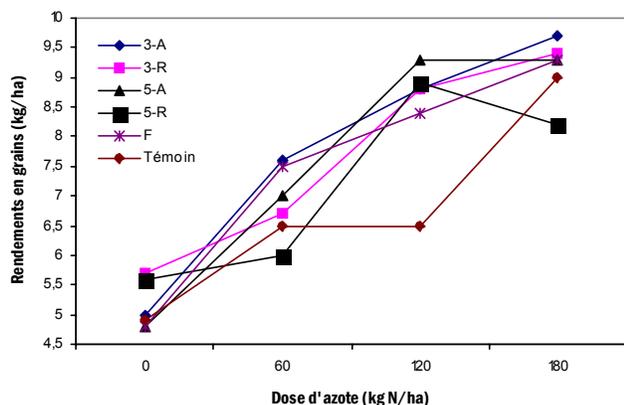


Figure 1. Rendements en maïs-grain en fonction de la dose d'azote et du type de compost.

Effets des apports de composts sur les propriétés du sol

Des échantillons de sols ont été prélevés, suite aux deux années de culture de maïs-grain, soit deux ans après l'application des composts, afin de mesurer leurs effets sur certaines propriétés du sol de la série Providence. L'échantillonnage a été effectué dans les traitements avec composts et le témoin sans compost, mais seulement pour les doses de 0 et 120 kg N/ha.

Les résultats obtenus montrent qu'un seul apport de composts de résidus verts urbains, à la dose de 20 t/ha sur base humide, n'a pas significativement augmenté les valeurs de pH, les teneurs en matière organique et en azote, ainsi que la capacité d'échange cationique du sol étudié, comparativement au témoin sans apport de compost (données non présentées).

Jusqu'à présent, plusieurs recherches ont démontré que seuls les apports répétés de résidus organiques d'émondage ou de compost à des doses plus élevées (50 à 100 t/ha) influencent ces paramètres du sol (pH, CEC, MO, N total et N minéral) (N'Dayegamiye et Angers 1993).

Cependant, l'apport de compost a augmenté de façon significative les macro-agrégats stables à l'eau et la stabilité structurale du sol (DMP) (données non présentées). Ces résultats suggèrent que les composts apportés dans cet essai

n'avaient pas atteint leur maturité, et contenaient encore des quantités importantes de C minéralisable. La matière organique minéralisable stimule la croissance et l'activité de la microflore qui jouent un rôle important dans la formation des agrégats du sol. La matière organique fermentescible, les produits organiques dérivés de la décomposition (polysaccharides) ainsi que les hyphes fongiques et les mucilages bactériens sont étroitement associés au développement des agrégats améliorant ainsi la structure des sols (Tisdall et al. 1978).

Les effets des composts sur la macro-agrégation peuvent aussi être attribuables à leur teneur en substances humiques; celles-ci jouent un important rôle dans l'agrégation et la stabilité des agrégats de sol (Chaney et Swift 1986). L'influence rapide des composts sur l'agrégation de ce sol peut aussi être attribuable à la teneur en argile de la série Providence. En effet, l'agrégation est plus dynamique dans les sols contenant des teneurs élevées en argile. En raison des charges négatives des colloïdes argileux et les conditions de pH qui prévalent, les substances humiques et les polysaccharides peuvent réagir avec les surfaces argileuses, formant des ponts entre les agrégats et structurant ainsi les sols.

L'augmentation de la macro-agrégation contribue à accroître la porosité du sol, et par conséquent l'aération, l'infiltration et la rétention de l'eau dans le sol. Des apports de résidus d'émondage et de fumiers

de bovins ont également accru la taille des macro-agrégats stables à l'eau et amélioré la rétention en eau du sol (Gasser et al. 1995, N'Dayegamiye et al. 1997a).

Les résultats obtenus ont démontré que les effets significatifs des composts sur les rendements en maïs-grain et la nutrition en N n'étaient pas reliés de façon importante à la contribution des composts en azote. L'augmentation de la stabilité structurale du sol avec les impacts qui en découlent sur les conditions du sol aurait ainsi joué un rôle important dans les augmentations de rendement en maïs-grain obtenues dans les sols ayant reçu les composts. Même si les composts obtenus suite à l'utilisation de la technique de l'aération forcée présentaient une plus faible maturité en comparaison des composts obtenus suite au retournement, leurs effets sur la structure du sol, les rendements en grains et la nutrition en azote ont été comparables. Les résultats obtenus suggèrent que la plupart des composts produits par les deux techniques étaient encore en voie de maturation, contenant ainsi à la fois de la MO minéralisable et des substances humiques. Ces fractions de la MO du sol ont favorisé l'agrégation du sol étudié.

Conclusion

Une seule application de composts a augmenté les rendements et permis la réduction des apports azotés pour la nutrition du maïs-grain. Les niveaux de rendement obtenus n'ont pas été influencés par le type de compost apporté ou par la technique de compostage utilisée. L'action synergique des composts et de l'engrais N a permis d'obtenir des rendements élevés en maïs-grain avec seulement une dose de 120 kg N/ha, permettant ainsi une réduction de la fertilisation azotée. Les augmentations de rendement mesurées n'étaient pas reliées à la contribution en N des composts, mais plutôt aux effets bénéfiques des composts sur la structure du sol et probablement des effets qui en découlent (possiblement la rétention en eau). Cette étude démontre

que le degré de maturité du compost ne serait pas un critère aussi déterminant en grandes cultures qu'il ne l'est pour certaines productions horticoles.

Remerciements

Les auteurs remercient le Groupe GSI (anciennement Groupe Serrerner Consultation) pour le partenariat dans la réalisation de ce projet. Des remerciements vont également à M. Benoît Beaudoin, agr. M. Sc. env. et à M. Marc Brouillette ing., M. Sc. pour leur collaboration dans l'essai de compostage.

Références bibliographiques

- Allison, L.E., W.B. Bollen et C.D. Moodie. 1965. Total carbon *in*: C.A. Black et al., eds. Methods of soil analysis. Agronomy no.9. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI. p. 1346-1365.
- Beauchemin, S., A. N'Dayegamiye et M. R. Laverdière. 1990. Effets d'apport d'amendements ligneux frais et humifiés sur la production de pommes de terre et sur la disponibilité de l'azote en sol sableux. *Can. J. Soil Sci.* 70 : 555-564.
- Bremner, J.M. et C.S. Mulvaney. 1982. Total nitrogen. P. 595-622 *in*: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney, eds. Methods of soil analysis. 2nd ed. Agronomy no 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Chaney, K. et R.S. Swift. 1986. Studies on aggregate stability. The effects of humic substances on the stability of reformed soil aggregates. *J. Soil Sci.* 37: 337-343.
- Isaac, R.A. et W.C. Johnson. 1980. Determination of total nitrogen on plant tissues using BD-40 digestion. *J. Assoc. of Anal. Chem.* 50: 98-100.
- Forster, J.C., W. Zech et E. Würdinger. 1993. Comparison of chemical and microbiological methods for the characterization of the maturity of composts from contrasting sources. *Biol. Ferti. Soils* 16: 93-99.
- Garcia, C., T. Hernandez, F. Costa et M. Ayuso. 1992. Evaluation of the maturity of municipal waste compost using simple chemical parameters. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 23: 1501-1512.
- Gasser, M. O., A. N'Dayegamiye et M.R. Laverdière. 1995. Short-term effects of crop rotations and wood-residue amendments on potato yields and soil properties of a sandy loam soil. *Can. J. Soil Sci.* 75: 385-390.
- McKeague, J.A. (ed). 1978. Manual of soil sampling and methods of analysis. 2nd ed. Canadian Society of Soil Science, Ottawa, On. 250 p.
- Kemper, W.O. et R.C. Roseneau. 1986. Aggregate stability. Pages 511-519 *in*: C.A. Black et al., ed. Methods of soil analysis. Agronomy no 9, Part 1. ASA Inc. Madison, WI.
- N'Dayegamiye, A., M. Goulet et M.R. Laverdière. 1997a. Effet à long terme d'engrais minéraux et de fumier sur les teneurs en C et en N des fractions densimétriques et des agrégats du loam limoneux Le Bras. *Can. J. Soil Sci.* 77 : 351-358.
- N'Dayegamiye, A., R. Royer et P. Audesse. 1997b. Nitrogen mineralization and availability in manure composts from Quebec biological farms. *Can. J. Soil Sci.* 77: 345-350.
- N'Dayegamiye, A. et D.A. Angers. 1993. Organic matter characteristics and water-stable aggregation of a sandy loam after 9 years of wood residue applications. *Can. J. Soil Sci.* 73: 115-122.
- Parnes, R. 1986. Organic and inorganic fertilizers. Woods End Agricultural Institute. Mt Vernon, ME. 167 p.
- Pelletier, D. 1993. Pour une gestion environnementale des résidus solides municipaux. Guide de la collecte et du compostage des résidus verts. Ed. Les publications du Québec. p. 5-9.
- Rao, K. J. et M.V. Shantaram. 1996. Effect of urban solid-wastes on dry-matter yield uptake of micronutrients and heavy-metals by maize plant. *Journal of Environmental Biology* 17 (1): 25-32.
- Richard, T. 1991. Clean compost production. *dans* The Biocycle guide to the art and science of composting. Edited by the staff of Biocycle. Journal of waste recycling. The J.G. Press inc. Emmaus. Pa. 61 p.
- Rynk, R., M. Van de Kamp, G.B. Wilson, M.E. Singley, T.L. Richard, J.J. Kolega, F.R. Gouin, L. Laliberty, D. Kay, D.W. Murphy, H.A.J. Hoitink, et W.F. Brinton. 1992. On-farm composting handbook. NRAES. Ithaca, N.Y. 186 p.
- Sauvesty, A. et M. Tabi. 1995. Le compostage au Québec. Consortium sur le développement du compostage au Québec. 76 p.
- Tisdall, J. M., B. Cockroft et N.C. Uren. 1978. The stability of soil aggregate as affected by organic materials, microbial activity and physical disruption. *Aust. J. Soil Res.* 16 : 9-17.
- Vallini, G. et A. Pera. 1989. Green compost production from vegetable wastes separately collected in metropolitan garden-produce markets. *Biological Wastes* 29: 33-41.
- Warman, P.R. et W.C. Termeer. 1996. Composting and evaluation of racetrack manure, grass clippings and sewage sludge. *Bioresource Technology* 55: 95-101.

Zucconi, F., A. Pera, M. Forte et M. Bertoldi.
1981. Evaluating toxicity of immature
compost. *BioCycle* 22 (2): 54-57.

Zucconi, F. et M. de Bertoldi. 1987. Compost
specifications for the production and
characterization of compost from munici-
pal solid waste. *In*: Compost: production
and use. Ed. De Bertoldi, M., Ferranti,
M.P., L'Hermite, P. et F. Zucconi, Elsevier
Applied Science, New York. p. 351-358.

