

Impacts sur les propriétés du sol, les cultures et l'environnement

Module 2 – Travail du sol
FEUILLET 2-F

Introduction	1
Impacts sur les propriétés du sol	1
Matière organique	2
Activité biologique	3
Température du sol	4
Fertilité	5
Structure du sol	6
Profil du sol	7
Impacts sur les cultures	9
Développement des cultures	9
Rendement des cultures	9
Impacts sur l'environnement	10
Ruissellement et érosion	10
Lessivage	11
Pour en savoir plus	12

Introduction

Ce feuillet vise à mieux faire connaître les avantages et les inconvénients de chacun des principaux types de travail du sol, à savoir **le travail conventionnel, le travail réduit, le semis direct et la culture sur billons**⁽¹⁾. Il présente leurs impacts sur les propriétés du sol, les cultures et l'environnement.

Impacts sur les propriétés du sol

Le travail du sol a des impacts sur ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Plus particulièrement, il affecte :

- sa densité (compaction) ;
- son aération ;
- sa température ;
- son activité biologique ;
- sa teneur en matière organique ;
- sa structure ;
- sa fertilité.

1. Le lecteur trouvera davantage d'information sur ces systèmes de travail du sol en consultant les feuillets du **module 2** spécifiques à chacun d'eux.



Qu'entend-on par « propriétés du sol » ?

Les propriétés du sol influencent directement la croissance et le rendement des cultures. On distingue les propriétés physiques, chimiques et biologiques. Le tableau ci-dessous présente les principaux éléments et caractéristiques du sol associés à chacune d'elles.

Propriétés physiques	Texture (minéralogie), structure, eau du sol (disponibilité et mobilité), porosité (aération), température, couleur.	
Propriétés physiques et chimiques	Matière organique	<ul style="list-style-type: none">• Réserve d'azote et d'autres éléments nutritifs pour les plantes• Réserve de nourriture pour la microfaune et la microflore du sol.• Maintien de la structure du sol.
Propriétés chimiques	Disponibilité des éléments nutritifs	<ul style="list-style-type: none">• La réaction du sol (pH).• La teneur en éléments nutritifs (majeurs, secondaires et mineurs) totaux et disponibles.• Capacité d'échange cationique (CEC).
Propriétés biologiques	Vie microbienne	<ul style="list-style-type: none">• Recyclage de la matière organique et des éléments nutritifs.• Symbiose (ex. : bactéries fixatrices d'azote et mycorhizes).

Les systèmes de travail du sol qui minimisent l'enfouissement de résidus favorisent l'accroissement de la teneur en matière organique de la couche de sol près de la surface

ENVIROSOL

Matière organique



Le type de travail du sol a un **effet important sur la distribution verticale de la matière organique dans le profil**. Ainsi, le labour profond conduit à une homogénéisation de la matière organique et, donc, à une réduction de sa teneur dans la couche de surface de sol. Il tend aussi à accélérer la décomposition microbienne de la matière organique en favorisant l'aération du sol et le bris des agrégats. Les systèmes de travail du sol minimisant l'enfouissement des résidus favorisent, quant à eux, l'accroissement de la teneur en matière organique dans les premiers centimètres près de la surface. Cette accumulation de matière organique dans la couche superficielle ou à la surface du sol a une incidence directe sur l'état biologique et physique de cette couche. Les principaux impacts du travail du sol sur la matière organique peuvent être résumés ainsi.

Pour le travail conventionnel

Le labour avec une charrue à versoirs entraîne un retournement de la couche superficielle de sol. Les impacts sont :

- des résidus de culture placés en profondeur ;
- une baisse de la teneur en matière organique du sol en surface et dans le profil labouré ;
- une homogénéisation de la teneur en matière organique de la couche labourée après plusieurs années d'utilisation du labour.

Pour le travail réduit, le semis direct et la culture sur billons

- Accroissement de la teneur en matière organique dans les premiers centimètres de sol.

Travail réduit du sol à l'aide d'un chisel

Coopérative fédérée de Québec (White)



Kverneland inc.

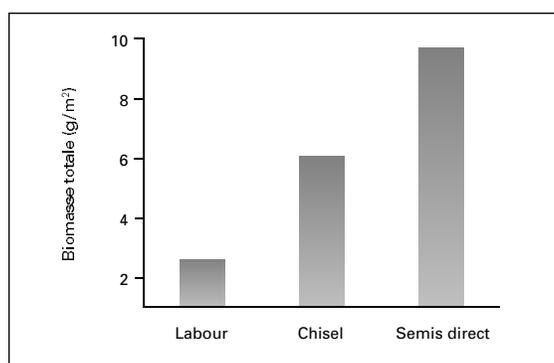
Activité biologique

Diverses études sur l'activité biologique effectuées pour différents types de travail du sol ont démontré que :

- l'activité biologique dans la couche superficielle du sol est généralement moins intense en système de travail conventionnel (labour) qu'en système de travail réduit, de semis direct ou de culture sur billons ;
- les sols sous travail réduit (chisel, pulvérisateur à disques lourds, etc.) ont une activité biologique intermédiaire, c'est-à-dire située entre les activités biologiques observées pour le semis direct et celles pour le travail conventionnel.

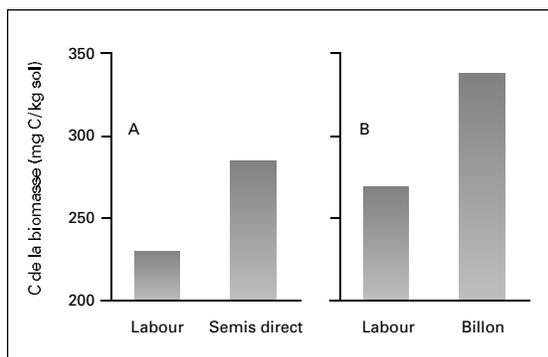
L'activité biologique de la couche superficielle du sol est donc favorisée par les types de travail du sol qui concentrent, dans cette couche, la matière organique.

Les figures du bas de la page présentent les résultats de deux études et permettent de comparer les différents types de travail du sol en termes d'activité biologique.



Biomasse totale des vers de terre des populations d'*Aporrectodea* et de *Lumbricus* sous trois types de travail du sol. Site de La Pocatière, sol argileux, orge (5 années) (Desforges, 1996)

- A. Comparaison entre semis direct et labour conventionnel, rotation maïs-soya (4 années), site de Saint-Alexandre, loam sableux (D. Angers et S. Thibaudeau, non publié).
- B. Comparaison entre culture sur billons et labour conventionnel, maïs-soya (5 années), site de l'Acadie, loam sablo-argileux (D. Angers, G. Tremblay et L. Robert, non publié).



Biomasse microbienne du sol (couche 0-8 cm) estimée en carbone (C)

Dans une autre étude réalisée en Montérégie en 1995 et 1996 (Leroux *et al.*, 1998; Simard *et al.*, 1996), la biomasse microbienne mesurée en culture sur billons était plus élevée que sous travail conventionnel, et ce, dans les deux couches de sol 0-10 et 10-20 cm, lorsque les systèmes étaient établis sur du loam argileux. Dans les argiles, la biomasse microbienne était plus élevée dans le système sur billons, seulement dans la couche 0-10 cm. Il n'y avait pas de différence significative entre les deux systèmes dans la couche 10-20 cm sur les argiles.

L'importance de la biomasse microbienne

- Elle contribue au recyclage des éléments nutritifs ;
- elle joue un rôle majeur dans la décomposition des résidus, dans la stabilisation de la structure et dans la dégradation des pesticides.

Les mycorhizes, c'est quoi ?

Les mycorhizes sont des **champignons microscopiques** naturellement présents dans plusieurs types de sol qui sont étroitement associés aux racines de plantes. Leur présence :

- favorise une meilleure assimilation de certains éléments nutritifs dont le phosphore ;
- accroît la tolérance des cultures face aux maladies et au manque d'eau ;
- contribue à la stabilité structurale du sol grâce aux réseaux de filaments (hyphes) qu'ils forment dans les sols.

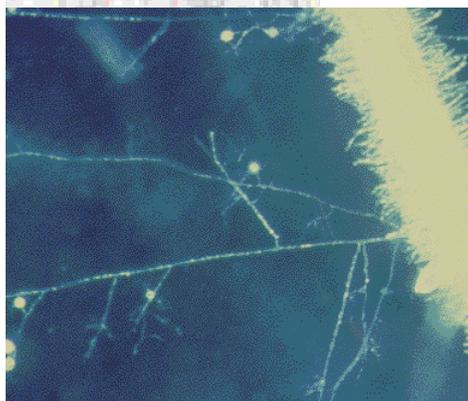
Cette étude a aussi permis de constater que la culture sur billons, en comparaison avec le travail conventionnel du sol, favorise le développement des **mycorhizes**. Comme le montre le tableau 1, le potentiel mycorhizien ainsi que la longueur du mycélium (filaments microscopiques des champignons) **ont été presque deux fois plus grands en culture sur billons**. Ces résultats confirment ceux obtenus dans d'autres études (Hamel *et al.*, 1994; Evans et Miller, 1990) qui ont démontré que **les pratiques culturales qui brassent ou retournent le sol ont un effet néfaste sur les réseaux de filaments formés par les mycorhizes**. En travail réduit, en semis direct et en culture sur billons, ces derniers sont généralement plus développés, ce qui aurait comme conséquence de **favoriser l'assimilation du phosphore**.

Tableau 1. INFLUENCE DU TRAVAIL DU SOL SUR LE POTENTIEL MYCORHIZIEN ET LA LONGUEUR DU MYCÉLIUM DANS LES SOLS CULTIVÉS EN BILLONS ET DE FAÇON CONVENTIONNELLE (1995)

Système	Potentiel mycorhizien (%)	Longueur du mycélium (mm)
Culture sur billons	65,3	31,3
Travail conventionnel	35,1	16,7

Leroux et al., 1998

Température du sol



Filaments de mycorhizes (à gauche) sur une racine (à droite)

Chantal Hamel, Université McGill

Le réchauffement du sol peut varier selon le type de travail, car ce dernier a un impact, entre autres, sur le pourcentage de **couverture de résidus**. Plus la couverture de résidus est importante, plus le réchauffement et l'assèchement du sol sont ralentis. Aussi, plus le sol est humide, plus les températures mesurées sont basses. Enfin, l'aération plus ou moins temporaire à la suite du travail du sol contribue également à son réchauffement.

L'impact des résidus se produit de trois façons :

- ils agissent comme un écran qui diminue ou empêche le réchauffement direct du sol par les rayons du soleil ;
- ils créent une barrière qui limite l'évaporation de l'eau du sol ;
- ils retiennent une quantité d'eau importante.

Un sol travaillé est donc susceptible de se réchauffer plus rapidement qu'un sol, de même texture, sous semis direct.



En semis direct, le réchauffement du sol vis-à-vis des rangs est favorisé si on utilise un semoir muni d'un tasse-résidus

ENVIROSOL

Dès les premières années de **travail réduit, de semis direct ou de culture sur billons**, l'activité biologique devient substantiellement plus intense. La dynamique des éléments nutritifs associés aux processus biologiques, tels l'azote (N) et le phosphore (P), est alors profondément bouleversée.

Azote

Pour tout élément nutritif, un nouvel équilibre entre ses différentes formes dans le sol va s'établir, mais seulement après une période de transition qui peut durer de 3 à 5 ans. Durant cette période, l'apport en azote du sol peut être moindre, principalement à cause d'une dominance des microorganismes de la dénitrification et de l'immobilisation de l'azote. Par la suite, une nouvelle dynamique s'établit et les populations de microorganismes deviennent plus importantes et plus diversifiées. L'amplitude de ces effets reste à déterminer, mais il n'est pas exclu que la quantité d'azote à fournir par les engrais puisse être révisée à la baisse.

Phosphore

La dynamique du P, c'est-à-dire l'équilibre entre les différentes formes de P dans le sol et le poids relatif de chacune d'entre elles, est très différente en culture sur billons et en semis direct comparativement au travail conventionnel. Quant à lui, le travail réduit produit des effets intermédiaires. Ces changements se font graduellement et affectent généralement de façon positive la quantité de P disponible dans le sol et ses prélèvements par les cultures. Sommairement, les phénomènes suivants peuvent se produire :

1. Un enracinement plus complet, plus fin, favorisé par l'effet bénéfique sur la structure, qui devrait faciliter l'assimilation de P, une fois le démarrage de la culture complété.
2. Un accroissement de la quantité de phosphore disponible dans la solution du sol qui peut s'expliquer par :
 - une plus grande minéralisation nette du P organique provenant des résidus, des matières organiques fraîches, etc. ;
 - une fixation du P minéral réduite.
3. L'augmentation des réseaux d'hyphes de mycorhizes favorise l'assimilation du phosphore.

Stratification des éléments

L'absence de labour amène une accumulation des éléments relativement peu mobiles, **comme le phosphore**, dans les premiers 10 cm du profil. Quant au potassium, plus mobile dans le profil, spécialement sur des sols à faible capacité d'échange cationique (CEC), il peut migrer plus profondément, et la stratification est alors moins probable.

Pratiques de fertilisation

Malgré l'effet du travail du sol sur les propriétés physiques et biologiques, **les doses totales d'éléments fertilisants recommandées ne sont généralement pas différentes en semis direct et en culture sur billons par rapport à celles en travail conventionnel**. À long terme, cependant, certaines observations permettent de croire que la fourniture en azote et en phosphore par le sol peut augmenter et conduire à une réduction des besoins en apports d'éléments par des engrais.



Incorporation d'engrais au sol à l'aide d'un équipement conçu pour le travail en bandes

ENVIROSOL



Disque monté sur un semoir permettant d'appliquer l'engrais sous la surface du sol

Coopérative fédérée de Québec (White)

L'effet des pratiques de conservation sur la dynamique des éléments tend à atténuer les effets négatifs de la stratification du phosphore et du potassium. Il n'en demeure pas moins que le **placement de tous les engrais sous la couche de résidus**, dans certains cas plus en profondeur, **est essentiel pour une absorption efficace des éléments**.

Dans la culture du maïs, le recours à un engrais de démarrage est recommandé en semis direct et en culture sur billons, principalement pour contrer l'effet des plus basses températures.

Structure du sol

Comparaison du travail conventionnel avec le semis direct et la culture sur billons

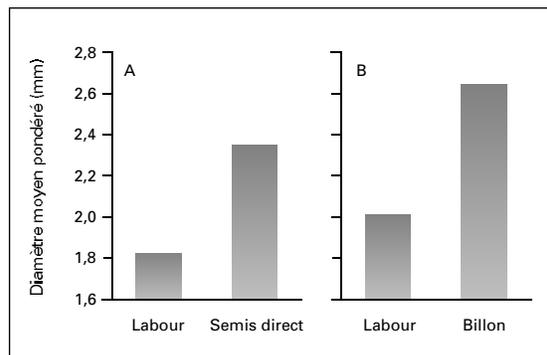
De nombreuses études (Angers *et al.*, 1993) ont montré que la stabilité de la structure du sol de surface est généralement **plus grande dans les champs en semis direct et en culture sur billons que dans ceux travaillés de manière conventionnelle (labour)**. Les principales raisons pouvant expliquer cet effet sont que :

- le labour fait diminuer la quantité de matière organique en surface ;
- l'activité biologique est plus faible en surface à la suite du labour ;
- l'action mécanique du labour brise les agrégats formant la structure du sol ;
- la présence abondante de vers de terre en semis direct et en culture sur billons favorise le développement d'un réseau de galeries et de pores qui améliore la structure du sol.

La figure suivante montre la différence entre le diamètre des agrégats contenus dans un sol soumis à différentes pratiques culturales. Le diamètre moyen des agrégats permet d'évaluer la structure du sol: plus il est élevé, plus la structure est stable.

Il faut généralement quelques années après l'adoption du semis direct ou de la culture sur billons avant que l'effet bénéfique sur la structure du sol ne se fasse sentir.

Diamètre moyen des agrégats stables du sol dans la couche de surface (0-8 cm)



- A. Comparaison entre semis direct et labour conventionnel, maïs (4 années), site de Saint-Sébastien, loam argileux (D. Angers et S. Thibaudeau, non publié).
- B. Comparaison entre culture sur billons et labour conventionnel, maïs-soya (5 années), site de l'Acadie, loam sablo-argileux (D. Angers, G. Tremblay et L. Robert, non publié).

Rappelez-vous

Un sol avec une bonne structure résiste mieux aux agents de dégradation tels que l'érosion et la compaction.

De plus, le semis direct et la culture sur billons ont l'avantage :

- de nécessiter moins de passages de la machinerie aux périodes où le sol est le plus humide, c'est-à-dire à l'automne et au printemps ;
- de ne pas engendrer de semelles de labour.

Comparaison entre le travail conventionnel et le travail réduit

En travail réduit, les taux d'agrégats stables sont souvent similaires à ceux observés sous labour à cause de la destruction des agrégats sous l'action des équipements de travail du sol, et ce, malgré que cette pratique favorise l'accumulation de la matière organique à la surface.

Notons néanmoins qu'en profondeur, les effets bénéfiques du chisel ou du pulvérisateur à disques lourds (*offset*) se font sentir. En effet, contrairement au labour, la circulation du tracteur en surface permet de limiter le tassement du sol à l'horizon travaillé. Ce tassement peut par la suite être enrayé par l'action mécanique de l'équipement de travail du sol. Dans le cas du labour conventionnel, le fait que la roue du tracteur se trouve au fond du sillon de labour favorise le tassement du sol au-delà de la couche de labour. L'action des outils de travail du sol ne peut donc pas remédier à ce tassement.



Le travail du sol et la compaction

Sous l'effet de cisaillement et de compression que produit le travail du sol ou la circulation de la machinerie, il peut se produire une déformation et un bris des agrégats. Les vides du sol sont alors réduits par le resserrement des agrégats et par le fait que de petites particules, issues de la fragmentation d'agrégats, viennent s'y loger. Il en résulte alors un sol plus massif et de faible porosité.

Les pratiques de conservation qui améliorent la structure du sol, telles que le semis direct ou la culture sur billons, assurent une certaine protection contre la compaction des sols.

Profil de sol montrant une zone compactée

André Brunelle, MAPAQ

Profil du sol

Puisque plusieurs propriétés du sol sont modifiées par le type de travail du sol, un profil de sol différent se développe donc selon qu'il s'agisse de travail conventionnel, de travail réduit, de semis direct ou de culture sur billons. **L'amélioration des propriétés du sol et, par conséquent, du profil, par la réduction du travail, se produit de façon graduelle sur plusieurs années.** Généralement, dans le cas d'une transition du travail conventionnel au semis direct, **il faut compter de 3 à 5 ans avant de percevoir des effets significatifs sur le profil du sol.** Le tableau 2 résume les principaux phénomènes et caractéristiques présents dans chaque cas.

Le fait de semer aux mêmes endroits année après année, comme c'est le cas en culture sur billons et souvent aussi en semis direct, conduit à une **amélioration importante des propriétés du sol dans les rangs par rapport à celles dans les entre-rangs.**



Tableau 2. IMPACTS DU TRAVAIL DU SOL SUR LE PROFIL

Système de travail du sol	Description du profil
Semis direct et culture sur billons	<ul style="list-style-type: none"> • Volume important de racines près de la surface ; • la pénétration en profondeur d'une partie du système racinaire est favorisée par le fait que la continuité des macropores ou des canaux creusés par les vers de terre n'est pas brisée par le passage d'un outil de travail du sol ; • les résidus de culture ne sont pas enfouis mais laissés en surface.
Travail réduit	<ul style="list-style-type: none"> • Faible risque de développer un horizon induré, ce qui favorise la pénétration en profondeur des racines ; • enfouissement partiel des résidus de culture ; • il y a des résidus en surface.
Travail conventionnel	<ul style="list-style-type: none"> • Enfouissement complet ou presque des résidus de culture ; • très faible couverture de résidus ; • répartition des résidus dans tout le profil ; • création possible d'un horizon induré : <ul style="list-style-type: none"> - semelle de lissage due au passage du soc ; - semelle de labour due au poids des outils et de la machinerie ; • système racinaire peut être confiné à l'horizon de labour, si présence d'un horizon induré.

Impacts sur les cultures

La section précédente montre que la réduction ou l'élimination du travail a des impacts positifs sur plusieurs propriétés du sol (matière organique, activité biologique, structure), mais qu'elle peut résulter en un réchauffement et en un assèchement plus lents au printemps. De plus, la couche arable n'est plus homogénéisée. Quels impacts ces changements ont-ils sur les cultures? Les lignes qui suivent apportent quelques éléments de réponse quant aux effets sur le développement des cultures et sur leur rendement.

Développement des cultures

Les études visant à vérifier l'impact du type de travail du sol sur le développement des cultures ont donné des résultats souvent divergents. Toutefois, il en ressort qu'en semis direct, le développement des cultures est parfois plus lent que lorsque le sol a été travaillé, et ce, particulièrement en présence de sols froids et humides et sous les latitudes les plus nordiques (ex.: l'émergence et la sortie des croix du maïs peuvent retarder de quelques jours sous ces conditions).

Rendement des cultures

Les facteurs déterminants pour l'atteinte de bons rendements sont nombreux et ne se limitent pas uniquement aux effets du système de travail du sol. Le succès dans l'adoption d'une nouvelle façon de faire repose en bonne partie sur des facteurs humains. Ainsi, dans une transition vers un nouveau système de travail du sol, l'atteinte de bons rendements dépend souvent des efforts et de l'attention qui seront mis pour apprendre les particularités de la technique et pour planifier les opérations ainsi que de la compréhension de la globalité du système.

Parmi les autres facteurs importants, il y a aussi les conditions du sol et les rotations. Par exemple, les chances de succès du semis direct et de la culture sur billons sont réduites si le sol est mal drainé ou compacté. Aussi, le suivi effectué dans le cadre du projet GR-MAX a démontré un effet positif des rotations sur les rendements.

La réduction du travail du sol favorise l'obtention de bons rendements de par les impacts qui peuvent en résulter dont, en particulier, la diminution de l'érosion, le développement d'une bonne structure, l'amélioration de l'infiltration et de l'utilisation de l'eau et la diminution de l'évaporation. **Lorsque la technique est bien maîtrisée, ces effets positifs contrebalancent généralement les effets négatifs, comme un réchauffement et un resuyage plus lents du sol, ou souvent même les supplantent.**



Culture de maïs établie par semis direct et montrant une bonne croissance

ENVIROSOL



Culture en semis direct

ENVIROSOL

Pour une transition réussie...

1. Se renseigner.
2. Planifier.
3. Avoir une vision globale (bien maîtriser chacun des divers facteurs de production et tenir compte de leurs interactions).
4. Faire une transition graduelle.

Voir le texte sur ce sujet dans les [feuillets 2-C](#) et [2-D](#).

Impacts sur l'environnement

Le type de travail du sol a des impacts sur la contamination de l'eau par :

- ruissellement;
- érosion;
- et lessivage.

Ruissellement et érosion



L'influence du type de travail du sol sur le ruissellement a été démontrée (Fawcett *et al.*, 1994.) En comparaison avec le travail conventionnel, les **réductions de volumes d'eau de ruissellement** suivantes ont été obtenues :

- 69 % pour le chisel;
- 42 % pour la culture sur billons;
- 70 % pour le semis direct.

L'impact du travail du sol et de la couverture de résidus laissée à la surface sur l'érosion hydrique est démontré par les données du tableau 3.

Tableau 3. COUVERTURE DE RÉSIDUS ET RÉDUCTION DE L'ÉROSION HYDRIQUE PAR RAPPORT AU TRAVAIL CONVENTIONNEL POUR DIVERS TYPES DE TRAVAIL DU SOL ET DIVERSES CULTURES⁽¹⁾

Type de résidus	Type de travail du sol	Couverture de résidus (%)	Réduction de l'érosion par l'eau (%)
Maïs-grain	• Un passage de chisel, un passage de cultivateur, semis.	35	74
	• Deux passages de pulvériseur à disques, semis.	21	72
	• Culture sur billons.	34	86
	• Semis direct.	39	92
Soya	• Un passage de chisel, un passage de cultivateur, semis.	7	32
	• Un passage de pulvériseur à disques, semis.	8	26
	• Un passage de cultivateur, semis.	18	46
	• Semis direct.	27	64
Blé	• Un passage de chisel, un passage de cultivateur, semis.	29	72
	• Semis direct.	86	96

Tiré de Agriculture et Agroalimentaire Canada et ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario (1993)

1. Chacun des scénarios est comparé au travail conventionnel: labour conventionnel (charrue à versoirs), 2 passages de cultivateur dans le cas du maïs et du soya et un passage dans le cas du blé, semis.

La couverture de résidus laissée à la surface du sol contribue de manière importante à réduire le ruissellement et l'érosion

ENVIROSOL

Moins de ruissellement et moins d'érosion = moins de perte d'éléments nutritifs...

L'adoption de pratiques de conservation réduisant le ruissellement et l'érosion se traduit par une diminution des pertes d'éléments nutritifs dans les eaux de surface, comme le montre le tableau 4. Ce tableau présente les résultats d'une étude indiquant une diminution importante des pertes de sol et d'éléments nutritifs en travail réduit et en culture sur billons.

Moins de ruissellement et moins d'érosion = moins de perte d'herbicides...

En situation de travail réduit, de culture sur billons ou de semis direct, les pertes par ruissellement et érosion d'herbicides solubles et/ou liés aux particules de sol sont généralement plus faibles qu'en situation de travail conventionnel, surtout dans les cas où ils sont appliqués avant la levée de la culture et des mauvaises herbes. Fawcett *et al.* (1994) soulignent que la présence de résidus réduit en général les pertes de pesticides solubles par ruissellement de surface, principalement parce qu'ils diminuent le volume d'eau de ruissellement transportant les pesticides.



Érosion hydrique après la fonte de la neige sur un sol non protégé par des résidus de culture

ENVIRO SOL

Tableau 4. COMPARAISON DES PERTES DE NUTRIMENTS SOUS FORMES SOLUBLES ET PARTICULAIRES ENTRE TROIS SYSTÈMES DE TRAVAIL DU SOL (STATION DE RECHERCHE DE SAINT-LAMBERT-DE-LAUZON)

Type de travail du sol	Pertes de sol (t/ha)	Azote soluble (kg/ha)	Azote total (kg/ha)	Phosphore soluble (kg/ha)	Phosphore total (kg/ha)
Conventionnel	6,6	3,5	19,9	0,08	3,9
Travail réduit (chisel)	1,5	1,8	4,0	0,08	1,1
Billons	1,8	2,4	4,9	0,1	1,4

Adapté de Bernard et al. (1996)

Lessivage

L'eau souterraine peut être contaminée par le lessivage à travers le profil de sol d'éléments fertilisants et d'herbicides solubles, notamment. Par ailleurs, les gains environnementaux procurés par les formes réduites de travail du sol quant à la qualité de l'eau souterraine sont plus ou moins évidents. En effet, il est possible que l'amélioration de la structure des sols que l'on constate sous travail réduit, semis direct ou culture sur billons puisse conduire à une meilleure infiltration de l'eau et avoir pour conséquence d'augmenter les pertes par lessivage.

Les études sur le lessivage des herbicides à travers le sol présentent des résultats ambigus. Ainsi, certains travaux démontrent qu'il y avait plus de lessivage d'herbicides en situation de travail réduit comparativement au travail conventionnel, alors que d'autres études ne montrent aucun effet apparent. Les études à venir fourniront sûrement davantage de précisions sur le sujet.

Pour en savoir plus

RÉDACTION

Daniel Massicotte, agronome, ENVROSOL, Drummondville

Denis Angers, chercheur scientifique, Centre de recherche sur les sols et les grandes cultures, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Sainte-Foy

Yves Bédard, ingénieur, M. Sc., Département de gestion agricole, Cégep de Lévis-Lauzon, Lévis

Pierre Chouinard, agronome, M. Sc., ENVROSOL, Drummondville

Marc R. Laverdière, agronome, Ph. D., professeur, Département des sols et de génie agroalimentaire, Université Laval, Québec

Guy Mehuys, agronome, Ph. D., Département des sciences des ressources naturelles, Campus Macdonald, Université McGill, Sainte-Anne-de-Bellevue

Louis Robert, agronome, M. Sc., Direction régionale Chaudière-Appalaches, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Sainte-Marie

COLLABORATION

Anne Vanasse, Ph. D., agronome-consultante, Groupe CONCEPTRA, Belœil

RÉVISION

Richard Beaulieu, agronome, M. Sc., ministère de l'Environnement du Québec, Québec

Richard Desrosiers, agronome, Direction des politiques du secteur agricole, ministère de l'Environnement du Québec, Québec

Jean-Pierre Dubuc, producteur agricole, Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec, Saint-Isidore

Isabelle Giroux, géographe, M. Sc., Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement du Québec, Québec

Nicolas Lehoux, ingénieur, M. Sc., Direction régionale Chaudière-Appalaches, ministère de l'Environnement du Québec, Sainte-Marie

Daniel Pelletier, président, Club Action Billon, Saint-Hyacinthe

Werner G. Schur, Ferme Werner G. Schur, Saint-Guillaume d'Upton

GESTION DE PROJET MAPAQ

Bruno Gosselin, agronome, Direction régionale de Québec, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Québec

Mario Lapointe, agronome, Direction de l'environnement et du développement durable, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Québec

ÉDITION

Aude Tousignant, ingénieure forestière, Sillery

SECRÉTAIRE À L'ÉDITION

Jocelyne Drolet, Conseil des productions végétales du Québec inc., Québec

GESTION DU

MATÉRIEL VISUEL

Chantal Turbis, agronome, Conseil des productions végétales du Québec inc., Québec

MONTAGE

Marc Brazeau, infographiste Compélec

COORDINATION DU PROJET

Jacynthe Lareau, agronome, M. Sc., Conseil des productions végétales du Québec inc., Québec

© CPVQ, 2000

- ▶ **AGRICULTURE CANADA et MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION DE L'ONTARIO**. 1993. Les pratiques de gestion optimales - Grandes cultures. 133 p.
- ▶ **AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE CANADA et MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC** (adaptation: CPVQ inc.). Les pratiques de gestion optimales - Gestion du sol. 68 p.
- ▶ **AL-DARBY, A.M., et B. LOWERY**. 1986. «Évaluation of corn growth and productivity with three conservation tillage systems». Agron. J. 78: 901-907.
- ▶ **ANGERS, D.** 1997. La structure et la vie du sol. Pages 35-41 dans Cahier des conférences du Colloque sur le semis direct et la culture sur billons, 12 et 13 février 1997. Conseil des productions végétales du Québec inc.
- ▶ **ANGERS, D.A., N. BISSONNETTE, A. LÉGÈRE et N. SAMSON**. 1993. «Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production». Can. J. Soil Sci. 73: 39-50.
- ▶ **ANGERS, D.A., R.P. VORONEY et D. CÔTÉ**. 1995. «Dynamics of soil organic matter and corn residues as affected by tillage practices». Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 1311-1315.
- ▶ **BARNETT, S.P., A. PESANT, L.E. PARENT, M. GIROUX et A.F. MACKENZIE**. 1997. Maïs-grain: besoin et placement de l'engrais, travail du sol, précédents culturaux et environnement. Pages 81-85 dans L'agriculture durable: un virage bien amorcé. Cahier de conférences du Colloque de l'Entente Canada-Québec pour un environnement durable en agriculture (Plan Vert). 26 novembre 1997, Saint-Hyacinthe. 419 p.
- ▶ **BATES, T.E.** 1971. «Response of corn to small amounts of fertilizers placed with seed: III. Relation to P and K placement and tillage». Agron. J. 63: 372-375.
- ▶ **BERNARD, C., M.R. LAVERDIÈRE et S. WICHEREK**. 1996. Agricultural and environmental impacts of conservation practices. 2nd International Congress, European Society of Soil Conservation. (Comptes rendus.)
- ▶ **BOSSANYI, G.** 1993. Essais de travail minimal du sol en production céréalière. Projet n° 22-58860-570-091 de l'Entente Auxiliaire Canada-Québec sur la conservation des sols en milieu agricole. Rapport final. 37 p.
- ▶ **BROWN, H.J., R.M. CRUSE ET T.S. COLVIN**. 1989. «Tillage system effects on crop growth and production costs for a corn-soybean rotation». J. Prod. Agric. 2: 273-279.
- ▶ **CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC inc.** 1986. La dégradation des sols agricoles. Causes, effets, prévention et correction. Bulletin technique n° 13. Conseil des productions végétales du Québec, AGDEX 570. 148 p.
- ▶ **CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC inc.** 1997. Colloque sur le semis direct et la culture sur billons. Cahier des conférences, Éd. Conseil des productions végétales du Québec inc., Saint-Hyacinthe, 12 et 13 février 1997. 204 p.
- ▶ **CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC inc.** 1998. «Plus de profit, moins de travail». 2^e Colloque sur le semis direct et la culture sur billons, Éd. Conseil des productions végétales du Québec inc., Saint-Jean-sur-Richelieu, 18 et 19 février 1998. 115 p.

- ▶ **CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC inc.** 1999. « Un sol en santé, c'est payant ! ». 3^e Colloque sur le travail minimum du sol, Éd. Conseil des productions végétales du Québec inc., Saint-Hyacinthe, 16 et 17 février 1999. 121 p.
- ▶ **CROOKSTON, R.K., et J.E. KURLE.** 1989. « Corn residue effect on the yield of corn and soybean growth in rotation ». Agron. J. 82: 229-232.
- ▶ **DESFORGES, J.** 1996. Impacts des systèmes de culture sur les communautés lombriciennes. Mémoire de maîtrise. Université Laval.
- ▶ **DICK, W.A., et D.M. VAN DOREN JR.** 1985. «Continuous tillage and rotation combinations effects on corn, soybean, and oat yields». Agron. J. 77: 459-465.
- ▶ **DORAN, J.W.** 1980. « Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage ». Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 765-771.
- ▶ **EVANS, P.G., et M.H. MILLER.** 1990 «The role of the external mycelial network in the effect of soil disturbance upon vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization of maize ». New Phytol. 114: 65-71.
- ▶ **FAWCETT, RICHARD S., BRIAN R. CHRISTENSEN et DENNIS P. TIERNEY.** 1994. « The impact of conservation tillage on pesticide runoff into surface water: A review and analysis ». Journal of soil and water conservation, march-avril: 126-135.
- ▶ **GRIFFITH, D.R., J.V. MANNERING et J.E. BOX.** 1986. Soil and moisture management with reduced tillage. Pages 19-59 dans No-tillage and surface tillage agriculture. M.A. Spargue et G.B. Triplett, Wiley Interscience (éditeurs).
- ▶ **GUERTIN, S.-M.** 1989. «Le maïs répond bien au travail minimum». Le Bulletin des agriculteurs, juin, p. 40-42.
- ▶ **KABIR, M.Z.** 1997. Dynamics of mycorrhizal association in corn (*Zea mays* L.): influence of tillage and manure. Ph.D. Université McGill. 173 p.
- ▶ **KASPAR, T.C., H.J. BROWN et E.M. KASSMEYER.** 1991. «Corn root distribution as affected by tillage, wheel traffic, and fertilizer placement». Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 1390-1394.
- ▶ **LAVERDIÈRE, M.R., G.D. LEROUX et S. THIBAUDEAU.** 1990. Effets de pratiques culturales réduites sur la température du sol, les infestations de mauvaises herbes et la croissance du maïs-grain sur deux types de sol. Rapport de recherche CORPAQ, n° de projet LA-87-C-2091. 6 p.
- ▶ **LEROUX, G.D., R.R. SIMARD et A. VANASSE.** 1998. Étude multidisciplinaire pour la mise au point d'une méthode de lutte intégrée incluant des pratiques de phytoprotection et de régie, utilisant moins de pesticides dans les cultures qui requièrent des mesures intensives de phytoprotection. Projet n° 14-41696815-079 réalisé dans le cadre de l'entente Auxiliaire Canada-Québec pour un environnement durable en agriculture. 72 p.
- ▶ **MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC.** 1990. Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec. Rapport synthèse. 71 p.
- ▶ **MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC.** 1998. La conservation, c'est mon affaire! GR-MAX 1998. Rapport annuel.
- ▶ **MOCK, J.J., et D.C. ERBACH.** 1977. «Influence of conservation-tillage environments on growth and productivity of corn ». Agron. J. 61: 337-340.



- ▶ **OBERLE, S.L., et D.R. KEENEY.** 1990. «Factors influencing corn fertilizer N requirements in the northern U.S. Corn Belt». *J. Prod. Agric.* 3: 527-534.
- ▶ **QIAN, P., J.D. WOLT et D.D. TYLER.** 1994. «Soil solution composition as influenced by tillage and time of nitrogen application». *Soil Sci.* 158: 141-149.
- ▶ **REHM, G.W.** 1991. Matching fertilizer placement to tillage systems. Texte d'une conférence présentée pour le «Crop Pest Management Short Course», 21 et 22 novembre 1991, St-Paul, Minnesota. 7 p.
- ▶ **REHM, G.W., et P.E. FIXEN.** 1990. «Potassium deficiency in corn – A common ridge-till problem». *Better Crops* 74: 6-9.
- ▶ **REHM, G.W., G. RANDALL et S. EVANS.** 1994. Fertilizer management for corn planted in ridge-till or no-till systems. University of Minnesota Management Extension Service. Publication n° FO-6074-GO. 8 p.
- ▶ **RICE, C.W., M.S. SMITH et R.L. BLEVINS.** 1986. «Soil nitrogen availability after long-term continuous no-tillage and conventional tillage corn production». *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1206-1210.
- ▶ **SIMARD, R.R., C. HAMEL, M.-J. GARAND et G. TREMBLAY.** 1997. Détermination de la valeur fertilisante des engrais de ferme en fonction de leur utilisation sur le maïs-grain et les céréales selon les systèmes culturaux. Projet n° 13-074 de l'Entente Auxiliaire Canada-Québec pour un environnement durable en agriculture (Plan Vert). Rapport final. 69 p.
- ▶ **SIMARD, R.R., N. BISSONNETTE, K. BERRAOU, A. VANASSE et G. LEROUX.** 1996. «La santé des sols en production de maïs-grain sur billons». *Revue Grandes cultures* 6 (3): 33-35.
- ▶ **STECKER, J.A., D.D. BUCHHOLZ, R.G. HANSON, N.C. WOLLENHAUPT et K.A. McVAY.** 1995. «Tillage and rotation effects on corn yield response to fertilizer nitrogen on Aqualf soils». *Agron. J.* 87: 409-415.
- ▶ **THIBAudeau, S.** 1997. Adaptation des techniques d'application du phosphore et du potassium dans le maïs-grain et le soya cultivés sur billons. Projet n° 23-811217-07010 du Programme d'aide à l'innovation technologique, Entente Auxiliaire Canada-Québec. Rapport final. 38 p.
- ▶ **THIBAudeau, S.** 1997. Comparaison des effets d'une rotation maïs-grain et soya sur la croissance des cultures et les propriétés du sol, en relation avec différentes pratiques de travail du sol. Projet n° 23-810217-07050, Plan Vert. 60 p.
- ▶ **THOMAS, G.W., M.S. SMITH et R.E. PHILLIPS.** 1989. Impact of soil management practices on nitrogen management and groundwater protection. Elsevier Science Publications. Amsterdam, Hollande. 395 p.
- ▶ **VYN, T.J., et B.A. RAIMBAULT.** 1993. «Long-term effect of five tillage systems on corn response and soil structure». *Agron. J.* 85: 1074-1079.
- ▶ **ZHANG, T.Q., A.F. MACKENZIE et B.C. LIANG.** 1995. Long-term changes in Mehlich-3 extractable P and K in a sandy-clay.