

ÉTUDE EXPLORATOIRE SUR L'EFFET DU TRAVAIL DU SOL SUR LA LIBÉRATION DE L'AZOTE LORS DE LA DESTRUCTION D'UNE PRAIRIE EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE

Bernard Estevez (agr., M.Sc.)

RESUMÉ

Dans le cadre d'un projet *Innovation technologique*, nous avons évalué l'impact de deux modes de destruction d'une prairie sur la libération des nitrates dans le sol. L'un consistait en un déchaumage suivi d'un labour d'automne, l'autre étant le labour d'automne conventionnel. Cette recherche a été réalisée sur trois fermes de la région du Bas-Saint-Laurent. Chaque ferme représentait un type de sol différent. La destruction de la prairie a été effectuée en 1995 et la culture a été suivie en 1996. De plus, en 1996, l'essai de déchaumage vs labour conventionnel a été répété sur des sites adjacents à ceux de 1995.

En 1995, la pratique du déchaumage a libéré des nitrates de l'ordre de 27 à 42 kg NO_3^- /ha selon la dose de compost (effet significatif), comparativement à 9 à 14 kg NO_3^- /ha pour le labour conventionnel, et cela tard à l'automne (début novembre). Ainsi, cette pratique peut contribuer à la pollution diffuse (lessivage) si elle n'est pas suivie d'un engrais vert ou d'une culture d'automne. En 1996, bien que la minéralisation avant le travail du sol au printemps était plus grande dans les parcelles déchaumées, cela ne s'est pas traduit en de meilleurs rendements ou en une teneur supérieure en azote total dans les tissus végétaux, tout du moins dans le témoin. Le témoin labouré conventionnellement a donné le meilleur rendement en grains (non significatif), mais le compost a été mieux valorisé (non significatif) dans les parcelles ayant été déchaumées. Il semble ainsi que le labour qui conserve les résidus de prairie et ne les met en circulation qu'au printemps par le travail superficiel du sol, permet une intense minéralisation au cours de la saison de croissance. Cela suggère qu'en première année de céréales, la minéralisation des résidus de cultures peut apporter, selon les conditions climatiques, une fertilisation azotée suffisante pour un rendement moyen. Pour le contrôle du chiendent, le déchaumage semble être plus efficace que le seul labour conventionnel.

Les données comparatives du déchaumage versus labour conventionnel sur des sites adjacents en 1996 confirment celles de 1995 sous des conditions climatiques différentes. La production de nitrates est particulièrement plus importante dans les parcelles déchaumées après le labour, tard l'automne (fin octobre), de l'ordre de 14 à 33 kg NO_3^- /ha, versus 5 à 7 kg NO_3^- /ha pour le labour conventionnel.

Introduction

Lors de la destruction d'une prairie, il est préconisé en agriculture biologique de pratiquer un déchaumage avant le labour d'automne, pour ainsi favoriser un mélange homogène des résidus de prairie et des amendements avec le sol d'une part, et pour d'autre part contrôler les mauvaises herbes vivaces (chiendent notamment). Le déchaumage consiste donc à travailler superficiellement le sol à l'aide d'outils tels que la charrue offset, le cultivateur lourd ou encore le chisel durant l'été, généralement après la première coupe de foin. Ce travail se réalise habituellement en deux passages espacés de plusieurs semaines, selon les conditions météorologiques, car pour un meilleur contrôle, le chiendent doit retiger, puis suit le labour d'automne. Les amendements (chaux, phosphate de roche, ou basalte au besoin, compost ou fumier ..) sont appliqués avant le premier passage, et ils sont donc enfouis superficiellement lors du déchaumage.

Dans cet essai, nous avons donc comparé cette pratique alternative au labour conventionnel pour en évaluer l'impact potentiel sur la libéralisation des nitrates dans le sol. Cette étude exploratoire a été réalisée dans le cadre du programme *Innovation technologique* du Plan Vert par le club-conseil *Sols vivants* du Bas-St-Laurent, avec la participation de trois fermes membres.

L'étude comprend deux expériences. En 1995, nous avons évalué l'effet du travail du sol (déchaumage vs labour) sur la minéralisation de l'azote du sol, puis en 1996, nous avons évalué les rendements de la culture de céréales mélangées+pois, ainsi que les nitrates dans le sol. La seconde expérience, effectuée en 1996, a été une répétition de la comparaison entre le déchaumage et le labour conventionnel.

Matériel et méthodes: Généralités pour les deux expériences

Sites et plan d'expérience

L'étude s'est déroulée dans le Bas-St-Laurent, dans les localités de Trois-Pistoles, St-Cyprien et St-Arsène.

Trois fermes pratiquant le déchaumage ont été choisies pour représenter le plus possible l'hétérogénéité des sols du milieu. Le plan d'expérience est un split-plot avec trois réplicats.

Les deux parcelles principales correspondent au deux types de travail du sol (Déchaumage + labour vs labour conventionnel). Chacune de ces parcelles a été divisée en trois sous-parcelles secondaires (15*30 m) représentant les différentes doses de compost.

- a) Témoin sans compost
- b) Simple dose de compost
- c) Double dose de compost

Description d'un bloc (site) en split-plot

témoin	compost 2	compost 1
compost 1	témoin	compost 2

Note: En caractère gras: travail du sol: Labour conventionnel

En caractère pâle: travail du sol: déchaumage + labour

Caractérisation des parcelles

Analyses

Chaque parcelle a été caractérisée de la manière suivante en 1995:

- Analyse chimique standard.
- Analyse granulométrique.

Chaque site d'essai a été caractérisé pour la qualité de la matière organique selon l'analyse du C.D.A. (Centre de Développement d'Agrobiologie de Warwick).

En 1996, les parcelles des trois nouveaux sites consacrés à l'essai de déchaumage, ont été caractérisées par une analyse chimique standard et une analyse granulométrique.

Nitrates du sol

Dans la première expérience, le suivi des nitrates du sol en 1995 a été réalisé au printemps, après le deuxième passage de déchaumage et à l'automne après le labour. En 1996, dans la culture de céréales mélangées+pois, l'échantillonnage des nitrates a été réalisé au printemps avant le travail superficiel du sol, après le semis, en juillet et à la récolte. Dans la seconde expérience, les nitrates ont été évalués au printemps et après chaque travail du sol.

Rendements et azote total dans les tissus végétaux

L'évaluation des rendements en 1996 (paille et grains) a été réalisée selon la méthode de la R.A.A.Q. (Régie des Assurances Agricoles du Québec), à raison de 3 quadrats d'1 m²/parcelle. Les résultats de récolte sont exprimés sur une base de 100% de m.s. Pour l'évaluation du rendement en paille, 1 ou 2 échantillons supplémentaires/parcelle ont été récoltés. Il est à noter que cette biomasse intègre les mauvaises herbes, ce qui surestime la production de paille réelle.

Les parcelles témoin nous ont servi pour évaluer la quantité d'azote provenant de la minéralisation de la matière organique du sol. Pour ce faire, nous avons procédé à des analyses d'azote total du grain et de la paille lors de la récolte. Les analyses ont été réalisées par les services de laboratoire du MAPAQ. Les classes texturales du sol ont été établies à partir de la grille utilisée par le service des sols du MAPAQ (Tabi et al. 1990). Lors de la saison de végétation, plusieurs visites du site ont été faites pour l'évaluation qualitative des mauvaises herbes et l'observation d'éventuels incidents de parcours technique ou climatiques.

Formules utilisées

L'estimation des nitrates a été effectuée en utilisant la formule suivante:

$$N-N_0_3 \text{ (kg/ha)} = N-N_0_3 \text{ (ppm)} * D * H/10$$

D= Densité apparente du sol (g/cm³)

H = Epaisseur de la couche échantillonnée (20 cm)

Dans notre cas, nous avons pris une densité apparente moyenne de 1.2g/cm³.

Transformation N-NO₃ (ppm) en N-NO₃ (kg/ha): $1 \text{ ppm} = 0.2 \text{ m} * 1200 \text{ kg/m}^3 * 10\,000 \text{ m}^2/\text{ha} / 1 * 10^6 = 2.4 \text{ kg/ha}$

Calcul de la fourniture d'azote du sol: N total dans les tissus (100% m.s.) + N du sol résiduel à la récolte - N du sol présent avant semis.

Pour l'évaluation du taux de minéralisation des sol, nous avons considéré la minéralisation durant la saison de croissance des cultures des différents essais.

Analyses statistiques

Les résultats ont été analysés statistiquement (SAS 1985) par des analyses de variance (ANOVA). Un test de comparaisons multiples de moyennes de type Duncan a été réalisé à la suite de chaque analyse significative à un seuil de $p < 0.05$, ou $p < 0.1$ pour certaines données.

Expérience 1) La destruction d'une prairie: Déchaumage + labour versus labour conventionnel (1995) et suivi de la culture (1996)

Méthodologie spécifique

Trois sites ont été retenus pour cette expérience (Tableau 1.1)

Tableau 1.1

Localisation des sites et description sommaire

LOCALITES		TYPES DE SOL	Outils de travail du sol
Trois-Pistoles	Bloc 1	Loam sableux	Cultivateur lourd
St-Cyprien	Bloc 2	Loam	Offset
St-Arsène	Bloc 3	Loam argileux	Chisel

Les parcelles étaient en prairie en 1995, puis en céréales mélangées en 1996. En 1996, les 2 parties correspondant au travail du sol: labour vs déchaumage+labour ont été de nouveau divisées en 3 sous-parcelles correspondant aux traitements de fertilisation à base de compost afin d'en évaluer le rendement. Aucune fertilisation complémentaire n'a été faite en 1996.

Les prairies âgées de 4-5 ans étaient à dominance de graminées avec un pourcentage de légumineuses inférieur à 30% (prédominance de trèfle rouge et un peu de luzerne). Une première coupe de fourrage a été réalisée avant le déchaumage. Les analyses de sol du printemps ont été effectuées le 25 mai. Les nitrates du sol ont également été évalués après deux passages de déchaumage (blocs 1 et 2) et 3 passages (bloc 3), ainsi qu'après le labour, le 1^{er} novembre (Tableau 1.2). Les dates et les doses d'épandage de compost pour chaque site sont données au tableau 1.3.

Tableau 1.2

Dates des travaux du sol et de l'échantillonnage des nitrates, ainsi que la température du sol dans les 10 premiers cm de sol lors de l'échantillonnage en 1995.

Blocs	N1			N2			N3		
	Dates		T sol(°C)	Dates		T sol(°C)	Dates		T sol(°C)
	Trav.	Ech.		Trav.	Ech.		Trav.	Ech.	
1		25/5		28/9	3/10	11 à 12	25/10	1/11	0 à 3
2		25/5		15/8	5/9	14.5 à 16	5/10	1/11	-1 à 3
3		25/5		15/8	26/9	9 à 11	15/10	1/11	-1 à 3

Légende:

N1 = Nitrates du sol au printemps

N2 = Nitrates du sol après 2 ou 3 passages de déchaumage

N3 = Nitrates du sol après le labour

Dates: Trav. (Travail du sol); Ech. (Echantillonnage des nitrates)

T sol (°C): Température du sol à la date d'échantillonnage des nitrates du sol

Tableau 1.3

Doses de compost appliquées et analyse du compost pour chaque site (MAPAQ 1995)

Blocs/date d'épandage	Doses de compost (t/ha)		Analyse des composts (kg/t)	P ₂ O ₅	K ₂ O	Apports des composts selon les coefficients de perte (kg/ha)		
	1 = simple dose	2 = double dose				N total	P ₂ O ₅	K ₂ O
1/ 10-8-95	1	7	5.21	3.37	4.67	11	10	21
	2	14				22	20	42
2/ 20-7-95	1	13.5	6.71	5.24	3.92	28	28	43
	2	27				56	56	86
3/ 9-8-95	1	9	5.75	5.98	5.04	16	22	37
	2	18				32	44	74

Caractérisation des sites

Les trois blocs sont de classes texturales différentes (Tableaux 1.1 et 1.4), ce qui nous permet d'observer les résultats de la minéralisation en fonction de ce facteur important.

Tableau 1.4

Moyennes des propriétés granulométriques des différents sites pour les différents traitements au printemps 1995. Dans les colonnes, les moyennes dont les lettres diffèrent sont différentes à $p < 0.05$ (test Duncan),

Blocs	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)
1	54.5 a	31.8 a	13.7 b
2	51.2 a	33.8 a	15 b
3	35.6 b	30.2 a	34.4 a

En partie à cause des différences texturales entre les trois sites, les résultats d'analyse des caractéristiques édaphiques accusent souvent un effet bloc significatif (Tableau 1.5), le loam argileux se démarquant souvent des sols à texture plus légère.

Tableau 1.5

Moyennes des propriétés des différents sites pour les différents traitements au printemps 1995. Dans les colonnes, les moyennes dont les lettres diffèrent sont différentes à $p < 0.05$ (test Duncan),

Blocs	pH	M0(%)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)	Al (ppm)	C.E.C
1	5.8 b	6.5 b	63 a	87 b	2746 b	91 b	1022 a	16.62b
2	6 ab	5.9 b	65 a	71 b	3061 b	56 c	1019 a	16.12 b
3	6.3 a	9.5 a	63 a	234 a	5090 a	688 a	854 b	20.93 a

Les analyses de la matière organique totale du sol par le C.D.A. ne démontrent pas autant de différences entre les blocs que celles du MAPAQ (Tableau 1.6).

Tableau 1.6

Analyses de la qualité de la matière organique du sol des différents sites (C.D.A.1995)

Blocs	M.O.T (%)	M.O.A (%)	M.O.S (%)
1	4.4	1.0	99
2	4.7	1.0	99
3	5.5	1.0	99

Légende:

C.D.A. : Centre de Développement d'Agrobiologie

M.OT: Matière organique Totale (Walkley & Black)

M.O.A: Matière organique Active (facilement minéralisable)

M.O.S: Matière organique Stable (lentement minéralisable)

Le tableau 1.7 donne une approximation de la quantité d'azote d'origine humique que le sol de chaque site peut rendre disponible.

Tableau 1.7

Quantité d'azote théoriquement disponible en provenance de la minéralisation de l'humus.

Type de sol	Masse de sol (t/ha)*	Taux de matière organique (%)	Masse d'humus (t/ha)	Quantité d'azote organique (kgN/ha) **	Minéralisation nette (kgN/ha)***
Loam sablonneux	2700	4.4	118.8	5940	39.6
Loam	2600	4.7	122.2	6110	40.7
Loam Argileux	2500	5.5	137.5	6875	45.8
Moyenne	2600	4.87	126.2	6308	42.0

* Pour une profondeur de 20 cm.

** En considérant que l'humus contient 5% d'azote.

*** En considérant 1% de minéralisation (M.O.A.) (6 mois de minéralisation et 4 mois de prélèvement par la plante)

Cette minéralisation nette de l'humus du sol représente plus de la moitié des besoins azotés d'une culture d'orge selon les recommandations du CPVQ.

Résultats

Les différences dans la minéralisation des sols entre les blocs se reflètent aux trois périodes d'échantillonnage (Tableau 1.8). Le site argileux se démarque significativement des sites au sol à texture plus légère, particulièrement après le labour.

Tableau 1.8

Moyennes des analyses de nitrates des différents sites pour les différents traitements au cours de la saison 1995. Dans les colonnes, les moyennes dont les lettres diffèrent sont différentes à $p < 0.05$ (test Duncan),

Blocs	Texture	N1 (kg/ha)	N2 (kg/ha)	N3 (kg/ha)
1	Loam sableux	15.7 b	11.2 c	18.6 b
2	Loam	13.00 b	14.1 b	22.0 b
3	Loam argileux	24.9 a	18.2 a	32.7 a

Légende:

N1 = Nitrates du sol au printemps

N2 = Nitrates du sol après 2 ou 3 passages de déchaumage

N3 = Nitrates du sol après le labour (échantillonnage le 1-11-95)

Les taux de nitrates du sol selon les deux types de travail du sol sont présentés au tableau 1.9.

Tableau 1.9

Moyennes des analyses de nitrates en fonction des traitements du travail du sol (0 = labour; 1 = déchaumage + labour) pour chaque traitement de fertilisation. Les résultats en caractères italiques sont significatifs

Traitements	N1 (kg/ha)		N2 (kg/ha)		N3 (kg/ha)	
Travail du sol	0	1	0	1	0	1
Compost						
témoin	15.9 a	17.3 a	6.3 a	20.7 a	<i>13.6b</i>	<i>27.5a</i>
simple dose	21.9 a	17.5 a	8.6 a	20.9 a	<i>13.4b</i>	<i>40.67a</i>
double dose	16.7 a	17.9 a	7.7 a	22.6 a	<i>9.1b</i>	<i>42.3a</i>

Légende:

N1 = Nitrates du sol au printemps (en prairie et avant épandage du compost)

N2 = Nitrates du sol après 2 ou 3 passages de déchaumage

N3 = Nitrates du sol après le labour (échantillonnage 1-11-95)

Les résultats du printemps (N1) ne présentent pas de différence significative entre les parcelles, lesquelles étaient encore en prairie. Les taux de nitrates après 2 ou 3 passages de déchaumage (N2) ne sont pas statistiquement significatifs malgré une différence d'environ 14 kg N₀₃-N entre la partie déchaumée et la partie en prairie. L'échantillonnage après le labour (N3) démontre une différence significative des taux de nitrates du sol entre les deux types de travail du sol. Ces quantités sont importantes en fin de saison, et ce malgré l'état de sécheresse qui a prévalu au cours de la saison. Le tableau 1 de l'annexe 1 nous indique que par rapport à 1994, le cumul de pluie a été déficient de juin à fin septembre, mais qu'en octobre le cumul des précipitations a été supérieur en 1995. Ces conditions ont stimulé la minéralisation du compost comme le démontre les analyses statistiques, par une interaction "Sol*Compost" significative.

Suivi de la culture en 1996**Méthodologie et caractérisations spécifiques**

En 1996, nous avons procédé à 4 analyses de nitrates des sols (Tableau 1.10) qui correspondent aux périodes suivantes: Au printemps avant le travail du sol (N1), après le semis (N2), en juillet (N3) et à la récolte (N4).

Tableau 1.10

Date de l'échantillonnage des nitrates du sol , ainsi que la température du sol dans les 10 premiers cm de sol.

Blocs	N1		N2		N3		N4	
	Date	T sol(°C)						
1	16-5	5	9-6	20	2-7	20	4-9	13.5
2	16-5	7	9-6	14	2-7	16	6-9	15
3	16-5	4.5	9-6	15	2-7	20	17-9	10

Légende:

N1 = Nitrates du sol au printemps, avant travail du sol

N2 = Nitrates du sol après le semis

N3 = Nitrates du sol en juillet

N4 = Nitrates du sol à la récolte (estimation de la biomasse avant récolte du producteur)

T sol (°C): Température du sol à la date d'échantillonnage des nitrates du sol

Tableau 1.11

Dates et pratiques culturales des producteurs

Blocs	Date semis	Date récolte	Mélange céréaliier (%)	Dose semis (kg/ha)	Herbicide/date
1	28-5	19-9	Avoine-blé-orge-pois (25)	170	MCPA 500 /17-6
2	28-5	6-10	Avoine-blé-orge-pois (25)	135	non
3	3-6	17-10	Avoine(40)-blé(25)-orge(10)-pois(20)-sarrasin(5)	145	non

La présence des mauvaises herbes a nécessité un arrosage dans le bloc 1.

État des mauvaises herbes et des cultures selon les blocs

Blocs	Mauvaises herbes	Commentaires
1	Ortie, moutarde, liseron pissenlit, chiendent	Verse
2	Ortie, chénopode, liseron pissenlit, chiendent, herbe à dinde	Verse, sauf dans témoins Orties souvent en sous-étage
3	Ortie, chénopode, moutarde pissenlit, chiendent	Pas de verse. Problème de charbon dans l'avoine

De manière qualitative, les faits suivants ont été constatés:

-Il y avait moins de vivaces dans les parcelles déchaumées, et plus de repousses de chiendent dans les parcelles labourées.

- Les résidus de prairie étaient moins défaits dans les parcelles labourées, et le mélange des résidus de prairie avec la terre était plutôt assez bien homogène dans les parcelles qui avaient été déchaumées.

Résultats

Les résultats d'analyse des données pour les blocs sont présentés dans le tableau 1.12. Le taux de nitrate avant travail du sol au printemps est significatif, et caractérise le potentiel de minéralisation plus grand du loam argileux. Cette même tendance se manifeste au début juillet, mais pas après le semis ni à la récolte. Le mois de juin a été marqué par un léger déficit des précipitations par rapport à 1995, alors qu'en juillet la relation était inverse (Annexe 1, Tableau 1).

Tableau 1.12

Moyennes des analyses de nitrates des sols, de l'azote totale de la biomasse et des rendements des différents sites pour les différents traitements au cours de la saison 1996. Dans les colonnes, les moyennes dont les lettres diffèrent sont différentes à $p < 0.05$ (test Duncan),

Blocs	Texture	N1 (kg/ha)	N2 (kg/ha)	N3 (kg/ha)	N4 (kg/ha)	NG (%)	NP (%)	RG (t/ha)	RP (t/ha)
1	Loam sableux	24.5 b	48.0 a	30.8 b	12.0 a	2.55 a	1.57 a	3.182 a	3.368 a
2	Loam	31.0 b	49.6 a	33.5 b	9.8 a	2.13 b	1.03 b	3.252 a	3.266 a
3	Loam argileux	58.6 a	51.4 a	68.2 a	13.2 a	1.97 b	0.94 b	2.264 b	1.813 b

Légende:

N1 = Nitrates du sol au printemps, avant travail du sol

N2 = Nitrates du sol après le semis

N3 = Nitrates du sol en juillet

N4 = Nitrates du sol à la récolte

NG = N total dans les grains

NP = N total dans la paille

RG = Rendement en grains

RP = Rendement en paille

Le potentiel de minéralisation du loam argileux ne s'est pas exprimé ni dans la teneur en azote total dans les tissus végétaux, ni dans les rendements (Tableau 1.12).

Les taux de nitrates du sol selon les deux types de travail du sol sont présentés au tableau 1.13. Le taux de nitrates au printemps avant travail du sol est significatif à $P < 0.1$, ainsi que l'interaction travail du sol*compost. Le déchaumage semble accentuer la minéralisation de l'azote organique contenu dans les composts. On constate aussi une légère tendance à une minéralisation supérieure au printemps après semis (N2) dans les parcelles qui ont été déchaumées. L'azote résiduel du sol à la récolte reste assez faible et peut être expliqué par un mois d'août marqué par une sécheresse supérieure à 1995 (Annexe 1, Tableau 1).

Tableau 1.13

Moyennes des analyses de nitrates en fonction des traitements du travail du sol (0 = labour; 1= déchaumage + labour) et des doses de compost

Traitements	N1 (kg/ha)		N2 (kg/ha)		N3 (kg/ha)		N4 (kg/ha)	
	0	1	0	1	0	1	0	1
Compost								
témoin	31.0 b	41.1 a	47.8	44.5	49.4	48.4	11.2	11.6
simple dose	34.8 b	44.3 a	47.1	53.8	47.4	40.1	11.3	11.2
double dose	26.8 b	50.5 a	44.9	59.8	39.6	40.0	8.9	15.8

Note: N1: Effet traitement significatif à $P < 0.1$

Les analyses statistiques n'ont pas révélé de différences significatives dans les teneurs d'azote total dans les tissus, bien que ces valeurs soit légèrement supérieures dans les parcelles travaillées par le labour conventionnel (Tableau 1.14). Le témoin labouré conventionnellement a donné le meilleur rendement, mais l'analyse statistique n'est pas significative. L'apport de compost semble être un peu plus valorisé par le déchaumage. Seule une différence significative a été trouvée dans le rendement en paille, à l'avantage du labour conventionnel. Il faut cependant préciser que la paille n'a pas été séparée des mauvaises herbes.

Tableau 1.14

Moyennes des analyses d'azote total de la biomasse et des rendements en grains et en paille en fonction des traitements du travail du sol (0 = labour; 1= déchaumage + labour) et des doses de compost.

Traitements	NG (%)		NP (%)		RGrain (t/ha)		RPaille (t/ha)	
	0	1	0	1	0	1	0	1
Compost								
témoin	2.39	2.15	1.16	1.16	3.170	2.878	2.671 a	2.501 b
simple dose	2.12	2.12	1.22	1.13	2.682	2.948	3.534 a	2.621 b
double dose	2.39	2.14	1.3	1.13	2.666	3.056	3.039 a	2.527 b

Note: RP: Effet traitement significatif à $P < 0.05$

Les rendements relatifs sont présentés au tableau 1.15. Il semble ainsi que le labour qui conserve les résidus de prairie et ne les met en circulation qu'au printemps par le travail superficiel, permet une intense minéralisation au cours de la saison de croissance, tout du moins dans le témoin. Par contre, le déchaumage semble valoriser davantage l'apport de compost.

Tableau 1.15

Rendements relatifs pour la saison 1996 pour un même type de travail du sol.

Traitements	Grains (%)		Paille (%)		Biomasse totale (%)	
	0	1	0	1	0	1
Compost						
témoin	100.0	94.0	75.5	95.0	94.0	96.0
simple dose	85.0	96.5	100.0	100.0	100.0	99.7
double dose	84.0	100.0	86.0	96.4	92.0	100.0

Le tableau 1.16 présente la teneur en azote total des tissus végétaux. Le labour conventionnel semble avoir davantage accentué la disponibilité de l'azote du sol.

Tableau 1.16

Quantités d'azote total prélevées par la culture en fonction des traitements, lors de la saison 1996.

Traitements	N total: grain (KgN/ha)		N total: paille (KgN/ha)		N total: biomasse totale (kgN/ha)	
	0	1	0	1	0	1
Travail du sol						
Compost						
témoin	75.8	61.9	31.0	29.0	106.8	90.9
simple dose	56.9	62.5	43.1	29.6	100.0	92.1
double dose	63.7	65.4	39.5	28.6	103.2	94.0

Par les données du tableau 1.17, le taux de la minéralisation de la matière organique du sol peut être estimé.

Tableau 1.17

Données pour le calcul de l'azote dérivé de la minéralisation de la matière organique:

Traitements	N total: biomasse totale (kgN/ha)		kgN/ha du sol au printemps		kgN/ha du sol à la récolte	
	0	1	0	1	0	1
Travail du sol						
Compost						
témoin	106.8	90.9	31.0	41.1	11.2	11.6

A partir des parcelles témoin, l'azote dérivé de la minéralisation de la matière organique correspond donc aux données suivantes:

Pour le labour conventionnel: $87.09 \text{ kg N/ha} ((106.8 - 31.0) + 11.2 \text{ kg N/ha})$, ce qui représente un taux de minéralisation durant la saison de croissance de: 1.38% ($87.09 \text{ kgN}/6308 \text{ kg N}$ organique en réserve dans le sol).

Pour le déchaumage: $61.4 \text{ kg N/ha} ((90.9 - 41.1) + 11.6 \text{ kgN/ha})$, ce qui représente un taux de minéralisation durant la saison de croissance de: 0.97% ($61.4 \text{ kgN}/6308 \text{ kg N}$ organique en réserve dans le sol).

Si l'on considère l'apport de la minéralisation de la matière organique, le déchaumage semble donc valoriser un peu mieux l'apport de compost (Tableau 1.18)

Tableau 1.18

Différences théoriques liées à l'apport du compost

Traitements	N total: biomasse totale (kgN/ha) ¹		Minéralisation de la matière organique (kgN/ha) ²		Différence théorique liée à l'apport du compost	
	0	1	0	1	0	1
Travail du sol						
Compost						
simple dose	100.0	92.1	87.09	61.4	12.91	30.7
double dose	103.2	94.0	87.09	61.4	16.11	32.6

Légende: ¹ voir Tableau 1.16, ² voir calculs faits à partir du tableau 1.17

Expérience 2) La destruction d'une prairie: déchaumage + labour versus labour conventionnel en 1996

Méthodologie spécifique

Trois nouveaux sites mais sur les mêmes fermes ont été retenus pour cette expérience (Tableau 2.1)
Le labour a été réalisé entre le 10 et le 22 octobre.

Tableau 2.1

Localisation des sites et description sommaire

LOCALITES		Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	Types de sol	Outils de travail du sol
Trois-Pistoles	Bloc 1	61.8a	24.5	13.7 b	Loam sableux	Cultivateur lourd
St-Cyprien	Bloc 2	55.0 a	31.0	14.0 b	Loam sableux	Offset
St-Arsène	Bloc 3	45.0 b	28.0	27.0 a	Loam argileux	Chisel

Les prairies âgées de 4-5 ans étaient à dominance de graminées avec un pourcentage de légumineuses inférieur à 30% (prédominance de trèfle rouge et un peu de luzerne). Une première coupe de fourrage a été réalisée avant le déchaumage. Les analyses de sol du printemps ont été effectuées le 31 mai. Les nitrates du sol ont également été évalués après un et deux passages de déchaumage, ainsi qu'après le labour, le 28 octobre (Tableau 2.2). Les dates et les doses d'épandage de compost pour chaque site sont données au tableau 2.3.

Tableau 2.2

Dates des travaux du sol et de l'échantillonnage des nitrates, ainsi que la température du sol dans les 10 premiers cm de sol lors de l'échantillonnage en 1996.

Blocs	N1		N2		N3		N4	
	Date	T sol(°C)	Date	T sol(°C)	Date	T sol(°C)	Date	T sol(°C)
1	31-5	11.5	19-8	18-20	23-9	10	28-10	4.5
2	31-5	7.5	4-9	12.5	20-9	10	28-10	3.5
3	31-5	9	4-9	13	22-9	8.5	28-10	5

Légende:

N1 = Nitrates du sol au printemps

N2 = Nitrates du sol après 1er passage de déchaumage

N3 = Nitrates du sol après 2ème passage de déchaumage

N4 = Nitrates après labour (28-10-96)

Dates: Echantillonnage des nitrates

T sol (°C): Température du sol à la date d'échantillonnage des nitrates du sol

Tableau 2.3

Doses de compost appliqué et analyse du compost pour chaque site (MAPAQ 1996)

Blocs/date d'épandage	Doses de compost (t/ha)		Analyse des composts (kg/t)		
	1 = simple dose 2 = double dose		N total	P ₂ O ₅	K ₂ O
1/ 13-8-96	1	15.6	8.13	4.17	5.83
	2	31.2			
2/ 19-8-96	1	9.8	4.43	3.85	4.50
	2	19.6			
3/ 13-8-96	1	7	3.77	4.21	3.95
	2	14			

Les trois blocs sont de classes texturales différentes (Tableaux 2.1), ce qui nous permet d'observer les résultats de la minéralisation en fonction de ce facteur important. En partie à cause des différences texturales entre les trois sites, les résultats d'analyse des caractéristiques édaphiques accusent souvent un effet bloc significatif (Tableau 2.4), le loam argileux se démarquant souvent des sols à texture plus légère.

Tableau 2.4

Moyennes des propriétés chimiques des différents sites pour les différents traitements au printemps 1996. Dans les colonnes, les moyennes dont les lettres diffèrent sont différentes à $p < 0.05$ (test Duncan),

Blocs	pH	M0(%)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)	Al (ppm)	C.E.C
1	5.95 b	5.45 b	59 a	67 b	2376 b	30 b	1033 a	14.34 b
2	6.48 a	5.55 b	51 a	79 b	3655 b	46 b	961 a	14.42 b
3	6.92 a	18 a	70 a	156 a	8642 a	643 a	822 b	27.26 a

Résultats

Les différences dans la minéralisation des sols entre les blocs se reflètent aux quatre périodes d'échantillonnage (Tableau 2.5). Le site argileux s'est démarqué moins des sites au sol à texture plus légère qu'en 1995

Tableau 2.5

Moyennes des analyses de nitrates des différents sites pour les différents traitements au cours de la saison 1996.

Blocs	Texture	N1 (kg/ha)	N2 (kg/ha)	N3 (kg/ha)	N4 (kg/ha)
1	Loam sableux	2.9	4.6	13.6	14.9
2	Loam sableux	7.5	21.4	1.4	4.1
3	Loam argileux	9.2	8.3	23.4	21.0

Légende:

N1 = Nitrates du sol au printemps (en prairie)

N2 = Nitrates du sol après 1er passage de déchaumage

N3 = Nitrates du sol après 2ème passage de déchaumage

N4 = Nitrates après labour (28-10-96)

Les taux de nitrates du sol selon les deux types de travail du sol sont présentés au tableau 2.6.

Tableau 2.6

Moyennes des analyses de nitrates en fonction des traitements du travail du sol (0 = labour; 1 = déchaumage + labour) et des doses de compost.

Traitements	N1 (kg/ha)		N2 (kg/ha)		N3 (kg/ha)		N4 (kg/ha)	
Travail du sol	0	1	0	1	0	1	0	1
Compost								
témoin	7.4	4.1	10.1	14.8	6.7	15.9	4.7 b	14.5 a
simple dose	11.2	4.8	10.2	10.2	5.5	20.5	4.5 b	32.6 a
double dose	4.9	6.8	12.6	10.8	6.8	21.4	7.4 b	16.4 a

Note: N4, effet travail du sol significatif à $P < 0.1$

Bien que l'analyse statistique ne soit significative que pour le taux d'azote après labour (N4; $P < 0.1$), déjà après le deuxième passage de déchaumage (N3), le niveau d'azote était de 2 à 3 fois supérieur à celui de la partie en prairie.

Discussion

Cet essai démontre clairement que le déchaumage est une pratique qui favorise la minéralisation des résidus de prairie et la matière organique du sol, bien que l'on ne puisse différencier les deux phénomènes. Chamberland (1976) et Lapierre (1976) cités par Tran et al (1992) ont également rapporté des taux de nitrates élevés après retournement de prairies. La mise en culture d'une prairie, le travail du sol et l'apport de chaux sont des opérations qui stimulent l'activité biologique entraînant ainsi une intense minéralisation du sol (N'dayegamiye et Tabi 1989). En 1995, cette libération d'azote était particulièrement significative après le labour dans les parcelles déchaumées, échantillonnées au début novembre. Le travail du sol accroît souvent l'activité des microorganismes ammonificateurs et des nitrificateurs conduisant à une intense nitrification du sol (N'dayegamiye 1991). Les conditions climatiques (la pluviométrie) du mois d'octobre ont favorisé ce « flush » d'azote (Annexe 1, Tableau 1), car les microorganismes du sol sont susceptibles de se développer rapidement ou de disparaître brutalement en relation avec des variations d'humidité du sol (Chamayou et Legros 1989).

L'expérience répétée une deuxième fois en 1996, confirme la libération de l'azote par le déchaumage. Les conditions climatiques de cette année (Annexe 1, Tableau 1) ont fait s'exprimer différemment cet effet de minéralisation, ce qui tend à nous faire croire que la minéralisation de résidus de prairie qui sont facilement minéralisables, est particulièrement dépendante des conditions climatiques. Celles qui ont prévalu en 1995 ont permis un « flush » d'azote lorsque les conditions de sol, tard à l'automne, ont stimulé l'activité biologique, bien plus qu'en 1996.

Par conséquent, le déchaumage qui est aussi un moyen de contrôle des mauvaises herbes vivaces (le chiendent en particulier) devrait être suivi d'un engrais vert ou mieux, d'une culture d'automne (seigle ou blé) pour éponger ces éléments fertilisants qui sinon, risquent de se lessiver à l'automne ou au printemps suivant, lors de la fonte de la neige.

Le suivi de la culture en 1996 a permis de constater que le témoin labouré conventionnellement a donné le meilleur rendement en grains (non significatif), mais le compost a été mieux valorisé (non significatif) dans les parcelles ayant été déchaumées (Tableaux 1.14, 1.18). Il semble ainsi que le labour qui conserve les résidus de prairie et ne les met en circulation qu'au printemps par le travail superficiel du sol, peut permettre une intense minéralisation au cours de la saison de croissance lorsque les conditions climatiques sont favorables. Cependant, le contrôle du chiendent était meilleur dans les parcelles déchaumées.

Le coefficient d'efficacité du compost semble tout de même faible. Hamel (94) avait estimé le coefficient d'efficacité au champ d'un compost appliqué en pré-semis à 35% dans une culture de blé. Dans des essais à long terme, N'dayegamiye et Tabi (1989) ont noté aucune réponse significative à la fertilisation minérale ou organique d'une culture de blé sur retour de prairie, ce que semble confirmer les résultats du témoin sous labour conventionnel (Tableau 1.14). Giroux et Tran (1989) ont démontré l'importance du précédent cultural sur la disponibilité de l'azote à la culture. Les résidus de culture constituent une matière organique labile, donc facilement minéralisable (Leclerc, 1990). Le labour semble favoriser le rendement en paille, mais nous ne pouvons conclure spécifiquement sur cette question puisque nous n'avons pas partagé les mauvaises herbes de la paille dans la biomasse totale.

Cet essai soulève beaucoup de questions. Le déchaumage est une pratique qui mériterait d'être étudiée sur plusieurs années, comme le démontre l'exemple suivant. Il semblerait que par le déchaumage, la minéralisation des résidus de culture et du compost soit accentuée sur plusieurs années. Une ferme de St-Cyprien pratique le déchaumage des prairies depuis au moins 5 ans. Cette opération est suivie d'une culture de céréales mélangées+pois, puis d'une orge grainée, et ce, sans autre fertilisant que l'apport de compost épandu lors du déchaumage. Nous présentons les données de 2 champs qui ont été échantillonnés pour les rendements en 1996. Le champ 1 est en pâturage dans le reste de la rotation. Le sol des deux champs est du type loam sablonneux.

Analyses de sol de 1994

Champs/ données	pH	MO (%)	P ₂ O ₅ (Kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	Ca (kg/ha)	SatCa (%)	Mg (kg/ha)	Al (ppm)	C.E.C.
1	6.1	10	46	85	4517	54.18	89	989	18.6
2	6.2	10.2	37	70	4454	59.78	84	976	16.6

Note: MO = Matière organique; SatCa = Saturation en calcium.

Pratiques culturales

Pratiques/Années	1994		1995		1996	
Culture	1: pâturage déchaumé dans l'été + labour automne 2: prairie déchaumée après la 1ère coupe + labour automne		1 et 2: Céréales mélangées (avoine (20), blé (25), orge (25), pois (30))		Orge grainée	
Champs	1	2	1	2	1	2
Dose de semis			130kg/ha	130kg/ha	105 kg/ha +20 kg/ha plantes fourragères	105 kg/ha +20 kg/ha plantes fourragères
Rendement (kg/ha)*			3500	2750	3995	3959
Compost	20t/ha	20t/ha				
Basalte (3.5% K ₂ O)	700 kg/ha (=25 kg K ₂ O/ha)					
Chaux magnésienne	2.5t/ha	2.5t/ha				
1.95t/ha chaux magnésienne + 1 passage de déchaumage + labour			Après récolte	Après récolte		
Chaux dolomitique (printemps)					1.95t/ha	1.95t/ha

Note: Pas de contrôle des mauvaises herbes.

(*): Méthode de la RAAQ (3 échantillons d'1 m²/champ) pour l'orge grainée 1996; Estimation du producteur pour céréales mélangées en 1995.

Avec une seule fertilisation organique pour deux ans de culture de céréales, les rendements ont été très acceptables pour la région. Le rendement réel au système collectif (RAAQ) pour l'orge en 1995 était de 1911 kg/ha.

Conclusion

Les essais de déchaumage d'une prairie démontrent assez clairement la mise en disponibilité de l'azote par un travail intense du sol, même tard à l'automne lorsque les conditions climatiques sont favorables à la minéralisation. Le semis d'une culture d'automne ou d'un engrais vert après le déchaumage semble donc nécessaire pour éponger cet azote et limiter ainsi son lessivage dans l'environnement et ce, d'autant plus qu'il n'y a pas forcément un effet positif sur le rendement en grains comparativement au labour conventionnel en première année de culture de céréales. Puisqu'en agriculture biologique le déchaumage

visé à atteindre deux objectifs, un mélange homogène des résidus de prairie avec le sol pour permettre une meilleure minéralisation pour la culture de céréales, et le contrôle du chiendent, l'agriculteur est donc face à un dilemme s'il est impossible de semer un engrais vert après le déchaumage, comme cela semble souvent être le cas dans les régions périphériques comme le Bas-St-Laurent.

Cette étude mériterait d'être approfondie à moyen terme sur l'ensemble d'une rotation, car si nous voulons vraiment trouver des alternatives écologiques il faut intégrer toutes les composantes du parcours technique des pratiques agricoles comparées, en tenant compte du contrôle des mauvaises herbes, du potentiel de lessivage des nitrates, des questions énergétiques, du travail, de l'économie, etc.

Bien que les données de cette étude soient limitées (durée, hétérogénéité des sites, analyses statistiques pas toujours concluantes), nous pouvons néanmoins suggérer quelques recommandations à valider sur le terrain, pour ainsi réduire les dangers potentiels de lessivage de nitrates associés au déchaumage.

- La fertilisation azotée organique ou minérale en première année de céréales après retour de prairie devrait être nulle ou minimum.

- Le déchaumage avec ou sans apport d'engrais organiques devrait être suivi d'un engrais vert ou d'une culture d'automne.

- Un labour droit plutôt que couché devrait permettre un travail plus efficace au printemps pour améliorer le mélange homogène des résidus de prairie avec le sol.

- D'autres pratiques que le déchaumage ou des variantes devraient être expérimentées:

- Un labour, travail superficiel agressif et semis d'une céréale d'automne comme première année de céréales. La deuxième année de céréales permettra d'améliorer le mélange homogène des résidus de prairie avec le sol.

- Un passage de déchaumage agressif, semis d'un engrais vert étouffant et gélif (sarrasin, seigle de printemps..) avec un semoir de semis direct, labour d'automne tardif.

Recommandations générales pour la recherche à la ferme

Dans les expériences à la ferme, l'hétérogénéité est un phénomène difficile à contrôler malgré le choix du dispositif expérimental. Dans notre étude, l'hétérogénéité venait en partie de la culture des céréales mélangées. Que ce soit le rendement ou le taux d'azote total dans les tissus végétaux, ils ont été influencés par la variabilité de la composition du mélange céréales/pois. Il est donc primordial d'utiliser une culture de céréale pure pour diminuer ce type de variabilité. De plus, lorsque l'on veut évaluer l'azote total dans les tissus pour le ratio grains/paille, il serait important de partager la paille des mauvaises herbes, opération requérant davantage de travail.

Un autre aspect de l'hétérogénéité est la variabilité du sol dans l'espace et dans le temps. Une forte hétérogénéité de la répartition de l'azote nitrique nécessite de multiplier les points de sondage pour constituer un prélèvement représentatif (Morel 1989). Dans une étude française, 9 points de sondage donnaient 23% d'incertitude sur la moyenne, 16 points (16%) et 25 points de sondage (12%).

Il serait aussi important de concevoir un dispositif expérimental qui permette d'utiliser très facilement la machinerie de la ferme, comme par exemple un système en bandes de la longueur du champ, comparant deux traitements avec plusieurs réplicats.

Pour contribuer à l'élaboration d'un système de références techniques régionales sur la minéralisation de la matière organique, il serait important d'encourager l'établissement d'un réseau de parcelles témoin qui reflètent la variabilité des types de sol et des cultures. A moyen terme, les résultats

permettront de contribuer à une fertilisation plus optimale que ce soit à partir des engrais de ferme ou des engrais minéraux, et cela au grand bénéfice de l'environnement et de l'entreprise agricole.

Comme il semble qu'avec l'utilisation du fumier, on constate une diminution de l'effet de l'engrais minéral sur la récolte (N'dayegamiye et Tabi (1989), des essais de fertilisation sont nécessaires pour déterminer la dose du complément minéral éventuel et le stade phénologique de la plante le plus approprié à l'épandage de l'engrais.

Remerciements: je tiens à remercier les producteurs pour leur coopération dans le cadre de cette étude. Serge D'Amours de Trois-Pistoles, Jean-Yves Richard de St-Cyprien et Gilles Roy de de St-Arsène, ainsi que Régis Denis et Geneviève Lemire de St-Cyprien pour les données complémentaires.

Bibliographie

Chamayou, H. et J.P. Legros. 1989. Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science des sols. PUF. France. 593 p.

Giroux, M. et Tran, T.S. 1989. La fertilisation azotée intégrée des céréales. Agrosol (octobre): 19-26.

Hamel, C. 1994. La production de blé à partir d'engrais de ferme. Rapport d'étape.

Leclerc, B. 1990. Gère l'azote, l'azote t'aidera. Agricultures actualités. No 8:14-17.

Morel, R. 1989. Les sols cultivés. Lavoisier, France.373 p.

N'dayegamiye, A. et Tabi, M. 1989. Effet à long terme de la fertilisation minérale et organique sur la productivité des sols, en monoculture et rotation. Agrosol (octobre): 12-18.

N'dayegamiye, A. 1991. Comment maintenir l'équilibre biologique des sols. Agrosol, Vol. (4) no 2: 16-20.

SAS Institute Inc. 1985. Cary. North Carolina. USA.

Tabi, M., L. Tardif, D. Carrier, G. Laflamme et M. Rompré. 1990. Inventaires des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec. Rapport synthèse. MAPAQ.

Tran, T.S., M. Giroux et A. N'dayegamiye. 1992. Utilisation rationnelle des fumures azotées minérales: Aspects agronomiques et environnementaux. Agrosol, Vol. (5) no 2:12-19.

Annexe 1

Tableau 1

Températures mensuelles moyennes et cumul mensuel des précipitations dans la région de Rivière du Loup pour les années 1994 -1996

Mois	Température journalière (°c) moyenne			Cumul des précipitations (mm)		
	1994	1995	1996	1994	1995	1996
MAI	n.d.	8.9	8.0	n.d.	84.2	170
JUIN	16.3	16.6	15.7	141	44.4	34.5
JUILLET	18.1	20.2	16.3	90	45	235.8
AOÛT	16.1	18	17.4	67.4	54.8	39.9
SEPTEMBRE	11.1	10.9	11.6	108.4	65.9	120.1
OCTOBRE	7.6	7.3	5.4	25.8	90.9	77.6
NOVEMBRE (5 premiers jours)	4.4	-0.7	n.d.	87.4	14.1	n.d.

Légende: n.d. = non disponible

