

Fractionnement de la fertilisation azotée d'appoint à la suite de l'incorporation au sol de bois raméaux fragmentés: modifications de certaines propriétés biologiques et chimiques d'un sol cultivé en pomme de terre

J. Tremblay et C. J. Beauchamp¹

Département de phytologie, Centre de recherche en horticulture, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, Sainte-Foy (Québec) G1K 7P4. Reçu le 11 juillet 1997, accepté le 19 décembre 1997.

Tremblay, J. et Beauchamp, C. J. 1998. Fractionnement de la fertilisation azotée d'appoint à la suite de l'incorporation au sol de bois raméaux fragmentés: modifications de certaines propriétés biologiques et chimiques d'un sol cultivé en pomme de terre. *Can. J. Soil Sci.* **78**: 275–282. En 1992 et 1993, une expérience au champ a été réalisée dans une culture de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.). Les propriétés biologiques et chimiques du sol ont été étudiées à la suite de l'incorporation de bois raméaux fragmentés (BRF), combinée à un fractionnement de la fertilisation azotée d'appoint. La population fongique du sol a augmenté temporairement suite à l'incorporation de BRF à faible rapport C/N, alors que les populations de bactéries et d'actinomycètes sont demeurées stables. Les BRF n'ont pas favorisé le développement de la gale commune ni de la rhizoctonie sur les tubercules. Le carbone (C) total et la capacité de rétention en eau du sol ont augmenté avec l'apport de BRF. Par contre, les BRF n'ont pas eu d'effet sur le rapport C/N et le pH. Seule la teneur en P disponible a diminué avec l'amendement, probablement en raison de son immobilisation par les microorganismes. Le fractionnement de la fertilisation azotée d'appoint a eu peu d'effet sur les propriétés chimiques du sol. Cependant, il a réduit l'incidence de la gale commune sur les tubercules en 1992. L'amendement en BRF combiné à un fractionnement de la fertilisation azotée d'appoint a donc amélioré l'activité biologique et augmenté la teneur en C total du sol à court terme.

Mots clés: Bois raméaux fragmentés, fractionnement azoté, population fongique, biomasse microbienne, immobilisation, phosphore

Tremblay, J. and Beauchamp, C. J. 1998. Split applications of supplementary N fertilizer following incorporation of chipped ramial wood — Changes in selected biological and chemical properties of a soil cropped to potatoes. *Can. J. Soil Sci.* **78**: 275–282. A field experiment was conducted in 1992 and 1993 in a potato crop (*Solanum tuberosum* L.). Biological and chemical soil properties were investigated following incorporation of chipped ramial wood (chipped fine branchwood) combined with split applications of supplementary N fertilizer. Fungal populations showed a temporary increase following incorporation of low C/N chipped wood, whereas bacteria and actinomycete populations remained unchanged. Chipped ramial wood did not induce development of common scab or rhizoctonia on tubers. Soil total carbon (C) and water-holding capacity increased with inputs of chipped wood but C/N ratio and pH were not affected. Only available P content decreased following incorporation of chipped wood, likely due to immobilization by microorganisms. Splitting supplementary N fertilizer showed little effect on soil chemical properties, but it reduced the incidence of common scab on tubers in 1992. Soil amendment with chipped ramial wood in combination with split N applications improved biological activity and caused a short-term increase of total C.

Key words: Chipped ramial wood, Chipped fine branchwood, split N fertilization, fungal populations, microbial biomass, immobilization, phosphorus

La diminution du contenu en matière organique est une des principales causes de dégradation des sols sous monoculture au Québec (Tabi et al. 1991). Une telle diminution est observée sur 49 à 66% des superficies cultivées en pomme de terre. La matière organique est reconnue comme un élément clé de la qualité d'un sol (Gregorich et al. 1994). Les amendements organiques riches en cellulose et en lignine, tels que les bois raméaux fragmentés (BRF), constituent une

source de carbone (C) intéressante pour les sols agricoles dégradés (Allison 1973). Dans une étude à long terme, N'Dayegamiye et Angers (1993) ont observé une augmentation du C du sol à la suite de l'apport de BRF au sol. Par ailleurs, d'autres études ont montré que l'incorporation de BRF augmente la capacité de rétention en eau du sol (Beauchemin et al. 1990; Gasser et al. 1995). Toutefois, les amendements organiques riches en C doivent être de bonne qualité, c'est-à-dire favoriser la vie du sol et ne pas contenir de métaux lourds (éléments traces) en des concentrations susceptibles d'augmenter les teneurs naturelles du sol.

¹Auteure pour correspondance.

Du point de vue nutrition des plantes, les BRF contiennent tous les éléments nutritifs essentiels à la croissance des plantes. Cependant, ces éléments sont présents en faibles concentrations, alors ils n'ont pas de valeur fertilisante importante (Tremblay 1995). En effet, les BRF contiennent en moyenne 0,46 à 1,15% d'azote (N), 0,26 à 1,10 mg g⁻¹ de phosphore (P), 1,40 à 5,30 mg g⁻¹ de potassium (K), 3,00 à 13,99 mg g⁻¹ de calcium (Ca) et 0,42 à 1,20 mg g⁻¹ de magnésium (Mg). Une étude rapporte une augmentation du pH et de la teneur du sol en Ca et Mg à la suite de l'incorporation au sol de BRF (Ministère de l'Énergie et des Ressources [MER] 1981). À notre connaissance, aucune étude ne s'est intéressée à l'évolution des éléments traces du sol à la suite d'un amendement en BRF. Cependant, Mustin (1987) mentionne le risque de contamination des sols par les éléments traces pouvant se retrouver dans les BRF récoltés aux abords du réseau routier.

L'incorporation de résidus riches en C influence la composante biologique du sol. La population de champignons d'un sol a augmenté à la suite de l'incorporation de copeaux de bois (Nelson 1972). De plus, un amendement organique provoque généralement une augmentation de l'activité biologique du sol (Haynes 1986; Mustin 1987). Woods et Schuman (1986) rapporte que la biomasse microbienne augmente de façon linéaire avec le contenu en matière organique d'un sol. L'activité biologique du sol est intimement liée à l'importance de la fraction minéralisable de la matière organique présente dans le sol (Janzen 1987), puisqu'elle constitue la source d'énergie de la microflore à l'origine de cette activité (Mustin 1987).

L'incorporation de BRF frais au sol provoque cependant une immobilisation du N par les microorganismes du sol (N'Dayegamiye et Dubé 1986; Beauchemin et al. 1990), et constitue un facteur limitant la production végétale durant l'année de l'application des BRF (Beauchemin et al. 1992). En général, l'immobilisation du N survient lorsque les BRF contiennent moins de 1% de N sur une base sèche (Allison 1973; Beauchemin 1988). Comme elle peut être contrée par un apport supplémentaire de N (Allison 1973), il pourrait être pertinent de fractionner cet apport azoté afin de limiter les pertes potentielles par lessivage et dénitrification. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de l'incorporation de BRF, combinée à un fractionnement de la fertilisation azotée d'appoint, sur certaines propriétés biologiques et chimiques d'un sol agricole cultivé en pomme de terre.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Essai au champ

Cette étude a été réalisée en 1992 et 1993 à la ferme expérimentale de l'Université Laval à Sainte-Croix-de-Lotbinière (Québec), sur un loam sableux Tilly contenant 621 g kg⁻¹ de sable, 249 g kg⁻¹ de limon et 130 g kg⁻¹ d'argile. Ce sol avait un pH de 4,8, contenait 39,0 g kg⁻¹ de matière organique et avait des teneurs en P, K, Ca et Mg disponibles de 30, 216, 1745 et 168 kg ha⁻¹, respectivement (Mehlich 1984). Le précédent cultural du site était une prairie, composée à 65% de graminées et à 35% de légumineuses.

Au cours des deux années d'essai au champ, différentes combinaisons des facteurs amendement en BRF et fractionnement de la fertilisation azotée d'appoint ont été étudiées. En 1992, l'essai a été une expérience factorielle 2 × 3. Les traitements consistaient en la présence (B) ou l'absence (T) d'un amendement en BRF, combinée à une incorporation au sol de N d'appoint, en post-levée, en une (F1) ou deux applications (F2 et F3'). Le dispositif expérimental utilisé pour cette expérience factorielle était un plan en blocs complets aléatoires comportant six répétitions. En 1993, l'essai au champ, réalisé sur le même site qu'en 1992, est devenu une expérience factorielle 4 × 3. La moitié des parcelles a reçu les mêmes traitements qu'en 1992 pour une deuxième année consécutive, tandis que l'autre moitié a reçu des traitements différents de 1992, c'est-à-dire des BRF sur les parcelles non amendées en 1992 et aucun amendement sur les parcelles amendées en 1992. Les traitements ont donc consisté en quatre combinaisons différentes d'amendement, résultant de la présence ou non de BRF en 1992 et/ou 1993, soit non amendé en 1992 et 1993 (TT), non amendé en 1992 mais amendé en 1993 (TB), amendé en 1992 mais non amendé en 1993 (BT) et amendé en 1992 et 1993 (BB). Ces combinaisons d'amendement ont été jumelées à trois types de fractionnement du N d'appoint en post-levée (F1, F2 et F3). Le dispositif expérimental utilisé pour cette expérience a été un plan en blocs complets comportant trois répétitions.

Les BRF frais, provenant de la région de Sainte-Croix-de-Lotbinière et composés à 90% et 80% de bois durs en 1992 et 1993 respectivement, ont été épanchés manuellement à raison de 150 m³ ha⁻¹. Puis, ils ont été incorporés à l'aide d'une herse à disques sur une profondeur maximale de 10 cm avant le semis. La teneur totale des BRF en P, K, Ca, Mg et en divers éléments traces a été mesurée à partir des échantillons broyés à 0,12 mm (Tableau 1). Les échantillons ont été minéralisés en milieu acide perchlorique-acide nitrique (Walsh 1971) et dosés par spectrométrie d'émission au plasma en 1992 et par absorption atomique en 1993. Les éléments traces dosés ont été le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cobalt (Co), le cuivre (Cu), le fer (Fe), le manganèse (Mn), le molybdène (Mo), le nickel (Ni), le plomb (Pb) et le zinc (Zn). Le pH à l'eau (1:10) a également été mesuré et il a été de 5,72 en 1992 et 5,58 en 1993.

La quantité de N d'appoint à ajouter au sol pour contrer l'immobilisation de l'azote par les microorganismes a été déterminée par la teneur initiale en N total des BRF. En 1992, la teneur en N total des BRF était de 0,76% et le rapport C/N de 73, alors qu'en 1993, les BRF contenaient 0,40% de N total et avaient un C/N de 142. Selon les calculs, la fertilisation azotée d'appoint a représenté, en 1992, une quantité de 18 kg N ha⁻¹ et en 1993, une quantité de 100 kg N ha⁻¹. En 1992, le N a été incorporé en post-levée en une application de 18 kg N ha⁻¹ (F1), deux applications de 9 kg N ha⁻¹ (F2) ou deux applications de 6 kg N ha⁻¹ (F3'), la troisième application de 6 kg N ha⁻¹ n'ayant pu être effectuée en raison des conditions météorologiques défavorables. En 1993, la fertilisation azotée d'appoint a consisté en une application de 100 kg N ha⁻¹ (F1), deux applications de 50 kg N ha⁻¹ (F2) ou trois applications de 33,3 kg N ha⁻¹ (F3). Le N a été appliqué sous forme de nitrate d'ammonium

Tableau 1. Teneurs totales en différents éléments majeurs et éléments traces des bois raméaux fragmentés (BRF) utilisés en 1992 et 1993 ainsi que les teneurs moyennes en ces éléments des BRF de la région de Québec

Élément	BRF 92	BRF 93	Limité de détection (µg g ⁻¹)	Moyenne ^z BRF Québec	Écart-type ^z BRF Québec
Phosphore	1030	450	10	747	245
Potassium	6350	2300	10	3022	1132
Calcium	8042	5700	10	6195	1944
Magnésium	1270	470	10	616	258
Cadmium	n.d. ^y	n.d.	1	n.d.	n.d.
Chrome	6	n.d.	2	3,2	3,1
Cobalt	15	n.d.	2	n.d.	n.d.
Cuivre	6,5	5,0	2	5,0	1,9
Fer	636	48	10	78	90
Manganèse	93	110	5	83	62
Molybdène	14,5	n.d.	2	n.d.	n.d.
Nickel	n.d.	n.d.	10	n.d.	n.d.
Plomb	n.d.	n.d.	20	n.d.	n.d.
Zinc	46	39	10	66	29

^zTremblay (1995).^yn.d. = non détecté.

(34-0-0) dans tous les cas. En 1992 et 1993, l'application du N d'appoint a été effectuée au stade des boutons floraux pour le traitement de fertilisation F1. Le N d'appoint fractionné en deux (F2) a été appliqué à 5-6 cm de hauteur et au stade boutons floraux. Finalement, en 1993, le stade mi-floraison s'est ajouté aux deux stades sus-mentionnés pour le fractionnement du N d'appoint en trois applications (F3).

Les pommes de terre (*Solanum tuberosum* L. 'Superior') ont été plantées dans des parcelles de 7,3 m × 8,0 m comptant huit rangs. La distance sur le rang entre les tubercules a été de 25 cm et l'espacement entre les rangs, de 91 cm. En 1992, la plantation a été effectuée le 3 juillet en raison de conditions hors de contrôle, alors qu'en 1993, elle a été faite le 7 juin. À la plantation, une fertilisation en azote, phosphore et potassium, basée sur l'analyse minérale du sol et les besoins de la culture (Conseil des Productions Végétales du Québec [CPVQ] 1992), a été effectuée. En 1992, 900 kg ha⁻¹ de 10-20-15 contenant 33,3 kg ha⁻¹ de Mg ont été appliqués, alors qu'en 1993, la fertilisation a été de 1120 kg ha⁻¹ de 13-21-18. La fertilisation de 1992 a représenté les 2/3 de la dose recommandée par le CPVQ (1992) étant donné la plantation tardive. Au cours des deux saisons de croissance, la culture a reçu des traitements herbicides, fongicides et insecticides respectant les recommandations du CPVQ (1991). La récolte a été effectuée le 1er octobre en 1992 et le 17 septembre en 1993.

Analyse des propriétés biologiques du sol

Des échantillons de sol ont été prélevés dans la couche de 0 à 20 cm au printemps avant l'application des BRF et à l'automne après la récolte. De ces échantillons, un dénombrement des populations de bactéries et de champignons a été effectué. Dix grammes de sol humide ont été dilués dans 90 mL de solution tampon phosphate (Zuberer 1994), puis redilués en série. Ensuite, 0,1 mL de la dilution désirée a été étalé sur des Petris contenant des milieux de culture sélectifs. Les dilutions utilisées pour les bactéries ont été de 10⁻⁴ à 10⁻⁶ et pour les champignons, de 10⁻² à 10⁻⁴. Le milieu

Tryptic Soy Agar (TSA; Difco Laboratories, Détroit, Michigan, É.-U.), contenant 0,2 g L⁻¹ de cycloheximide et 0,2 g L⁻¹ de Benomyl (Benlate 50 WP, DuPont), a été utilisé pour les bactéries (Wollum 1982). Le milieu Rose Bengale (RB; Difco Laboratories), contenant 0,1 g L⁻¹ de chloramphénicol, a été utilisé pour les champignons. Les colonies ont été comptées après trois jours d'incubation à 25°C. En 1993, les actinomycètes ont aussi été dénombrés. Le sol a d'abord été séché pendant 16 h à 21°C, puis 4 h à 70°C (McCarthy et Williams 1990). Le sol sec a été dilué en série, comme pour le dénombrement des bactéries et des champignons, et inoculé sur gélose à base d'amidon et de caséine (Dhingra et Sinclair 1985) contenant 50 mg L⁻¹ de cycloheximide. Les dilutions utilisées ont été de 10⁻² à 10⁻³. Les colonies ont été comptées après une semaine d'incubation à 25°C. Dans tous les cas, les décomptes de microorganismes ont été exprimés en logarithme (base 10) des **unités formant des colonies (ufc)** par gramme de sol sec.

En 1993, trois temps d'échantillonnage de sol ont été ajoutés pour évaluer la variation saisonnière de la teneur en eau et de la biomasse microbienne du sol. Ces échantillonnages ont été effectués deux jours suivant une pluie, et à intervalle d'un mois entre la plantation et la récolte. La biomasse microbienne a été mesurée par la technique de fumigation-extraction (Vance et al. 1987), avec dosage du carbone de la biomasse par un appareil automatisé (TOC-5050, Total Organic Carbon, Shimadzu; Kyoto, Japon; Jordan et Beare 1991). Les données ont ensuite été corrigées par le facteur 2,22 considérant que 45% du C de la biomasse microbienne a été extrait (Wu et al. 1990).

Les analyses microbiennes ont été complétées par le dénombrement des champignons et des bactéries à la surface des tubercules et l'évaluation de la qualité phytosanitaire des tubercules. Un sous-échantillon de la récolte de tubercules de classe no 1 a été utilisé pour les analyses microbiennes. Dix grammes de pelures de pomme de terre ont été ajoutés à 90 mL de solution tampon phosphate (Zuberer 1994). À la suite d'une série de dilutions, des

Tableau 2. Effet de l'application de BRF et du fractionnement de la fertilisation azotée d'appoint sur le nombre de champignons dans le sol à l'automne 1992 et au printemps 1993, de même que sur la présence de gale commune sur les tubercules à l'automne 1992, et résumé de l'analyse de variance

	Champignons		Gale commune (%)
	A-92 ^z	P-93 ^y	
(log ₁₀ ufc ^x g ⁻¹)			
Amendement ^w			
T	4,93 ^b	4,52 ^b	2,17
B	5,39 ^a	4,82 ^a	1,99
Fractionnement ^y			
F1	5,22	4,67	2,60 ^a
F2	5,23	4,65	1,92 ^b
F3'	5,05	4,70	1,79 ^b
Degrés de liberté et moyenne des carrés			
Amendement (A)	1	1,6266**	0,0129
Fractionnement (F)	2	0,2118	0,0888*
A × F	2	0,1842	0,0244
Erreur	25	0,0750	0,0228
Coefficient de variation		5,31	47,52

^zA-92 = automne 1992.

^yP-93 = printemps 1993.

^xufc = unité formant des colonies.

^wT = non amendé, B = amendé en BRF.

^yF1 = apport du N d'appoint en une application de 18 kg N ha⁻¹, F2 = apport du N d'appoint en deux applications de 9 kg N ha⁻¹, F3' = apport du N d'appoint en deux applications de 6 kg N ha⁻¹.

*,** significatif à $P \leq 0,05$ et $P \leq 0,01$, respectivement.

Les nombres suivis d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différents l'un de l'autre selon le test de LSD protégé.

gêlozes TSA et RB ont été inoculées (Wollum 1982) tel que décrit précédemment. Un second sous-échantillon de tubercules de classe no 1 a été utilisé pour l'évaluation de la qualité phytosanitaire des tubercules. Celle-ci a été mesurée à l'aide de l'échelle de Horsfall-Barratt (1945) servant à estimer le pourcentage de la surface des tubercules atteinte par la gale commune (*Streptomyces scabies*) et la rhizoctonie (*Rhizoctonia solani*).

Analyse de certaines propriétés chimiques du sol

Les échantillons de sol ont été séchés à l'air et tamisés à 2 mm. Les BRF non humifiés présents dans le sol ont été écrasés de façon à être également tamisables à 2 mm. Puis, les échantillons ont été broyés à 0,12 mm de diamètre. La teneur du sol en P disponible a été déterminée par la méthode Mehlich III (Mehlich 1984) à partir des échantillons tamisés à 2 mm. Le dosage du P a été fait par colorimétrie (méthode bleue à 660 nm, Black 1965). Le C et le N total du sol ont été mesurés par combustion sèche (CNS-1000, Leco; Michigan, É.-U.) à partir des échantillons broyés à 0,12 mm. Ces teneurs ont servi à calculer le rapport C/N des sols. Le pH à l'eau (1:2) et la teneur en eau du sol (24 heures à 105°C) sont les autres paramètres évalués.

Analyses statistiques

Pour chacun des paramètres étudiés, l'homogénéité de la variance a été vérifiée par le test de Bartlett (Snedecor et Cochran 1980). Puis, les résultats de chaque année ont été soumis à une analyse de variance, suivie d'un test de comparaisons multiples, soit le LSD (Least Significant Difference) protégé (Steel et Torrie 1980). En l'absence d'interaction entre les facteurs amendement et fraction-

nement, tous les résultats ont été présentés en fonction des effets principaux. Les résultats ont été considérés significatifs à $P \leq 0,05$.

RÉSULTATS

Propriétés biologiques du sol

À l'automne 1992, la population de champignons du traitement amendé (B) a été trois fois plus élevée que celle du traitement non amendé (T) (Tableau 2). Cette différence était encore fortement présente au printemps 1993, avant la mise en place des traitements de la deuxième saison, puisque la population de champignons du traitement amendé a été deux fois supérieure à celle du traitement non amendé (Tableau 2). À l'automne 1993, le dénombrement des champignons n'a pas montré d'effet significatif entre les différents amendements ni entre les différents types de fractionnement, la population moyenne du sol étant alors de 5,56 log (10) ufc g⁻¹ sol sec.

Les populations de bactéries et d'actinomycètes du sol n'ont pas été influencées par l'incorporation de BRF au sol, ni par le fractionnement du N d'appoint en 1992 et 1993. Les populations moyennes de bactéries au printemps et à l'automne 1992 et 1993 ont été, dans l'ordre, de 6,54, 5,74, 6,68 et 7,21 log (10) ufc g⁻¹ sol sec. Les populations moyennes d'actinomycètes au printemps et à l'automne 1993 ont été de 4,94 et 4,84 log (10) ufc g⁻¹ sol sec, respectivement.

Au mois d'août 1993, il y a eu plus de carbone de la biomasse microbienne ($P \leq 0,05$) dans les traitements BT et TB que dans le traitement non amendé (TT) (Fig. 1). Une tendance similaire a également été observée en juin 1993.

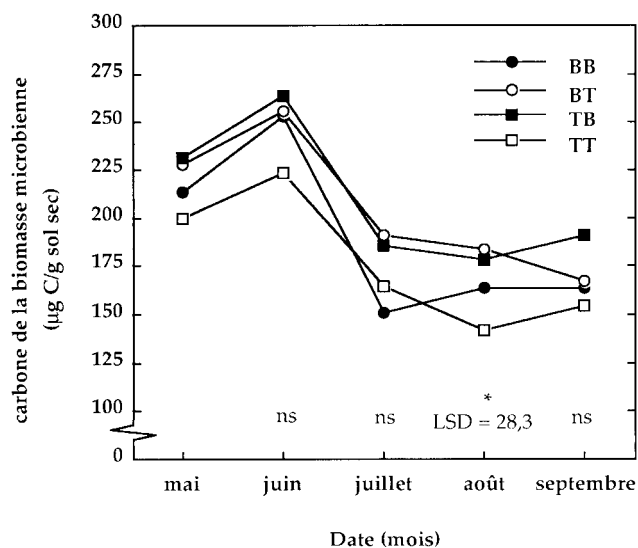


Fig. 1. Effet de l'application de bois raméaux fragmentés sur le carbone de la biomasse microbienne du sol au cours de la saison 1993 (BB = amendé en 1992 et 1993, BT = amendé en 1992, non amendé en 1993, TB = non-amendé en 1992, amendé en 1993, TT = non amendé en 1992 et 1993, ns = non significatif).

En 1992 et 1993, le nombre de bactéries et de champignons sur les tubercules n'a pas été influencé par l'incorporation de BRF, ni par le fractionnement du N d'appoint. En 1992, les populations moyennes de bactéries et de champignons sur les tubercules ont été de 5,96 et 4,34 log (10) ufc g⁻¹ pelures de tubercules, respectivement, et en 1993, de 5,86 et 4,33 log (10) ufc g⁻¹ pelures de tubercules. Le développement de la rhizoctonie sur les tubercules en 1992 et 1993, et de la gale commune en 1993, n'a pas non plus été influencé par l'incorporation de BRF, ni par le fractionnement du N d'appoint. La rhizoctonie a été présente sur 1,49% de la surface des tubercules de classe no 1 en 1992, et 1,85% en 1993, tandis que la gale commune a été présente sur 3,92% de la surface des tubercules en 1993. Cependant, l'incidence de la gale commune a été plus importante, en 1992, avec l'application du N d'appoint en une seule dose (F1) qu'avec les autres types de fractionnement (F2 et F3') (Tableau 2).

Propriétés chimiques du sol

En 1992, la teneur du sol en C total n'a pas été influencée par l'incorporation de BRF avec une moyenne de 25,1 g C kg⁻¹ sol pour le témoin et 26,6 g C kg⁻¹ sol pour le traitement avec BRF. Cependant, en 1993, la teneur en C total du sol des traitements avec BRF a été de plus de 10% supérieure à celle du sol non amendé (TT) (Tableau 3). L'incorporation de BRF n'a eu aucun effet sur le rapport C/N du sol en 1992 et 1993 avec des rapports moyens de 20,1 et 14,8 pour les témoins 1992 et 1993, respectivement, et de 20,1 et 14,6 pour les traitements avec BRF en 1992 et 1993. Le fractionnement du N d'appoint n'a pas influencé le pourcentage de C total et le rapport C/N du sol en 1992 et 1993.

À l'automne 1992, la teneur en P disponible a diminué de façon significative à la suite de l'incorporation au sol de BRF (Tableau 3). La tendance a été la même, à l'automne 1993, alors que la teneur en P disponible a été plus faible ($P \leq 0,13$) dans les traitements ayant été amendés (BT, BB et TB) que dans le traitement non amendé (TT) (Tableau 3). Le fractionnement du N d'appoint n'a pas influencé la teneur du sol en P disponible en 1992 et 1993 (Tableau 3).

En 1992, l'incorporation de BRF au sol et le fractionnement du N d'appoint n'ont pas non plus influencé les teneurs totales du sol en éléments traces. Celles-ci ont été en moyenne de 1,1 µg g⁻¹ de Cd, 0,12 mg g⁻¹ de Cr, 8,8 µg g⁻¹ de Co, 14,8 µg g⁻¹ de Cu, 21,6 mg g⁻¹ de Fe, 0,27 mg g⁻¹ de Mn, 15,3 µg g⁻¹ de Mo, 0,13 mg g⁻¹ de Ni, 20,8 µg g⁻¹ de Pb et 86,6 µg g⁻¹ de Zn à l'automne 1992.

Le pH du sol n'a pas été influencé par l'incorporation de BRF au sol ni par le fractionnement du N d'appoint en 1992 et 1993, variant de 4,7 à 4,9. En 1992, la teneur en eau du sol n'a pas varié en fonction de l'amendement en BRF et du fractionnement du N d'appoint, la teneur moyenne étant de 23,6%. Cependant, au mois d'août 1993, la teneur en eau du sol des traitements BT et TB a été significativement plus élevée ($P \leq 0,01$) que celle du sol non amendé (TT) (Fig. 2). Cette tendance a été présente tout au cours de la saison 1993.

DISCUSSION

Effet de l'incorporation de BRF au sol

L'incorporation de BRF a eu un effet stimulant marqué sur le développement de la population de champignons dans le sol à l'automne 1992 et au printemps 1993 alors que les populations de bactéries et d'actinomycètes sont demeurées stables. D'autres études ont montré l'augmentation de la population de champignons à la suite de l'incorporation de copeaux de bois au sol (Nelson 1972). Les champignons sont reconnus pour leur plus grande capacité à dégrader le matériel ligno-cellulosique que les bactéries et les actinomycètes (Alexander 1961). De plus, en sol acide, les champignons sont dominants par rapport aux bactéries et aux actinomycètes (Alexander 1961). La méthode utilisée dans la présente étude pour le dénombrement des champignons révèle préférentiellement les champignons qui sporulent beaucoup (Dhingra et Sinclair 1985), tels que les champignons des genres *Penicillium*, *Aspergillus* et *Trichoderma* (Dommergues et Mangenot 1970) fréquemment rencontrés lors des dénombrements. Comme ces champignons sont impliqués dans la dégradation de la cellulose (Mustin 1987), un accroissement de la population de champignons dans le sol amendé suggère que la dégradation des BRF a été amorcée. Par ailleurs, les champignons de la classe des Basidiomycètes jouent un rôle prépondérant dans la dégradation des matériaux plus résistants à la décomposition (Käärik 1974). Les Basidiomycètes sont difficilement dénombrables, mais l'observation visuelle de fructifications à la surface du sol amendé a toutefois permis de confirmer leur présence.

À l'automne 1993, le dénombrement des populations de champignons, bactéries et actinomycètes n'a pas permis de

Tableau 3. Effet de l'application de bois raméaux fragmentés (BRF) et du fractionnement de la fertilisation azotée d'appoint sur la teneur en C total et la teneur en P disponible du sol à l'automne 1992 et 1993, et résumé de l'analyse de variance

Traitement en 1992	C total (g kg ⁻¹)	P disponible (µg g ⁻¹)	Traitement en 1993	C total (g kg ⁻¹)	P disponible (µg g ⁻¹)		
Amendement ^z			Amendement ^x				
T	25,1	20,05a	TT	29,4b	42,19		
B	26,6	15,26b	TB	33,0a	29,90		
			BT	32,9a	33,07		
			BB	31,1a	34,81		
Fractionnement ^y			Fractionnement ^w				
F1	26,1	17,88	F1	31,6	14,64		
F2	26,3	15,70	F2	31,5	14,74		
F3 ^v	25,2	19,46	F3	31,8	14,46		
Degrés de liberté et moyenne des carrés							
Amendement (A)	1	0,314	302,71**	Amendement	3	0,261**	248,06
Fractionnement (F)	2	0,040	56,18	Fractionnement	2	0,001	10,62
A × F	2	0,185	57,58	A × F	6	0,046	96,46
Erreur	25	0,096	35,12	Erreur	22	0,042	118,01
Coefficient de variation		11,97	33,43	Coefficient de variation		6,50	31,04

^zT = non amendé, B = amendé en BRF.

^yF1 = apport du N d'appoint en une application de 18 kg N ha⁻¹, F2 = apport du N d'appoint en deux applications de 9 kg N ha⁻¹, F3 = apport du N d'appoint en deux applications de 6 kg N ha⁻¹.

^xTT = non amendé en 1992 et 1993, TB = non amendé en 1992, amendé en 1993, BT = amendé en 1992, non amendé en 1993, BB = amendé en 1992 et 1993.

^wF1 = apport du N d'appoint en une application de 100 kg N ha⁻¹, F2 = apport du N d'appoint en deux applications de 50 kg N ha⁻¹, F3 = apport du N d'appoint en trois applications de 33,3 kg N ha⁻¹.

**Significatif à $P \leq 0,01$; les nombres suivis d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différents l'un de l'autre selon le test de LSD protégé.

mettre en évidence d'effet de l'incorporation des BRF. Les BRF appliqués en 1992 ont probablement contenu une plus grande proportion de substances facilement dégradables, capables de stimuler les microorganismes, que les BRF appliqués en 1993. La présence abondante de feuilles parmi les résidus et le rapport C/N de 73 en 1992, comparé à 142 en 1993, en sont probablement la cause. Toutefois, en août 1993, l'évaluation du carbone de la biomasse microbienne a permis de démontrer que l'addition de BRF au sol a légèrement stimulé le développement des microorganismes. Plusieurs auteurs ont rapporté une augmentation de l'activité des microorganismes à la suite de l'incorporation au sol d'un amendement organique (Mustin 1987; Ocio et al. 1991), la matière organique étant une source d'énergie et de C pour les microorganismes (N'Dayegamiye et Angers 1990). Dans la présente étude, l'augmentation de l'activité biologique a été temporaire. Une augmentation de la biomasse microbienne est un indicateur de l'amélioration de la qualité d'un sol puisqu'elle reflète la capacité du sol à entreposer et à recycler l'énergie et les éléments nutritifs (Gregorich et al. 1994).

Les BRF n'ont pas favorisé le développement des agents pathogènes responsables de la gale commune (*S. scabies*) et de la rhizoctonie (*R. solani*). De façon générale, le développement de la gale commune est limité en sol acide de pH < 5,5 (Agrios 1987). D'autre part, l'incorporation de matériel organique au sol stimule généralement l'activité des saprophytes qui peuvent devenir des antagonistes actifs des agents pathogènes d'une culture. Forbes (1974) rapporte que le parasite facultatif *R. solani* est inhibé dans le sol par l'addition de résidus de culture ayant un rapport C/N élevé. Sa sensibilité à l'augmentation de la concentration en CO₂ du sol, consécutive à l'augmentation de la respiration chez les microorganismes décomposeurs, en est probablement la cause.

D'autre part, les résultats de l'analyse des teneurs du sol en P disponible suggèrent qu'il y a eu immobilisation du P par les microorganismes à la suite de l'incorporation de BRF au sol. En effet, au cours de la première année d'expérimentation, le sol du traitement non amendé a contenu significativement plus de P disponible que le sol des autres traitements. La tendance a été la même en 1993. Des résultats similaires ont été obtenus par White et Ayoub (1983) lors de l'incorporation de résidus pauvres et moyennement pauvres en phosphore (de 680 à 1250 µg g⁻¹). Selon Dommergues et Mangenot (1970), les végétaux et les microorganismes sont en compétition pour l'absorption du P sous forme minérale. Plusieurs études ont tenté d'établir une relation entre le contenu en C total des résidus organiques en décomposition et leur contenu en P total afin de pouvoir prédire la disponibilité du P dans le sol (Buchanan et King 1993). Le rapport C/P critique des résidus organiques au-dessus duquel il y a immobilisation nette est de 350 à 480 (Gosz et al. 1973; Rustad et Cronan 1988). Comme le rapport C/P des BRF utilisés a varié de 542 à 1258, l'immobilisation du P pourrait expliquer les résultats de l'analyse du P disponible du sol. De plus, la réserve naturelle du sol en P disponible et en P total est très faible sur ce site, pouvant difficilement jouer un rôle tampon.

Après deux années d'expérimentation, l'incorporation de BRF a fait augmenter la teneur en C total du sol. Des résultats similaires ont été obtenus par Gasser et al. (1995), trois ans après l'incorporation de BRF à une dose 100 m³ ha⁻¹. Dans une étude à long terme, N'Dayegamiye et Angers (1993) ont observé une augmentation de 16 à 37% de la teneur en C total avec des applications de copeaux de bois de 25 à 100 t ha⁻¹.

L'incorporation de BRF au sol a aussi été associée à une augmentation de la teneur en N total du sol (Tremblay

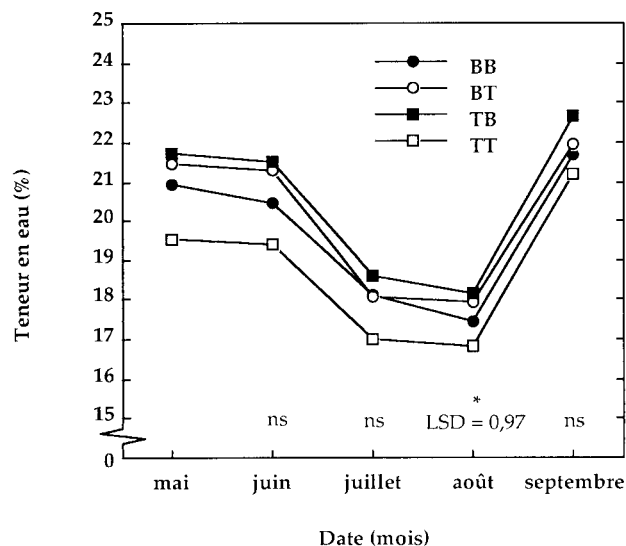


Fig. 2. Effet de l'application de bois raméaux fragmentés sur la teneur en eau du sol au cours de la saison 1993 (BB = amendé en 1992 et 1993, BT = amendé en 1992, non amendé en 1993, TB = non amendé en 1992, amendé en 1993, TT = non amendé en 1992 et 1993, ns = non significatif).

1995). Comme les teneurs en N et C total du sol ont varié dans le même sens à la suite de l'incorporation de BRF au sol, le rapport C/N n'a pas montré de différence significative entre les différents traitements d'amendement et le sol non amendé. Le rapport C/N d'un sol tend vers un équilibre et plus de deux années d'expérimentation sont requises pour en percevoir une modification. Des travaux d'une durée de quatre ans ont permis d'observer une augmentation du rapport C/N dans des sols amendés avec des copeaux de bois durs par rapport à un sol témoin (N'Dayegamiye et Dubé 1986).

L'incorporation de BRF a fait augmenter la capacité de rétention en eau du sol. Des résultats similaires ont été rapportés par Gasser et al. (1995). Par contre, l'incorporation de BRF au sol n'a pas fait augmenter le pH du sol contrairement à ce qui a été rapporté (MER 1981). Par ailleurs, la teneur totale du sol en éléments traces n'a pas augmenté à la suite de l'incorporation de BRF après une première année de suivi. Une caractérisation chimique plus exhaustive de BRF provenant de quatre régions de la province de Québec n'a pas permis de détecter la présence d'éléments traces susceptibles de contaminer les sols agricoles à la dose appliquée (Tremblay 1995).

Effet du fractionnement de la fertilisation azotée d'appoint

Le fractionnement de la fertilisation azotée d'appoint n'a eu aucun effet sur les propriétés physico-chimiques et la plupart des propriétés biologiques du sol évaluées en 1992 et 1993. Par contre, le fractionnement de la fertilisation azotée d'appoint a influencé, en 1992, l'incidence de la gale commune sur les tubercules. En effet, l'incorporation du N d'appoint en une application (F1) a fait augmenter la présence de la gale par rapport à deux applications du N d'appoint (F2 et F3'). La présence combinée de jeunes tubercules de pomme

de terre, d'une température chaude et sèche, et d'une grande quantité de N disponible à un même moment a probablement influencé la sensibilité des tubercules à la gale commune. En effet, les jeunes tubercules de pomme de terre sont généralement plus sensibles à l'infection par *S. scabies* que les tubercules matures. De même, lorsque les précipitations sont faibles (>250 mm de pluie), l'infection des tubercules par la gale commune augmente (Grzeskiewicz et al. 1990). Finalement, l'infection des tubercules par *S. scabies* augmente avec la dose d'azote (Czajka et al. 1991). La quantité de N appliquée a été beaucoup plus importante en 1993 qu'en 1992, mais elle n'a pourtant eu aucun effet sur la gale. Ces résultats soulignent l'importance de la présence combinée des facteurs biotiques (développement des tubercules) et abiotiques (azote du sol et climat) afin d'expliquer l'incidence de la gale des tubercules de la pomme de terre.

CONCLUSION

L'incorporation de BRF n'a pas influencé l'incidence de la rhizoctonie et de la gale commune, deux maladies importantes de la pomme de terre. Par contre, la présence de BRF a stimulé le développement des microorganismes, en particulier la population fongique, d'autant plus lorsque le rapport C/N des BRF a été faible. L'incorporation de BRF a augmenté la teneur en C total et la capacité de rétention en eau du sol, des effets bénéfiques recherchés pour rétablir le bilan humique des sols dégradés. L'apport de BRF a cependant provoqué une diminution de la quantité de P disponible dans le sol, probablement en raison de son immobilisation par les microorganismes. Dans un sol pauvre en P, l'utilisation d'une fertilisation d'appoint en P est à considérer. Finalement, le fractionnement de la fertilisation azotée d'appoint n'a eu aucun effet sur les propriétés physico-chimiques et la plupart des propriétés biologiques évaluées. Par contre, il a fait diminuer l'incidence de la gale commune sur les tubercules en 1992. L'ensemble de ces résultats suggère que l'incorporation de BRF, combinée à un fractionnement de la fertilisation azotée d'appoint, serait une pratique agricole bénéfique permettant d'améliorer les propriétés biologiques d'un sol et susceptible de rétablir, à long terme, le bilan humique négatif de plusieurs sols cultivés en pomme de terre.

REMERCIEMENTS

Ces travaux ont été supportés financièrement par la société d'état Hydro-Québec. J. Tremblay remercie le Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie pour l'obtention d'une bourse d'études supérieures.

Agrios, G. N. 1987. Plant pathology. Academic Press, Orlando, FL. 803 p.

Alexander, M. 1961. Introduction to soil microbiology. John Wiley & Sons, inc., New York, NY. 472 p.

Allison, F. E. 1973. Soil organic matter and its role in crop production. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam. 637 p.

Beauchemin, S. 1988. Amendements ligneux: leur valeur agronomique et leurs effets sur la disponibilité de l'azote en sol sableux soumis à une culture de pomme de terre. Mémoire de maîtrise, Faculté de l'Agriculture et de l'Alimentation, Université Laval, Québec. 76 p.

- Beauchemin, S., N'Dayegamiye, A. et Laverdière, M. R. 1990.** Effets d'apport d'amendements ligneux frais et humifiés sur la production de pomme de terre et sur la disponibilité de l'azote en sol sableux. *Can. J. Soil Sci.* **70**: 555–564.
- Beauchemin, S., N'Dayegamiye, A. et Laverdière, M. R. 1992.** Effets d'amendements ligneux sur la disponibilité d'azote dans un sol sableux cultivé en pomme de terre. *Can. J. Soil Sci.* **72**: 89–95.
- Black, C. A. 1965.** Methods of soil analysis. Part 2. Pages 1040–1041 *dans* *Agronomy* no. 9. ASA, Madison, WI.
- Buchanan, M. et King, L. D. 1993.** Carbon and phosphorus losses from decomposing crop residues in no-till and conventional till agroecosystems. *Agron. J.* **85**: 631–638.
- Conseil des Productions Végétales du Québec. 1992.** Pomme de terre — culture. AGDEX 161/20. Conseil des productions végétales du Québec, Québec. 64 p.
- Conseil des Productions Végétales du Québec. 1991.** Pomme de terre — Protection. AGDEX 161/605. Conseil des productions végétales du Québec, Québec. 55 p.
- Czajka, W., Majchrzak, B. et Kurowski, I. 1991.** The effect of nitrogen fertilization on the state of stored potatoes. *Acta Acad. Agric. Techn. Olstenensis.* **52**: 219–228.
- Dhingra, O. D. et Sinclair, J. B. 1985.** Soil microorganisms. Pages 179–225 *dans* *Basic plant pathology methods*. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.
- Dommergues, Y. et Mangenot, F. 1970.** Écologie microbienne du sol. Masson et Cie (éd.), Paris, France. 796 p.
- Forbes, R. S. 1974.** Decomposition of agricultural crop debris. Pages 723–742 *dans* C. H. Dickinson et G. J. F. Pugh eds. *Biology of plant litter decomposition*. Vol. 2. Academic Press, New York, NY.
- Gasser, M. O., N'Dayegamiye, A. et Laverdière, M. R. 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.
- Gosz, J. R., Likens, G. E. et Bormann, F. H. 1973.** Nutrient release from decomposing leaf and branch litter in the Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire. *Ecol. Monogr.* **43**: 173–191.
- Gregorich, E. G., Carter, M. R., Angers, D. A., Monreal, C. M. et Ellert, B. H. 1994.** Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Can. J. Soil Sci.* **74**: 367–385.
- Grzeskiewicz, H., Rudkiewicz, F. et Socko, J. 1990.** Infection of potato tubers with common scab on weed infestation, mechanical composition of soil, manganese fertilization and amount of precipitation. *Biul. Inst. Ziemniaka.* **40**: 61–74.
- Haynes, R. J. 1986.** Mineral nitrogen in the plant-soil system. Academic Press, Inc., Toronto, ON. 483 p.
- Horsfall, J. G. et Barratt, R. W. 1945.** An improved grading system for measuring plant diseases. *Phytopathology* **35**: 655.
- Janzen, H. H. 1987.** Soil organic matter characteristics after long-term cropping to various spring wheat rotations. *Can. J. Soil Sci.* **67**: 845–856.
- Jordan, D. et Beare, M. H. 1991.** A comparison of methods for estimating soil microbial biomass carbon. Pages 35–41 *dans* *Modern techniques in soil ecology*. Proceeding of the international workshop on modern techniques in soil ecology relevant to organic matter breakdown, nutrient cycling and soil biological processes. Athens, GA, 11–15 Sept. 1989. Elsevier, New York, NY.
- Käärrik, A. A. 1974.** Decomposition of wood. Pages 129–174 *dans* C. H. Dickinson et G. J. F. Pugh eds. *Biology of plant litter decomposition*. Vol. 1. Academic Press, New York, NY.
- McCarthy, A. J. et Williams, S. T. 1990.** Methods for studying the ecology of actinomycetes. Pages 533–563 *dans* R. Grigorova et J. R. Norris, eds. *Methods in microbiology*. Techniques in microbial ecology. Vol. 22. Academic Press, San Diego, CA.
- Mehlich, A. 1984.** Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **15**: 1409–1416.
- Ministère de l'Énergie et des Ressources. 1981.** Observations sur l'emploi des résidus forestiers et des lisiers en agriculture. Québec. 25 p.
- Mustin, M. 1987.** Le compost: gestion de la matière organique. Éd. F. Dubusc, Paris, France. 954 p.
- N'Dayegamiye, A. et Angers, D. A. 1990.** Effets de l'apport prolongé de fumier de bovins sur quelques propriétés physiques et biologiques d'un loam limoneux Neubois sous culture de maïs. *Can. J. Soil Sci.* **70**: 259–262.
- N'Dayegamiye, A. et Angers, D. A. 1993.** Organic matter characteristics and waterstable aggregation of a sandy loam after 9 years of wood-residue applications. *Can. J. Soil Sci.* **73**: 115–122.
- N'Dayegamiye, A. et Dubé, A. 1986.** L'effet de l'incorporation de matières ligneuses sur l'évolution des propriétés chimiques du sol et sur la croissance des plantes. *Can. J. Soil Sci.* **66**: 623–631.
- Nelson, E. E. 1972.** Effect of urea and wood shavings on populations of soil microfungi, especially *Trichoderma* species. *Microbios* **5**: 69–72.
- Ocio, J. A., Brookes, P. C. et Jenkinson, D. S. 1991.** Field incorporation of straw and its effects on soil microbial biomass and soil inorganic N. *Soil Biol. Biochem.* **23**: 171–176.
- Rustad, L. E. et Cronan, C. 1988.** Element loss and retention during litter decay in a red spruce stand in Maine. *Can. J. For. Res.* **18**: 947–953.
- Snedecor, G. W. et Cochran, W. G. 1980.** Statistical methods. 7e éd. The Iowa State University Press, Ames, IA. 507 p.
- Steel, R. G. D. et Torrie, J. H. 1980.** Principles and procedures of statistics — A biometrical approach. 2nd éd. McGraw-Hill, New York, NY. 633 p.
- Tabi, M., Tardif, L., Carrier, D., Laflamme, G. et Kompré, M. 1991.** Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec. *Agrisol* **4**: 5–10.
- Tremblay, J. 1995.** Caractérisation physico-chimique des bois raméaux fragmentés et leur effet sur la croissance des plantes. Mémoire de maîtrise, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, Québec. 173 p.
- Vance, E. D., Brookes, P. C. et Jenkinson, D. S. 1987.** An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* **19**: 703–707.
- Walsh, L. M. 1971.** Instrumental methods for analysis of soils and plant tissue. SSSA, Madison, WI. pp. 29–32.
- White, R. E. et Ayoub, A. T. 1983.** Decomposition of plant residues of variable C/P ratio and the effect on soil phosphate availability. *Plant Soil* **74**: 163–173.
- Wollum, II, A. G. 1982.** Cultural methods for soil microorganisms. Pages 781–801. *dans* A. L. Page, R. H. Miller, et D. R. Keeney, eds. *Methods of soil analysis*. 2e éd. *Agronomy* n° 9. ASA et SSSA, Madison, WI.
- Woods, L. E. et Schuman, G. E. 1986.** Influence of soil organic matter concentrations on carbon and nitrogen activity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **50**: 1241–1245.
- Wu, J., Joergensen, R. G., Pommerening, B., Chaussod, R. et Brookes, P. C. 1990.** Measurement of soil microbial biomass C by fumigation-extraction — An automated procedure. *Soil Biol. Biochem.* **22**: 1167–1169.
- Zuberer, D. A. 1994.** Recovery and enumeration of viable bacteria. Pages 119–144 *Dans* R. W. Weaver et al. eds. *Methods of soil analysis part 2 — microbiological and biological properties*. SSSA Book Series 5. SSSA, Madison, WI.