

Les pratiques de conservation en grandes cultures : pourquoi s'y intéresser ?

MODULE 1

Introduction	1
Pour protéger les sols et maintenir le rendement des cultures...	2
Dégradation des sols	2
Surfertilisation	7
Problèmes de mauvaises herbes, de maladies et d'insectes	8
Parce que ces pratiques de conservation sont rentables...	8
Rendements	9
Coûts de production	10
Valeur marchande de la récolte	12
Pour protéger l'environnement...	13
Quels sont les impacts potentiels des grandes cultures sur l'environnement ?	13
Quels sont les effets des différents contaminants sur l'environnement et la santé humaine ?	14
Quelques exemples de contamination... ..	16
De quelles façons les contaminants atteignent-ils les systèmes aquatiques ?	18
Quelle est l'efficacité des diverses pratiques de conservation ?	21
Pour en savoir plus	22

Introduction

Pourquoi s'intéresser aux pratiques de conservation en grandes cultures ?
Pour trois bonnes raisons :

- pour **protéger les sols et maintenir le rendement** des cultures ;
- parce que ces pratiques de conservation sont **rentables** ;
- pour **protéger l'environnement**.

Ce module expose et décrit différents **problèmes agronomiques et environnementaux** associés à l'emploi de **pratiques culturales inadéquates** pour la production de grandes cultures. Parallèlement, le document montre comment diverses **pratiques de conservation** peuvent aider à prévenir ou à corriger ces problèmes et contribuer à **améliorer la rentabilité** des entreprises.



Pour protéger les sols et maintenir le rendement des cultures...

La remise en état des sols dégradés prend souvent plusieurs années. Il vaut donc mieux **prévenir** les problèmes plutôt que d'attendre leur apparition.

Le recours à des pratiques culturales inadéquates en grandes cultures peut mener à la dégradation des sols et à la détérioration des conditions de croissance des cultures. L'information qui suit expose :

- les principaux types de problèmes pouvant surgir ;
- les conditions favorables à leur apparition ;
- les conséquences agronomiques pouvant s'ensuivre ;
- les pratiques culturales susceptibles de les prévenir ou d'aider à les corriger.

Dégradation des sols ⁽¹⁾

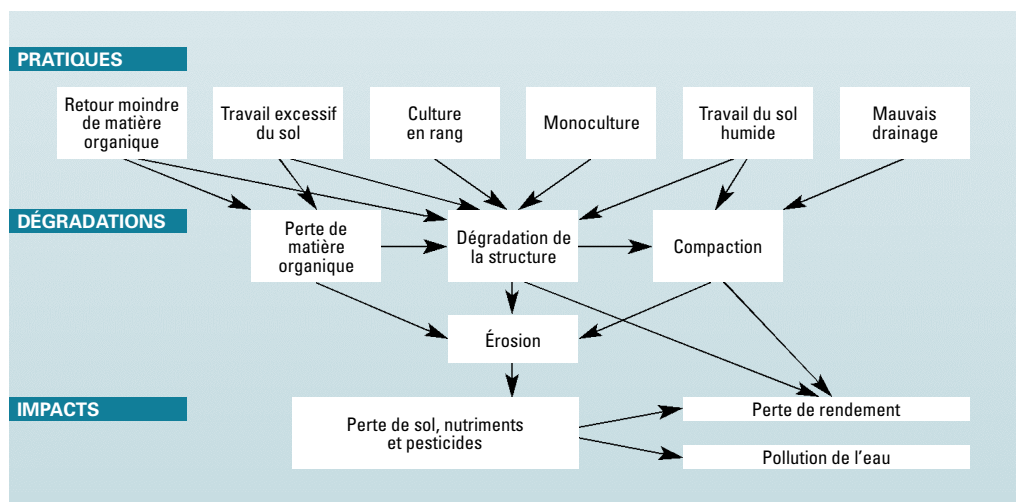
Les principales formes de dégradation des sols susceptibles d'apparaître en grandes cultures, et qui seront décrites en détail, sont :

- la détérioration de la structure ;
- l'appauvrissement en matière organique ;
- la compaction ;
- l'érosion.

Ces dernières affectent les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols et se manifestent rarement seules à cause des interactions qui existent entre chacune d'elles. À titre d'exemple, un sol qui s'appauvrit en matière organique risque d'avoir une structure moins stable et d'être plus sensible à la compaction. Il pourra alors en résulter des impacts négatifs sur le mouvement de l'eau et de l'air dans le sol, sur l'activité biologique et sur le cycle des éléments nutritifs. La figure suivante présente de façon schématique les interactions entre les principales formes de dégradation du sol.

Interactions entre les pratiques culturales conduisant à la dégradation des sols et leurs impacts

Adapté de Mehuys, 1984 et paru dans le Bulletin technique n° 13 « La dégradation des sols agricoles : causes, effets, prévention et correction » (CPVQ, 1986).



1. Plusieurs renseignements présentés dans cette section sont tirés et adaptés du Bulletin technique 13 (CPVQ, 1986). Consultez ce document pour obtenir de l'information supplémentaire.

Détérioration de la structure ⁽²⁾

Ce problème se caractérise par la **perte de la stabilité des agrégats du sol de même que par la réduction de leur nombre et de leur diamètre moyen** (voir l'encadré « Structure du sol »). Les sols présentant une structure déficiente sont plus compacts et comportent une porosité plus faible. Ils sont également plus sensibles à l'érosion, à la compaction et à la formation d'une croûte de battance. Il en résulte :

- une moins bonne **aération** ;
- un **drainage** et un **réchauffement** plus lents ;
- une diminution de l'intensité de l'**activité biologique**.

Le **rendement** et la **qualité des récoltes** risquent de diminuer sous l'effet des conséquences suivantes :

- un semis plus tardif et un démarrage plus lent des cultures ;
- des problèmes de germination et de levée, notamment en présence d'une croûte de battance ;
- une pénétration plus difficile et un développement inférieur des racines dans le sol ;
- une moins bonne efficacité de la fertilisation ;
- une activité moins intense des microorganismes minéralisant la matière organique et des microorganismes symbiotiques (ex. : bactéries fixatrices d'azote et mycorhizes).

La détérioration de la structure du sol est généralement causée par :

- un travail du sol trop intensif ;
- la réalisation des opérations de travail du sol dans des conditions trop humides ;
- l'appauvrissement du sol en matière organique ;
- le manque de protection contre la battance, notamment lorsqu'il y a peu de résidus en surface du sol et lorsqu'il n'y a pas de couverture végétale ;
- la compaction associée à la machinerie agricole.

Les pratiques de conservation suivantes peuvent contribuer à prévenir ou à corriger les problèmes de détérioration de la structure ⁽³⁾ :

- l'amélioration des pratiques de travail conventionnel du sol de façon, en particulier, à ne pas trop enfouir les résidus (**module 2**) ;
- la réduction de l'intensité du travail du sol par le travail réduit, la culture sur billons ou le semis direct (**module 2**) ;
- une gestion optimale de la matière organique (**module 3**) ;
- l'intégration à la rotation de cultures couvrant bien le sol, de cultures intercalaires et d'engrais verts (**module 6**) ;
- l'intégration à la rotation de cultures pérennes aidant à protéger les sols en dehors de la saison de croissance ;
- la prévention et la correction des problèmes de drainage et de compaction (**module 7**).

2. Il existe des méthodes permettant de faire un diagnostic visuel ou quantitatif de la détérioration de l'agrégation et de la structure des sols. Consultez à cet effet le Bulletin technique 21 (CPVQ, 1995).

3. L'information entre parenthèses précise dans quel module du Guide on retrouve des renseignements sur le type de pratiques de conservation mentionné.

Structure du sol

La structure d'un sol réfère à l'agrégation des particules primaires du sol (sable, limon, argile) et à leur arrangement dans l'espace. Les particules fines du sol s'agglomèrent sous l'effet de phénomènes naturels ou des façons culturales, pour former des agrégats de dimensions variables. Les vides entre les **agrégats** sont occupés par de l'eau ou des gaz (oxygène, gaz carbonique, azote). Ces vides constituent la **macroporosité** du sol, indispensable à l'aération du sol, à l'évacuation rapide de l'eau excédentaire et au développement des racines. De façon générale, plus le **diamètre des agrégats** est grand, plus il y a d'espace vide (macroporosité) entre les agrégats.

La **stabilité structurale** est associée à la **résistance des agrégats** à se briser sous l'impact des gouttelettes de pluie ou sous l'effet de pressions comme celles produites par les outils de travail du sol ou par le poids de la machinerie. Cette résistance est influencée par plusieurs facteurs. Par exemple, la matière organique contribue à rendre les agrégats plus résistants alors que des conditions d'humidité élevée diminuent leur résistance.



L'intégration à la rotation de cultures pérennes aide à protéger les sols en dehors de la saison de croissance

ENVIROSOL

L'activité biologique

L'activité biologique réfère aux organismes vivants du sol tels que les vers de terre, les insectes, les bactéries (ex. : bactéries fixatrices d'azote), les actinomycètes et les champignons (ex. : mycorhizes). Ces organismes jouent un rôle primordial en ce qui concerne la fertilité et la stabilité structurale du sol. La matière organique constitue une source importante d'énergie et d'éléments nutritifs pour ces derniers.

La minéralisation de la matière organique

La matière organique est composée de :

- résidus organiques (ex. : résidus de culture, engrais de ferme, composts, etc.);
- matière vivante (ex. : microorganismes, insectes, racines vivantes);
- matériel stable (humus).

La matière organique se décompose graduellement sous l'action des microorganismes et est éventuellement reconvertie en des éléments minéraux simples. Ce processus s'appelle la **minéralisation**.

Pour en savoir plus sur la matière organique, consultez le [module 3](#).



Résidus de maïs

Anne Vanasse, CONCEPTRA

Appauvrissement en matière organique

L'appauvrissement du sol en matière organique se produit lorsque les pratiques culturales accélèrent sa **minéralisation** (voir encadré) et font en sorte que les **apports de matériel organique** au sol soient inférieurs aux pertes. L'agrégation des particules de sol est inférieure dans les sols contenant peu de matière organique. Ceux-ci sont ainsi exposés à une **dégradation de leur structure** (voir la sous-section précédente). L'appauvrissement du sol en matière organique peut aussi réduire :

- sa capacité à fournir des **éléments nutritifs** et à retenir les **engrais** appliqués;
- sa capacité de **rétenion en eau utile**;
- son **activité biologique** (voir encadré).

Ces effets peuvent rendre les cultures plus vulnérables à la **sécheresse** et accroître leurs **besoins en fertilisation**, particulièrement en azote. Si l'appauvrissement mène à la **dégradation de la structure du sol**, les répercussions associées à cette dernière peuvent également se manifester, notamment par une moins bonne aération et par un drainage et un réchauffement plus lents.

Les causes habituelles de l'appauvrissement en matière organique du sol sont :

- un travail du sol intensif;
- une rotation de culture retournant de faibles quantités de résidus de culture au sol;
- un apport insuffisant d'amendements organiques;
- un enfouissement trop profond des résidus de culture et des amendements organiques;
- une dilution par des travaux qui déplacent ou mêlent les horizons superficiels avec les horizons inférieurs (ex. : labour profond, travaux de nivellement, formation de planches);
- tous les facteurs favorisant l'érosion du sol.

Les pratiques de conservation suivantes peuvent contribuer à prévenir ou à corriger le problème :

- l'amélioration des pratiques de travail conventionnel du sol de façon, en particulier, à ne pas trop enfouir les résidus ([module 2](#));
- la réduction de l'intensité du travail du sol par le travail réduit, la culture sur billons ou le semis direct ([module 2](#));
- une rotation comportant des cultures retournant au sol une quantité importante de résidus;
- le retour au sol des pailles de céréales ([module 3](#));
- la valorisation des engrais de ferme et l'emploi d'autres sources d'amendement organique ([modules 3 et 4](#));
- l'enfouissement d'engrais verts et de cultures intercalaires ([module 6](#));
- le recours à des aménagements et à des techniques permettant de réduire l'érosion ([module 6](#)).

De façon générale, les sols comportant une teneur en matière organique **inférieure à 2%** sont considérés comme pauvres en matière organique.

Compaction ⁽⁴⁾

La compaction est le réarrangement des particules du sol sous l'effet d'une **pression externe**. Elle se traduit par une augmentation de la **densité**, généralement accompagnée de la diminution de la **macroporosité** et de la **conductivité hydraulique** (Tabi *et al.*, 1990). Elle peut se manifester dans la couche cultivée et dans le sous-sol.

Un sol compacté a une **structure détériorée**. Ses conséquences sur les propriétés du sol et sur la croissance des cultures peuvent donc être les mêmes que celles associées à la détérioration de la structure du sol.

Bien que des phénomènes naturels puissent contribuer au tassement du sol, les interventions réalisées avec la **machinerie agricole** sont à l'origine des problèmes de compaction. Ces derniers sont attribuables, en particulier, à la pression associée :

- à une **charge importante** ;
- à des **passages fréquents** ;
- au passage d'outils de travail du sol occasionnant du **lissage** et/ou une **semelle de labour** (voir encadré).



Profil de sol montrant une zone compactée

André Brunelle, MAPAQ

Le risque de compaction s'accroît avec l'humidité du sol.

Les pratiques suivantes peuvent contribuer à prévenir ou à corriger les problèmes de compaction de surface :

- l'amélioration des pratiques de travail du sol (**module 2**) ;
- une gestion optimale de résidus de culture et de la matière organique (**modules 2 et 3**) ;
- l'intégration à la rotation de cultures couvrant bien le sol, de cultures intercalaires, d'engrais verts (**module 6**) et de cultures vivaces (ex. : prairies) ;
- l'exécution des interventions au champ lorsque le sol a un taux d'humidité adéquat (**module 7**) ;
- la correction des problèmes de drainage (**module 7**) ;
- l'adoption de mesures et de techniques permettant de réduire la circulation, de minimiser la charge par essieu et d'augmenter la surface de contact des pneus (**module 7**).

Le **module 7** fournit différents renseignements sur le diagnostic, la prévention et la correction des problèmes de **compaction du sol**.

Érosion ⁽⁴⁾

On distingue deux principales formes d'érosion des sols :

- l'érosion hydrique (par l'eau) ;
- l'érosion éolienne (par le vent).

La **semelle de labour** est un horizon compact localisé sous la couche arable. Elle est souvent une conséquence du labour effectué avec une charrue conventionnelle. Le poids supporté par la **roue du tracteur** qui circule au fond du sillon est en lien direct avec la création de cet horizon compact. Le passage de la **charrue** comme tel peut également contribuer à sa formation.

La compaction rend les conditions de travail du sol plus difficiles et nécessite plus d'**énergie** pour la réalisation des travaux par la machinerie.



Érosion éolienne

MAPAQ

4. Il existe des méthodes permettant de faire un diagnostic visuel ou quantitatif des problèmes de compaction. Consultez à cet effet le Bulletin technique 21 (CPVQ, 1995).

Description des principales formes d'érosion

Érosion hydrique en nappe

Érosion caractérisée par le déplacement des particules de sol sous l'action combinée du martelage des gouttes de pluie et du ruissellement. Il est souvent possible d'observer des accumulations de sol dans les dépressions dans les champs qui subissent de l'érosion en nappe.

Érosion hydrique en rigole

Érosion qui résulte du décrochage des particules de sol sous l'effet de l'eau de ruissellement concentrée en des chemins préférentiels. Elle est beaucoup plus perceptible que l'érosion en nappe. La formation de rigoles ou de ravins sur la surface en culture ou aux abords du champ, près d'un fossé, caractérise ce type d'érosion.

Érosion éolienne

Érosion qui se produit lorsque le vent détache et entraîne des particules de sol qui, en rebondissant à la surface du sol, en délogent d'autres, en roulent d'autres plus grosses et libèrent les plus fines qui sont entraînées en suspension dans l'air sur de grandes distances (Tabi *et al.*, 1990).



Érosion hydrique en nappe

Richard Laroche, MAPAQ



Érosion hydrique en rigole

MAPAQ

Au Québec, l'érosion des sols est en grande partie attribuable à l'eau. L'érosion hydrique se manifeste de deux façons: en nappe ou en rigole. Dans certaines situations, le vent peut cependant aussi causer des problèmes considérables d'érosion (voir la description des formes d'érosion dans l'encadré).

Le taux d'érosion est influencé par :

- la culture : période et pourcentage de sol à nu ;
- le relief, l'inclinaison du terrain et la longueur du champ: ces paramètres sont directement liés à la quantité et au débit des eaux de ruissellement ;
- la présence ou non de résidus de culture en surface du sol (voir encadré) ;
- la texture du sol: les risques d'érosion sont plus élevés dans les sols limoneux ou ceux contenant une partie appréciable de sable très fin (ces particules sont peu cohésives, contrairement à l'argile) ;
- la structure du sol: les sols avec une bonne structure sont moins érodables ;
- la teneur en matière organique du sol: la matière organique contribue à diminuer l'érosion par son effet positif sur l'agrégation des particules ;
- la teneur en eau du sol: les sols saturés d'eau s'érodent facilement sous l'effet des précipitations et du ruissellement, alors que les sols secs sont sensibles à l'érosion par le vent ;
- leur exposition au vent: les champs de grandes dimensions et ceux situés près de grands espaces dégagés et en bordure d'étendues d'eau importantes sont plus exposés à l'érosion éolienne ;
- une couverture de neige insuffisante (érosion éolienne).

Le tableau 1 démontre bien la sensibilité des sols nus à l'érosion hydrique.

Tableau 1. PERTES MOYENNES ANNUELLES DE SOL MESURÉES SOUS DIVERSES CONDITIONS (Lennoxville, loam argileux Coaticook, pente 10%)

Traitement	Perte de sol (kg/ha)
Prairie permanente	190
Maïs	12 700
Sol nu	31 100

Tiré de Mehuys, 1981

L'érosion par l'eau ou par le vent résulte en une **perte de sol arable** (particules de sol, matière organique et éléments nutritifs). Le phénomène peut contribuer de façon importante à l'**appauvrissement du sol en matière organique** et à la **dégradation de sa structure**. Comme on l'a déjà vu, ces deux problèmes peuvent avoir différentes répercussions sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. L'érosion peut, par ailleurs, causer des **dommages au réseau hydraulique** par l'obstruction des fossés, des rigoles ou des raies de curage.

Sur les **cultures**, l'érosion peut avoir les effets négatifs associés à l'appauvrissement du sol en matière organique et à la dégradation de la structure du sol. Les problèmes suivants peuvent également contribuer à réduire la croissance et le rendement des cultures :

- le déterrement ou l'enterrement des semis ou des plantules ;
- des blessures à la partie aérienne des plants sous l'effet abrasif des particules de sol emportées par le vent.

Enfin, l'érosion peut favoriser la propagation des mauvaises herbes, des maladies et des insectes et diminuer l'efficacité des herbicides appliqués au sol.

Les pratiques de conservation suivantes peuvent contribuer à prévenir ou à limiter les problèmes d'érosion :

- l'amélioration des pratiques du travail conventionnel du sol de façon, en particulier, à ne pas trop enfouir les résidus (**module 2**) ;
- la réduction de l'intensité du travail du sol par le travail réduit, la culture sur billons ou le semis direct (**module 2**) ;
- une gestion optimale de la matière organique (**module 3**) ;
- l'intégration à la rotation de cultures couvrant bien le sol, de cultures intercalaires et d'engrais verts (**module 6**) ;
- l'intégration à la rotation de cultures pérennes aidant à protéger les sols en dehors de la saison de croissance ;
- le recours à des aménagements et à des techniques permettant de réduire l'érosion (**module 6**) ;
- la prévention et la correction des problèmes de drainage et de compaction (**module 7**).

Le travail du sol, les résidus et l'érosion

L'érosion est fortement influencée par le travail du sol. Les superficies labourées et **laissées à nu pendant de longues périodes** sont, entre autres, fortement sensibles à ce type de dégradation.

Les risques d'érosion diminuent de 65% lorsque le système de travail du sol laisse une **couverture de résidus supérieure à 30%**. Le maintien de résidus de culture à la surface du champ après la récolte demeure un moyen efficace de diminuer le risque d'érosion hydrique, car cela atténue le martelage des gouttes de pluie et diminue la vitesse d'écoulement de l'eau. Les résidus réduisent aussi l'érosion éolienne, car ils protègent le sol de l'effet asséchant et de l'énergie du vent.



Surfertilisation

La surfertilisation a non seulement des impacts sur le coût de production, mais elle peut également affecter négativement la croissance des cultures en plus d'accroître les risques de contamination de l'eau. Les effets sur les cultures seront différents selon qu'il s'agisse de l'une ou l'autre des deux types suivants de surfertilisation.

Les résidus de culture offrent une bonne protection contre l'action de l'eau et du vent

ENVIROSOL



Denis Côté, IRDA

Type de surfertilisation	Exemple	Conséquence potentielle
1. Dépassement des besoins des cultures pour une année donnée .	Fertilisation azotée qui dépasse, pour une année donnée, le besoin de la culture.	Ne résulte habituellement pas en un enrichissement du sol pour les années à venir, mais peut entraîner des problèmes comme la verse des cultures (ex. : céréales) ou la croissance excessive des mauvaises herbes .
2. Surfertilisation répétée pendant plusieurs années résultant en un enrichissement excessif .	Fertilisation en phosphore qui dépasse, pendant plusieurs années, le besoin des cultures.	La présence en excès dans le sol de certains éléments peut nuire à l'absorption d'autres éléments nutritifs (phénomènes d'antagonisme). Par exemple, un excès de phosphore peut réduire l'absorption du zinc et causer des problèmes de carence.

La surfertilisation est liée à une **mauvaise gestion des éléments nutritifs**, notamment à :

- une méconnaissance du niveau de fertilité des sols ;
- une mauvaise évaluation des besoins des cultures ;
- une gestion inadéquate des engrais de ferme et des engrais minéraux.

Le **module 4** présente différentes données visant à **améliorer les pratiques de fertilisation** et, par conséquent, à éviter les problèmes culturaux associés à la surfertilisation.

Problèmes de mauvaises herbes, de maladies et d'insectes



Moutarde dans un champ de maïs

Anne Vanasse, CONCEPTRA

Des pratiques culturales inadéquates peuvent être à l'origine de certains problèmes de mauvaises herbes et mener à l'apparition de **populations difficiles à réprimer**. En **monoculture** ou lorsque la **rotation** se limite à des cultures semblables, certaines mauvaises herbes plus difficiles à réprimer peuvent s'adapter et devenir problématiques. Une **rotation inadéquate dans l'usage des herbicides** présente aussi des risques de développement de populations de mauvaises herbes résistantes. Un **mauvais usage des herbicides** peut par ailleurs endommager les cultures ou encore rendre les récoltes impropres à la consommation humaine ou animale. Cela peut aussi restreindre les possibilités de rotation des cultures.

La **rotation des cultures** ainsi que l'adoption d'un programme de **lutte intégrée** aux mauvaises herbes favorisant une **utilisation rationnelle des herbicides** contribuent à prévenir l'apparition des problèmes exposés précédemment. Pour en savoir plus à ce sujet, consultez le **module 5**.

Les pratiques de conservation peuvent aussi aider à lutter contre les **maladies** et les **insectes**. C'est le cas en particulier :

- de la rotation des cultures ;
- des pratiques permettant d'optimiser les conditions physiques, chimiques et biologiques des sols (ex.: structure, matière organique, fertilité, drainage, compaction, etc.);
- des pratiques de gestion des mauvaises herbes qui permettent d'éliminer certaines plantes-hôtes.

Parce que ces pratiques de conservation sont rentables...

Pour demeurer rentables et répondre aux exigences des marchés, les entreprises de grandes cultures doivent devenir de plus en plus **efficaces, performantes et respectueuses de l'environnement**.

Les pratiques de conservation sont appelées à jouer un rôle considérable dans ce contexte.

En plus de contribuer à la protection des sols et de l'environnement (voir section suivante), l'intégration de pratiques de conservation dans les entreprises agricoles comporte souvent des bénéfices économiques. Dans plusieurs situations, cela permet en effet d'accroître la **marge de profit** des cultures grâce notamment à :

- une **augmentation du rendement** ;
- et/ou une **diminution des coûts de production** ;
- et/ou un **accroissement de la valeur marchande** de la récolte.

L'information qui suit décrit plus amplement de quelle manière les pratiques de conservation peuvent avoir des répercussions positives sur la rentabilité des grandes cultures. Il est à noter qu'elle demeure générale et n'est évidemment pas applicable à toutes les situations (voir l'encadré).

Les répercussions économiques des pratiques de conservation dépendent de nombreux facteurs, et chaque entreprise comporte ses particularités. Les aspects suivants jouent souvent un rôle important :

- la **condition initiale** des champs et des cultures;
- l'**adaptabilité des méthodes** aux caractéristiques et aux contraintes de l'entreprise (ex. : main-d'œuvre, machinerie, sols, etc.);
- les **intérêts personnels** du producteur;
- les **investissements requis**;
- le **degré de maîtrise** des méthodes adoptées;
- l'évolution du **prix des intrants et des récoltes**;
- les **conditions climatiques**.

Pour favoriser la rentabilité des pratiques de conservation, il est donc recommandé :

- de **faire les bons choix** en se renseignant adéquatement, en identifiant bien les particularités de l'entreprise et en établissant clairement les objectifs poursuivis;
- d'évaluer la **rentabilité des investissements requis** (l'aide d'un conseiller en gestion peut être très utile à cet effet);
- de procéder **graduellement** à l'intégration des nouvelles pratiques (les erreurs réalisées lors de l'apprentissage seront ainsi moins coûteuses);
- de recourir à un **encadrement technique** adéquat (ex. : conseiller agricole, club de producteurs, producteur expérimenté, etc.);
- de **persévérer** (les bénéfices économiques peuvent apparaître plus tard).

Rendements

Dans certaines situations, le rendement des cultures peut s'accroître sous l'effet des pratiques de conservation, lorsque ces dernières favorisent une amélioration des conditions de croissance. Leur emploi peut en effet aider à corriger différents problèmes (ex. : structure de sol dégradée, compaction, mauvais drainage, déséquilibre nutritif, mauvaises herbes, maladies, insectes, etc.). Les gains obtenus à la suite de l'adoption de pratiques de conservation peuvent varier énormément d'une entreprise à l'autre et d'une année à l'autre. Cela peut aussi prendre **quelques années** avant que les améliorations se produisent et mènent à un accroissement du rendement des cultures. Par exemple, en cultures sur billons et en semis direct, l'amélioration des propriétés du sol n'apparaît souvent qu'au bout de 3 à 5 ans.

Le tableau 2 présente un exemple concret de l'impact positif qu'une pratique de conservation peut avoir sur les rendements. On constate que les champs de maïs-grain sous rotation ont eu des rendements plus grands et généré des revenus supérieurs à ceux sous monoculture.

Lorsqu'il n'y a pas de problèmes cultureux importants, l'adoption des pratiques de conservation contribue à **prévenir** leur apparition et à **préserver** le potentiel de productivité des sols. Cela est favorable au **maintien à moyen et à long termes de la rentabilité** des entreprises.

Tableau 2. EFFET DE LA ROTATION DES CULTURES SUR LE RENDEMENT EN MAÏS-GRAIN ET LA MARGE BRUTE^(a, b)

	1997		1998		1999	
	Monoculture ^(c)	Rotation ^(d)	Monoculture ^(c)	Rotation ^(d)	Monoculture ^(c)	Rotation ^(d)
Nombre de champs suivis	87	68	129	179	84	204
Rendement standardisé (kg/ha)	7 276	8 205	9 577	10 176	9351	9723
Revenus (\$/ha)	1 004	1 132	1 015	1 079	916	953
Coûts (\$/ha)						
- Opérations culturales	92	66	99	74	105	73
- Lutte aux mauvaises herbes	90	90	87	85	99	106
- Fertilisation min. et organique	270	254	264	249	262	240
Total	452	410	450	408	466	420
Marge brute^(e) (\$/ha)	552	722	566	670	450	533
Avantage relié à la rotation (\$/ha)	+ 170		+ 104		+83	

Tiré et adapté de MAPAQ (1998b) et MAPAQ (1999)

- Données obtenues sur des fermes en grandes cultures dans le cadre du projet GR-MAX. Ce projet a été mis sur pied par la Direction régionale de la Montérégie du MAPAQ. Il vise principalement à évaluer la rentabilité des pratiques agricoles de conservation dans les grandes cultures et à identifier les facteurs favorables à leur succès.
- Les résultats présentés dans cet exemple ne doivent pas être interprétés comme une tendance générale susceptible de se produire dans toutes les situations. Ils s'appliquent seulement aux champs suivis et aux années considérées.
- La monoculture est définie, dans cette étude, comme un champ de maïs-grain sur un précédent cultural de maïs-grain, même s'il n'y a que 2 années de maïs-grain. Les coûts plus élevés à chaque année sous monoculture peuvent être dus à une utilisation plus fréquente de la charrue que des autres types de machinerie de travail du sol (MAPAQ, 1999).
- Dans ce projet, un champ est considéré en rotation si la culture de l'année précédente était une culture autre que le maïs. Les précédents culturaux rencontrés étaient principalement des cultures de soya, maïs aussi des prairies, de l'orge, du blé, des pois et autres.
- La marge brute n'inclut pas des frais tels que les grains de semence, le battage, l'administration, les bâtiments et les terres. Consultez le document de référence (MAPAQ, 1998b; MAPAQ, 1999) pour obtenir tous les renseignements relatifs au calcul des revenus et des dépenses.

Coûts de production

C'est souvent grâce à un abaissement des coûts de production que les pratiques de conservation favorisent une augmentation de la rentabilité des cultures. Dans certaines situations, elles permettent en effet de réduire les dépenses associées à la **machinerie** (achat, entretien, carburant, main-d'œuvre, etc.) et à l'achat des **intrants** (engrais, herbicides, etc.). L'obtention de rendements comparables aux rendements habituels permet ainsi de dégager une **marge de profit plus importante**. Dans certains cas, une légère diminution des rendements peut même s'avérer acceptable lorsque la baisse des coûts de production est supérieure à la perte de récolte encourue.

Réduction des dépenses associées à la machinerie

Les pratiques de conservation peuvent contribuer à réduire les dépenses associées à la machinerie **en diminuant les investissements en équipement ou en abaissant la puissance requise**. Par exemple, le recours au semis direct et à la culture sur billons nécessite habituellement des investissements en machinerie moins élevés que dans un système de travail conventionnel du sol.

L'intégration des pratiques de conservation peut aussi aider à **réduire le nombre d'intervention** dans les champs. Cela favorise une diminution des coûts de carburant, de main-d'œuvre et d'entretien des équipements. La réduction du travail du sol avec la culture sur billons et le semis direct ou encore l'application en bandes ou localisée des herbicides constituent des exemples de pratiques contribuant à abaisser le coût des opérations culturales.

Réduction des dépenses en intrants

Plusieurs pratiques de conservation peuvent contribuer à réduire les dépenses en intrants, notamment à l'égard des engrais et des pesticides. La liste qui suit, bien qu'elle ne soit pas exhaustive, montre quelles pratiques sont susceptibles de diminuer les dépenses d'engrais et d'herbicides.

Pratiques pouvant aider à réduire les dépenses d'engrais	Pratiques pouvant aider à réduire les dépenses d'herbicides
<ul style="list-style-type: none"> • Détermination adéquate des besoins en fertilisation; • valorisation optimale des engrais de ferme; • réglage adéquat des équipements d'épandage; • rotations intégrant des légumineuses (réduction des besoins en azote); • culture des engrais verts et des cultures intercalaires; • toute pratique susceptible d'améliorer les propriétés biologiques et chimiques des sols (ex. : réduction du travail du sol, gestion optimale de la matière organique, etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> • Faux-semis; • sarclage; • application en bandes; • application localisée; • application de doses réduites; • réglage de l'équipement de pulvérisation; • rotation des cultures et des herbicides; • toute pratique visant à prévenir la dissémination et la propagation des mauvaises herbes (ex. : semis d'engrais verts, jachère, brûlage chimique, nettoyage de la machinerie, etc.).

Le tableau 3 présente des résultats obtenus dans des champs de maïs dans le cadre du projet GR-MAX (MAPAQ, 1998b; 1999) et compare les différents types de travail du sol du point de vue des moyennes de rendement, de coûts et de marges de profit. On constate que les champs labourés à la charrue ont donné les meilleurs rendements moyens deux ans sur trois, mais ont aussi produit les marges brutes moyennes les plus faibles deux années sur trois, principalement à cause des coûts moyens qui, eux, sont les plus élevés de tous pour les trois années. Le semis direct est la technique qui montre les coûts moyens les plus faibles pour chacune des années du suivi. Les marges brutes moyennes les plus grandes ont été obtenues en 1998 et 1999 dans les champs sous culture sur billons, alors qu'en 1997, les valeurs moyennes des quatre systèmes montrent peu de différence entre elles.



Tableau 3. MARGE BRUTE DANS LA CULTURE DU MAÏS-GRAIN POUR DIFFÉRENTES PRATIQUES DE TRAVAIL DU SOL ^(a,b)

	1997				1998				1999			
	Charrue	Travail réduit ^(c)	Semis direct	Billons	Charrue	Travail réduit ^(c)	Semis direct	Billons	Charrue	Travail réduit ^(c)	Semis direct	Billons
Nombre de champs suivis	52	73	21	9	132	122	36	18	89	144	38	17
Rendement standardisé (kg/ha)	7 886	7 732	7 212	7 218	10 070	9 764	9 604	10 605	9 781	9 602	9 207	9 752
Revenus^(f) (\$/ha)	1 088	1 067	995	996	1 067	1 035	1 018	1 124	958	941	902	956
Coûts (\$/ha)												
- Opérations culturales	110	78	35	46	110	79	35	42	116	78	40	42
- Lutte aux mauvaises herbes	82	89	107	101	82	84	101	91	104	101	114	112
- Fertilisation minérale et organique ^(d)	311	302	250	277	266	258	217	235	255	246	226	252
Total	503	469	392	424	458	421	353	368	475	425	380	406
Marge brute^(e) (\$/ha)	585	598	603	572	609	614	665	756	483	516	522	550

Tiré et adapté de MAPAQ (1998b) et MAPAQ (1999)

- Données obtenues sur des fermes en grandes cultures dans le cadre du projet GR-MAX. Ce projet a été mis sur pied par la Direction régionale de la Montérégie du MAPAQ. Il vise principalement à évaluer la rentabilité des pratiques agricoles de conservation dans les grandes cultures et à identifier les facteurs favorables à leur succès.
- Les résultats présentés dans ce tableau ne doivent pas être interprétés comme une tendance générale susceptible de se produire dans toutes les situations. Ils s'appliquent seulement aux champs suivis et aux années considérées.
- La colonne « travail réduit » est constituée de tous les cas de chisel, *offset*, disques, charrue modifiée, rotobèche, travail en bandes, aérateur, sous-soleuse, vibroculteur ou cultivateur utilisé comme outil primaire de travail du sol.
- Les **coûts de fertilisation** varient d'une entreprise à l'autre et en fonction de plusieurs facteurs. En principe, **il ne devrait pas y avoir de différence importante**, car les besoins en éléments nutritifs des cultures sont généralement comparables pour les différents systèmes de travail du sol.
- La marge brute n'inclut pas des frais tels que les grains de semence, le battage, l'administration, les bâtiments et les terres. Consultez le document de référence (MAPAQ, 1998b ; MAPAQ, 1999) pour obtenir tous les renseignements relatifs au calcul des revenus et des dépenses.
- Le prix du maïs-grain est de 98 \$/tonne en 1999, 106 \$/tonne en 1998 et de 138 \$/tonne en 1997. Ce prix est celui obtenu à la récolte et tient compte des frais de transport et des coûts moyens de séchage, selon les conditions de la saison.

Valeur marchande de la récolte

Les récoltes issues de méthodes ne faisant pas appel aux **pesticides** et aux **engrais minéraux de synthèse chimique** ont habituellement une **valeur marchande plus élevée** que celles provenant de champs cultivés de façon traditionnelle. Des marchés spécialisés pour celles-ci se sont en effet développés ces dernières années. Il existe à la fois des créneaux pour les récoltes certifiées « **biologiques** » et pour celles « **sans intrants chimiques** » (voir l'encadré).

La certification biologique

La **certification biologique** des grains est obtenue en répondant aux critères d'admissibilité et aux exigences de production d'un organisme reconnu par les acheteurs (ex. : OCIA, Garantie Bio, etc.). Par exemple, pour être certifiés OCIA, les champs doivent avoir été cultivés au moins 3 ans sans avoir recours aux engrais minéraux de synthèse chimique, aux pesticides et à d'autres intrants non autorisés. Dans le cas des **produits «sans intrants chimiques»**, cette exigence concerne seulement l'année de production. Certains organismes ont mis sur pied un système de certification des grains «sans intrants chimiques». Au Québec, l'Association des cultures sans herbicides a développé un tel système.

Les entreprises ayant recours aux pratiques de conservation ont la possibilité d'exploiter les marchés «biologiques» et «sans intrants chimiques». Pour cultiver sans engrais chimique et sans pesticide et obtenir de bons rendements, il est en effet **indispensable** de bien maîtriser plusieurs techniques et approches de conservation (ex.: faux-semis, sarclage, rotation des cultures, engrais verts, cultures intercalaires, valorisation des engrais de ferme, etc.).

Pour protéger l'environnement...

Les activités humaines, qu'elles soient de nature urbaine, industrielle ou agricole, peuvent entraîner une détérioration de la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines. Cette détérioration peut être causée, notamment, par un accroissement excessif de substances déjà présentes naturellement (ex.: azote, phosphore, microorganismes) ou par une contamination par de nouveaux composés (ex.: herbicides). Ces polluants risquent non seulement d'affecter les usages liés au milieu, mais aussi de créer un déséquilibre dans l'écosystème aquatique.

Des suivis effectués dans plusieurs bassins versants où prédominent les superficies agricoles ont montré une contamination des eaux de surface par, notamment, des éléments nutritifs, des pesticides, des microorganismes pathogènes et des matières en suspension. Des cas de contamination des eaux souterraines par des pesticides et des éléments nutritifs ont aussi été observés. Les élevages et les productions végétales ont été identifiés parmi les activités causant ces deux types de pollution.

Les pages qui suivent montrent comment la production de grandes cultures peut contribuer à la contamination des eaux et décrivent sommairement les processus en cause afin de mieux saisir **les raisons d'être et les avantages des pratiques de conservation présentées dans ce Guide**.

Ma ferme, j'en prends soin !

Ma ferme, j'en prends soin!, un document publié par le MAPAQ et le Groupe GÉAGRI en 1999, peut vous aider à évaluer si vos pratiques agricoles sont respectueuses de l'environnement. La référence complète apparaît à la fin de ce feuillet.

Quels sont les impacts potentiels des grandes cultures sur l'environnement ?

Le risque environnemental le plus important associé à la production de grandes cultures est la **pollution diffuse des eaux de surface et des eaux souterraines**.

La **qualité de l'eau de surface** peut être affectée par :

- des substances nutritives telles que l'azote et le phosphore ;
- des matières en suspension ;
- des substances toxiques comme les herbicides ;
- des microorganismes pathogènes provenant des engrais de ferme (fumier, lisier, purin).

Cours d'eau traversant des champs de grandes cultures

Richard Laroche, MAPAQ



Épandage de lisier par aérospersion

ENVIROSOL

Unités de mesures des contaminants

Plusieurs substances peuvent être néfastes à de **très faibles concentrations** pour les organismes vivants. C'est pourquoi les unités les plus couramment utilisées sont une **partie par million** (ppm) ou une **partie par milliard** (ppb).

On peut illustrer ce qu'on entend par partie par million de la façon suivante: si nous divisons



une tarte en un million de pointes égales, chaque pointe représente une partie par million. Pour avoir une partie par milliard, nous devons diviser la tarte en un milliard de pointes. S'il y a un contaminant dans notre tarte à un niveau de 10 ppm, cela signifie que 10 pointes de la tarte équivalent à la quantité de contaminant présent dans cette tarte et que les 999 990 autres pointes sont exemptes de contaminant.

Parfois, il est préférable de mesurer le contaminant en termes de poids (ex. : mg/l) en raison de la nature des milieux (solide, liquide), plutôt qu'en ppm ou en ppb. À titre d'exemple, prenons les critères pour l'eau potable pour les nitrates et l'atrazine :

- **critères pour les nitrates**: 10 milligrammes par litre (**10 mg/l**), soit l'équivalent de 10 parties par million ou **10 ppm**.
- **critères pour l'atrazine**: 5 microgrammes par litre (**5 µg/l**), soit l'équivalent de 5 parties par milliard ou **5 ppb**.

Pour ce qui est de l'**eau souterraine**, elle peut être contaminée principalement par le lessivage des herbicides et des nitrates. Le phosphore ou les microorganismes pathogènes peuvent également occasionner certains problèmes.

Les contaminations font suite, principalement, à des épandages d'engrais de ferme, d'engrais minéraux et d'herbicides ou à des entreposages inadéquats de matières fertilisantes. Le travail du sol est aussi en cause parce qu'il accroît la sensibilité du sol à l'érosion.

Les conditions météorologiques, particulièrement la pluie et la fonte des neiges, peuvent avoir un impact significatif sur la quantité de contaminants qui atteint les milieux aquatiques.

Quels sont les effets des différents contaminants sur l'environnement et la santé humaine ?

Effets de l'azote

La consommation d'eau contaminée par les nitrates (NO_3) peut causer un **trouble d'oxygénation des cellules** (méthémoglobinémie) chez les jeunes enfants, généralement ceux de moins de 6 mois. De plus, par mesure de prudence, il est recommandé aux femmes enceintes de s'abstenir de boire une eau qui contient des nitrates en concentration supérieure à la norme de qualité pour l'eau potable (10 mg/l de N- NO_3). La consommation d'eau contaminée aux nitrates représente également un risque particulier pour les personnes âgées et les jeunes animaux.

L'azote sous forme d'ammoniaque (NH_3) est **très toxique pour les poissons**. Ainsi, des dommages importants aux écosystèmes peuvent être causés lorsque, par ruissellement, du fumier, du lisier ou du purin atteint un plan d'eau. L'ammoniaque a aussi pour effet de réduire les teneurs en oxygène dissous dans l'eau.

Depuis un certain nombre d'années, certaines municipalités du Québec éprouvent des difficultés à traiter l'eau prélevée dans certains cours d'eau à cause de la présence de concentrations importantes d'ammoniaque.

Effets du phosphore

Le phosphore est depuis longtemps associé au phénomène du vieillissement prématuré des plans d'eau, appelé **eutrophisation**. Lorsque présent en excès dans l'eau, il favorise une **croissance accrue d'algues et de plantes aquatiques**. Ces végétaux **consommant beaucoup d'oxygène dissous** pour leurs activités et leur décomposition. Cet oxygène n'est donc plus disponible pour la vie aquatique, ce qui peut entraîner la disparition de plusieurs espèces et favoriser certaines autres plus tolérantes. L'eutrophisation peut résulter en une altération du goût et de l'odeur de l'eau. De plus, certaines algues peuvent sécréter des toxines dangereuses pour la santé humaine. Ce dernier problème ne se rencontrerait toutefois pas encore au Québec.



Eutrophisation
d'un cours d'eau sous
l'effet du phosphore

Anne Vanasse, CONCEPTRA

Effets des herbicides ⁽⁵⁾

Contrairement à d'autres polluants d'origine agricole dont les effets sont plus facilement visibles dans l'eau, la présence d'herbicides est rarement apparente. Visibles ou non, les herbicides peuvent affecter les écosystèmes et entraîner une **diminution de la vie aquatique** (phytoplancton, zooplancton, amphibiens, poissons, plantes aquatiques, production de l'oxygène dans l'eau).

Certains herbicides peuvent représenter un risque important pour la **santé**, particulièrement pour celle des **utilisateurs**. Il est donc primordial que ces derniers suivent à la lettre les recommandations du fabricant quant aux mesures de protection relatives aux manipulations et à l'entreposage du produit utilisé.

Consultez le **feuillet 5-B** pour plus d'information sur le bon usage des herbicides.

Effets des matières en suspension

Les matières en suspension sont principalement composées :

- de particules de sol ;
- de matière organique provenant du sol, des résidus de culture et des engrais de ferme.

Dans certaines rivières, **l'érosion hydrique** représente la presque totalité des charges de matière en suspension (MENVIQ, 1988).

Les matières en suspension causent les problèmes suivants :

- diminution de la diversité biologique dans les cours d'eau ;
- augmentation des coûts de traitement de l'eau potable ;
- drainage inadéquat des terres agricoles résultant d'une réduction de l'efficacité hydraulique des cours d'eau due à la sédimentation (coût de nettoyage parfois important) ;
- réduction des possibilités de loisirs et d'usages des cours d'eau ;
- altération de l'aspect visuel des cours d'eau.

Effets des microorganismes pathogènes

Les humains en contact avec les microorganismes pathogènes provenant des engrais de ferme peuvent contracter des **maladies** comme la gastroentérite et les hépatites de type A ou E (Delisle *et al.*, 1997). Ils peuvent contracter ces maladies en étant exposés directement aux eaux contaminées (consommation, hygiène ou activités récréatives) ou en y étant indirectement exposés (lavage d'aliments, d'ustensiles, pêche ou canotage). De même, de nombreux auteurs signalent certains problèmes de santé animale à la suite d'une contamination des eaux par des déjections animales.

Même quand les directives d'utilisation sont soigneusement suivies, une faible portion des herbicides appliqués aux champs est entraînée et contamine l'environnement. Par ailleurs, les conditions météorologiques prévalant dans les jours suivant l'application jouent un rôle important par rapport à l'importance des quantités d'herbicides transportés hors des sites d'épandage.



Cours d'eau chargé de matières en suspension à la suite des travaux de nettoyage

Richard Laroche, MAPAQ

5. Bien que certains fongicides et insecticides soient aussi parfois employés, l'information présentée dans ce feuillet ne porte que sur les herbicides, car ces derniers sont, de loin, les pesticides les plus utilisés en grandes cultures.

Le critère de qualité pour l'eau potable

Cette valeur est basée sur une consommation à vie et représente la concentration au-delà de laquelle une substance peut se trouver dans l'eau potable sans entraîner d'effets néfastes pour la santé. Le respect de cette valeur indique que l'eau est propre à la consommation. Comme les critères de la qualité de l'eau sont basés sur une consommation à vie, **un dépassement occasionnel de ceux-ci ne signifie pas nécessairement que l'eau est impropre à la consommation**, mais révèle la nécessité d'entreprendre une évaluation environnementale et sanitaire et de déterminer les interventions visant à prévenir toute détérioration de la situation (Giroux *et al.*, 1997).

Une situation préoccupante...

La présence de résidus d'herbicides dans l'eau constitue une situation préoccupante en raison des impacts négatifs possibles sur le milieu aquatique et des **effets additifs potentiels** de la présence simultanée de plusieurs pesticides dans les cours d'eau. Même pour des teneurs à l'état de trace, il sera toujours difficile d'indiquer hors de tout doute que les résidus de pesticides dans l'eau ne présentent pas de risques pour l'être humain et la vie aquatique.

Par les nitrates

Une étude effectuée par le ministère de l'Environnement du Québec (Giroux *et al.*, 1997) sur la qualité des eaux de puits dans les régions de culture intensive de maïs a montré des dépassements occasionnels (4 cas sur 67 suivis) de la norme de 10 mg N-NO₃/l (critère pour l'eau potable), et cela, malgré que les sols soient de types loameux et argileux.

Par le phosphore

La présence de quantités importantes de phosphore dans les eaux de surface est un phénomène couramment observé dans les cours d'eau en milieu agricole. C'est le cas notamment de plusieurs cours d'eau des bassins versants des rivières L'Assomption, Yamaska et Chaudière (Delisle *et al.*, 1997 ; Primeau et Grimard, 1990 ; Simoneau et Grimard, 1989).

Par les herbicides

Au Québec, les résultats de campagnes de mesure sur l'impact de l'utilisation des herbicides en milieu agricole démontrent la présence de ces derniers dans les **eaux de surface et dans les eaux souterraines**.

Présence dans les eaux de surface

Les résultats de campagnes d'échantillonnage, effectuées de 1992 à 1998 par le ministère de l'Environnement du Québec, montrent que des pesticides sont régulièrement détectés, durant l'été, dans les rivières qui drainent des régions où les cultures de maïs et de soya prédominent. Parmi les 23 herbicides analysés, 19 ont été détectés dans l'eau des quatre rivières retenues pour le suivi à long terme (Chibouet, Des Hurons, Saint-Régis et Saint-Zéphirin). Les herbicides détectés le plus souvent sont l'atrazine, le méto-lachlore, le bentazone, le dicamba, le diméthénamide, le 2,4-D et la simazine. Même si l'atrazine est encore détectée dans 100% des échantillons prélevés dans les quatre rivières échantillonnées, les concentrations dans l'eau ont diminué ces dernières années, ainsi que la fréquence de dépassement du critère de qualité de l'eau pour la protection de la vie aquatique (tableau 4).

En 1996, 1997 et 1998, seul l'herbicide atrazine a dépassé occasionnellement le critère de qualité de 5 µg/l établi pour l'eau potable. Tous les autres herbicides détectés ont montré des concentrations inférieures à cette norme.

Les producteurs de grandes cultures utilisent maintenant une gamme de produits phytosanitaires plus diversifiée que par le passé. Jusqu'à maintenant, cela a entraîné l'apparition de quelques nouveaux herbicides dans l'eau comme le bentazone et le diméthénamide. Il sera intéressant de suivre l'évolution de cette diversification dans l'eau des quatre rivières retenues, principalement avec la venue de produits dont l'utilisation se fait à très faible dose.

Tableau 4. FRÉQUENCE MOYENNE DE DÉPASSEMENT DES CRITÈRES DE QUALITÉ POUR LA PROTECTION DE LA VIE AQUATIQUE DANS L'EAU DES RIVIÈRES CHIBOUET, DES HURONS, SAINT-RÉGIS ET SAINT-ZÉPHIRIN DE 1992 À 1998

Herbicides	Nom commercial	Fréquence moyenne de détection (%) entre 1992 et 1998	Fréquence moyenne de dépassement des critères de qualité pour la protection de la vie aquatique (%)						
			1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Atrazine	Aatrex, Primextra	100	43,2	35,8	23,4	16,1	28,5	18,7	12,9
Métolachlore	Dual, Primextra	94,8	0	2,5	2,8	0,7	5,6	1,2	1,1
Diméthénamide	Frontier	67,3	NA ⁽¹⁾	NA	NA	NA	0,6	0	0
Cyanazine	Bladex	50,2	0	0,8	2,1	1,4	0,6	0,6	0
Métribuzine	Lenoxe, Sencor	9,7	0	0	0	0	1,2	0	0,5
MCPA		37,3	NA	2,4	0	0	1,2	0	0
MCPB		1,5	NA	0	0	0	0,6	0	0

Tiré de Giroux, 1999

1. NA: non analysé.

Présence dans les eaux souterraines

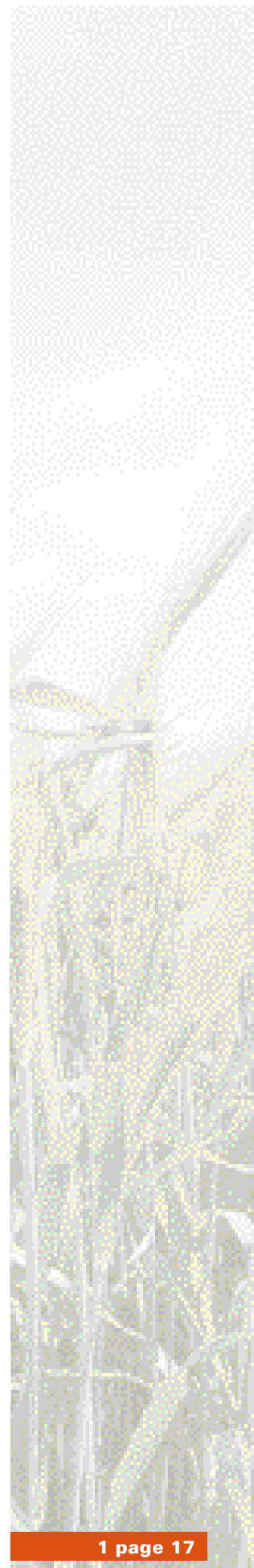
En 1994 et 1995, des mesures de triazines (notamment l'atrazine, la cyanazine, la métribuzine et la simazine) effectuées dans 73 puits répartis dans 30 municipalités où domine la culture du maïs ont permis de déceler la présence de ces herbicides dans 15 puits (MEF, 1995). Dans cette étude, les concentrations de triazines dans l'eau souterraine sont cependant généralement très faibles et respectent le critère pour l'eau potable.

Cependant, pour certaines prises d'eau municipales, au début de juin, la somme de l'atrazine et de ses produits de dégradation dépasse occasionnellement le critère de qualité de l'eau potable. Ces dépassements occasionnels du critère d'eau potable ne sont pas une menace immédiate pour la santé publique, car ces critères comportent des marges de sécurité prévues pour tenir compte d'une exposition à long terme et de l'interaction éventuelle de plusieurs polluants.

L'absence de données plus récentes ne permet pas de connaître l'effet que la diversification des herbicides utilisés en grandes cultures au cours des dernières années a pu avoir sur la qualité de l'eau souterraine. Cependant, même si l'utilisation des triazines a diminué, on peut penser que leur effet sur la qualité de l'eau se fera sentir encore pendant longtemps, car ces composés sont persistants.

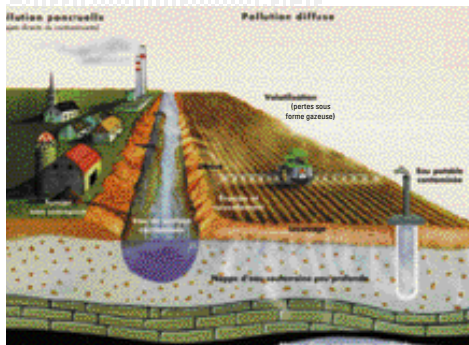
Par les matières en suspension

Ce type de contamination est relativement fréquent en milieu agricole. À titre d'exemple, un suivi de la qualité des eaux effectué par le ministère de l'Environnement du Québec a permis de constater que la qualité de l'eau à la sortie de la rivière Saint-Esprit était fortement réduite par la présence de matières en suspension (Delisle *et al.*, 1997). Les sols du bassin versant de cette rivière servent, dans une importante proportion, à la culture du maïs et des céréales à paille.



Les principaux modes de transport des contaminants en milieu agricole

Adapté de Gouvernement du Québec, 1996



Par des microorganismes pathogènes

À la suite du suivi de la qualité des cours d'eau effectué par le ministère de l'Environnement du Québec, on constate que certaines rivières en territoire agricole comme L'Assomption, la Ouareau et la Saint-Esprit dépassent les critères de qualité bactériologique de l'eau (Delise *et al.*, 1997). Cela a pour effet d'interdire les activités de contact direct comme la baignade et la plongée et même les activités de contact indirect comme le canotage et la pêche.

De quelles façons les contaminants atteignent-ils les systèmes aquatiques ?

Les mécanismes de transport des contaminants

Les engrais, les herbicides, les particules de sol et les microorganismes pathogènes provenant des champs cultivés peuvent atteindre les eaux de surface et souterraines sous l'action de divers mécanismes. Les principaux sont :

- le lessivage ;
- le ruissellement ;
- l'érosion.

Le lessivage des éléments fertilisants et des herbicides est le principal mécanisme impliqué dans la pollution de l'eau souterraine. La contamination des eaux de surface, elle, résulte surtout du ruissellement de l'eau de pluie et de la fonte des neiges à la surface du sol ainsi que des érosions hydrique et éolienne.

Lessivage de contaminants en profondeur

Il y a lessivage lorsque **des éléments ou des composés solubles ou faiblement liés aux particules de sol sont entraînés en profondeur par l'eau** à travers le profil du sol. Ces éléments et composés risquent alors de contaminer l'eau souterraine. Il peut aussi y avoir entraînement en profondeur des contaminants par des chemins préférentiels: fissures, macropores, etc. En présence de systèmes de drainage souterrain, le lessivage peut résulter en une contamination des eaux de surface.

Les **nitrate**s et **certain**s herbicides sont les principaux composés transportés par lessivage. Le phosphore peut aussi être lessivé surtout dans le cas des sols excessivement riches et montrant un taux de saturation élevé en cet élément (voir l'encadré).

Plusieurs caractéristiques associées au sol et à la nappe d'eau exercent une influence importante sur le potentiel de lessivage des herbicides et des nitrates. **Les conditions suivantes augmentent les risques de contamination des eaux souterraines :**

- une texture de sol sableuse ;
- une faible teneur en matière organique ;
- la présence de nombreux macropores ou de fissures ;
- un drainage rapide ;
- une saturation en eau fréquente ;
- l'absence de protection par un couvert végétal ;
- la présence d'une nappe d'eau souterraine peu profonde ;
- une pluie forte ou une fonte des neiges rapide.

Plus le sol est perméable et plus un élément ou un composé est soluble, plus le lessivage risque d'être important.

La contamination des eaux par le phosphore

La contamination de l'eau par le phosphore résulte principalement de l'érosion du sol. En effet, cet élément se lie facilement aux particules de sol et est entraîné avec ces dernières vers les cours d'eau lorsque se produit de l'érosion (par l'eau ou le vent). Plus le sol d'un champ est riche en phosphore, plus la quantité de cet élément atteignant les cours d'eau risque d'être élevée. De plus, le risque de contamination est accru si le taux de saturation en phosphore du sol est élevé, puisque sa solubilité tend alors à être plus grande.

Certaines pratiques peuvent atténuer la contamination par lessivage :

- une gestion optimale de la fertilisation : éviter les apports excessifs, fractionner les applications, fertiliser aux bonnes périodes, etc. (**module 4**) ;
- l'utilisation rationnelle des herbicides (**module 5**) ;
- le recours aux engrais verts afin de retenir une partie des éléments fertilisants après la récolte (**module 6**) ;
- la correction des problèmes de drainage (**module 7**).

Ruissellement des contaminants à la surface

Le ruissellement se produit lorsque **le taux de précipitations (ou la fonte de la neige) excède le taux d'infiltration dans le sol**. Le risque de ruissellement est donc le plus grand au moment où le **sol de surface est saturé d'eau**, c'est-à-dire :

- lors de fortes précipitations ;
- quelque temps après le début d'une pluie modérée mais continue ;
- au printemps ou à l'automne lorsque le sol est gorgé d'eau ou gelé.

Le ruissellement est la **principale source de pollution des eaux de surface** par les éléments solubles (nitrates et certains herbicides) et par les micro-organismes pathogènes se retrouvant à la surface du sol.

Les **risques de migration** des contaminants avec les eaux de ruissellement augmentent lorsqu'on retrouve dans le champ des conditions telles que :

- une texture de sol fine (ex. : argiles) ;
- une détérioration de la structure du sol ;
- la formation d'une croûte à la surface du sol (battance) ;
- un mauvais drainage ;
- une saturation en eau fréquente ;
- des pentes (le risque de migration des contaminants augmente avec l'inclinaison de la pente) ;
- l'absence de protection par un couvert végétal ;
- la présence de peu de résidus de culture en surface du sol.



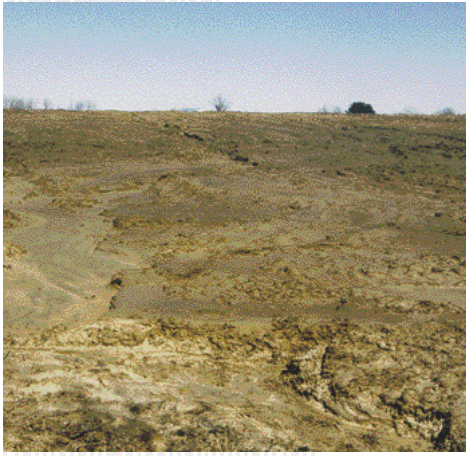
Parmi les pratiques pouvant contribuer à réduire la contamination des eaux par ruissellement soulignons :

- adopter un système de travail du sol qui laisse plus de 30% de résidus à la surface (**module 2**) ;
- protéger et améliorer la structure du sol :
 - par des techniques de travail du sol appropriées (**module 2**) ;
 - par une gestion optimale de la matière organique (**module 3**) ;
 - par un drainage adéquat (**module 7**) ;
 - en évitant de compacter le sol (**module 7**) ;
- semer des cultures intercalaires et des engrais verts afin de maintenir une couverture végétale le plus longtemps possible (**module 6**) ;
- avoir recours à des aménagements (ex. : bandes de protection riveraines, bassin de captage, etc.) et à des techniques (ex. : cultures à contre-pente) permettant de réduire l'érosion (**module 6**) ;
- prévenir et corriger les problèmes de drainage et de compaction (**module 7**).

Champ de maïs couvert de résidus de culture

Anne Vanasse, CONCEPTRA

Toute pratique qui favorise l'infiltration de l'eau dans le sol contribue à diminuer le volume d'eau ruissellée.



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

ENVIROSOL

Érosion des sols agricoles

La pollution de l'eau créée par l'érosion consiste en :

- une **augmentation des matières en suspension** (particules de sol et matière organique);
- une **contamination par les composés liés aux particules de sol**, c'est-à-dire :
 - les **pesticides**,
 - les **éléments fertilisants** (principalement le phosphore).

Telles que décrites précédemment, les pertes de sol par érosion se produisent sous l'effet de l'eau de ruissellement (érosion hydrique en rigole et en nappe) et sous l'effet du vent (érosion éolienne). **L'érosion hydrique** est généralement celle qui a le plus d'impact sur la qualité des eaux de surface.

La plupart des pratiques qui permettent de réduire le ruissellement contribuent à diminuer l'érosion hydrique (voir sous-section précédente). D'autres techniques se rapportant spécifiquement à la réduction de l'érosion hydrique et de l'érosion éolienne (ex.: voies d'eau engazonnées, stabilisation des sorties de drains, brise-vent, etc.) se retrouvent au **module 6**.

En résumé

Le tableau 5 résume les mécanismes impliqués dans le transport des principaux contaminants vers les eaux de surface ou les eaux souterraines.

Tableau 5. MÉCANISMES DE TRANSPORT DES PRINCIPAUX CONTAMINANTS VERS LES SYSTÈMES AQUATIQUES

Contaminants	Mécanisme principal	Autre mécanisme	Particularité	Système aquatique atteint	
				Eaux de surface	Eaux souterraines
Phosphore	Érosion	Ruissellement et lessivage	Perte par lessivage dans les sols riches et saturés en phosphore ainsi que par les fissures du sol.	Le plus fréquemment atteint	Parfois atteint
Azote sous forme de nitrate	Lessivage	Ruissellement	Très soluble et donc très mobile.	Parfois atteint	Le plus fréquemment atteint
Azote sous forme d'ammoniaque	Ruissellement et érosion	Lessivage	Perte par lessivage dans les sols à faible capacité de fixation et par les fissures du sol.	Le plus fréquemment atteint	Parfois atteint
Herbicides	Lessivage, ruissellement et érosion		Le premier événement de ruissellement suivant l'application contribue pour environ 80% des pertes annuelles du champ. Certains sont très résiduels.	Le plus fréquemment atteint	Le plus fréquemment atteint
Micro-organismes pathogènes	Ruissellement	Lessivage	Contamination possible de l'eau souterraine par les fissures du sol.	Le plus fréquemment atteint	Parfois atteint

Quelle est l'efficacité des diverses pratiques de conservation ?

Les pratiques de conservation n'ont pas toutes la même efficacité pour réduire l'impact des activités agricoles sur l'environnement. C'est pourquoi il est préférable de privilégier une approche globale qui intègre plusieurs pratiques en fonction des particularités de la ferme. Aussi, il est essentiel de déterminer s'il existe des problèmes particuliers de dégradation des sols ou de pertes de contaminants dans l'environnement afin de choisir les pratiques qui auront le plus d'impact. Les avantages (ou inconvénients) agronomiques et économiques doivent aussi être pris en considération. Le tableau 6 présente, pour quelques pratiques de conservation, une évaluation de leur efficacité à réduire les pertes de contaminants vers les eaux de surface. Ces évaluations ont pour but de fournir un aperçu de l'efficacité de ces pratiques de conservation; elles peuvent différer de façon plus ou moins importante selon les caractéristiques de chaque ferme.

Tableau 6. ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ DE QUELQUES PRATIQUES DE CONSERVATION À RÉDUIRE LES PERTES VERS LES EAUX DE SURFACE^(a)

Pratiques de conservation	Sédiments	Éléments fertilisants solubles	Éléments fertilisants adsorbés aux particules de sols	Pesticides dissous dans l'eau de ruissellement	Pesticides adsorbés aux particules de sols	Micro-organismes pathogènes
Gestion optimale des engrais chimiques	0 ^(b)	Moyen à excellent	Moyen à excellent	0	0	0
Gestion optimale des engrais de ferme	0	Moyen à excellent	Moyen à excellent	0	0	Moyen à excellent
Réduction des quantités d'herbicides et lutte intégrée	0	0	0	Moyen à excellent	Moyen à excellent	0
Travail réduit, semis direct, cultures sur billons	Moyen à excellent	Pas de contrôle à faible	Moyen à excellent	Pas de contrôle à faible	Moyen à excellent	Pas de contrôle à faible
Bande de protection riveraine herbacée	Faible à moyen	Pas de contrôle à faible	Faible à moyen	Pas de contrôle à faible	Faible à moyen	Faible à moyen
Haie brise-vent ^(c)	Faible à moyen	Pas de contrôle à faible	Faible à moyen	Pas de contrôle à faible	Faible à moyen	Pas de contrôle à faible
Terrasse	Moyen à excellent	Faible à moyen	Moyen à excellent	Faible à moyen	Moyen à excellent	Faible à moyen
Voie d'eau engazonnée	Faible à moyen	Pas de contrôle à faible	Faible à moyen	Pas de contrôle à faible	Faible à moyen	Pas de contrôle à faible
Engrais verts et cultures intercalaires	Faible à moyen	Faible à moyen	Faible à moyen	Faible à moyen	Faible à moyen	Pas de contrôle à faible

a. Adapté de Nokes et Ward, 1999.

b. Signifie que la pratique de conservation ne peut avoir d'impact, si ce n'est que très peu, sur le type de contamination évalué.

c. Les haies brise-vent contribuent à la réduction de la dérive lors des pulvérisations d'herbicides et, par le fait même, à la diminution des risques de contamination des eaux de surface.

Pour en savoir plus

RÉDACTION

Daniel Massicotte, agronome,
ENVIROSOL, Drummondville

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

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

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

COLLABORATION

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

RÉVISION

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

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

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

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

Werner G. Schur,

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

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

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

Références relatives à la section « Pour protéger les sols et maintenir le rendement des cultures »

- ▶ **CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC inc.** 1981. Sols: l'érosion par l'eau. AGDEX 572. Conseil des productions végétales du Québec inc. 15 p.
- ▶ **CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC inc.** 1986. La dégradation des sols agricoles: causes, effets, prévention et correction. Bulletin technique 13. AGDEX 570. Conseil des productions végétales du Québec inc. 148 p.
- ▶ **CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC inc.** 1995. Diagnostic de la dégradation des propriétés physiques des sols. Bulletin technique 21. AGDEX 500. Conseil des productions végétales du Québec inc. 16 p.
- ▶ **CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC inc.** 1996. Sols - Estimation de l'activité biologique des sols. Bulletin technique 23. AGDEX 508. Conseil des productions végétales du Québec inc. 35 p.
- ▶ **MEHUYS, G.R.** 1981. L'érosion par l'eau. Conseil des productions végétales du Québec inc. Agdex 572. 15 p.
- ▶ **TABI, M., L. TARDIF, D. CARRIER, G. LAFLAMME et M. ROMPRÉ.** 1990. Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec. Entente auxiliaire Canada-Québec sur le développement agroalimentaire. Rapport synthèse. 71 p.

Références relatives à la section « Parce que ces pratiques de conservation sont rentables »

- ▶ **GIGUÈRE, M.** 1999. Entre le traditionnel et le biologique. Bulletin des agriculteurs. novembre 1999. p. 36-38.
- ▶ **LECOURS, R., et P. LACHANCE.** 1999. L'Association cultures sans herbicides. Texte présenté sur le site WEB *Herbicides et environnement*, entretenu par Pierre Lachance, agronome, Direction Montérégie Est, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Adresse du site: <http://members.tripod.com/plachance>
- ▶ **MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC.** 1994. Maïs sans herbicides. Cahier des conférences, Journée d'information agricole, Direction régionale Richelieu, Saint-Hyacinthe, 13 décembre 1994.
- ▶ **MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC.** 1998a. Cultures sans intrants chimiques. Cahier des conférences, Journée d'information agricole, Direction régionale Montérégie Est, Saint-Hyacinthe, 10 décembre 1998.
- ▶ **MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC.** 1998b. GR-MAX 1998b. Direction régionale de la Montérégie. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.
- ▶ **MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC.** 1999. GR-MAX 1999. Direction régionale de la Montérégie. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.

- ▶ **ORGANIC CROP IMPROVEMENT ASSOCIATION.** 1998. Normes internationales de certification. OCIA International, OCIA Québec et Association pour l'amélioration des cultures biologiques. 62 p.

**Références relatives à la section
« Pour protéger l'environnement »**

- ▶ **AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE CANADA et MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION DE L'ONTARIO.** 1993. Les pratiques de gestion optimales: grandes cultures. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario. 133 p.
- ▶ **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.)
- ▶ **CHAMPAGNE, L.** 1993. Contamination des eaux souterraines par les nitrates à partir de sources agricoles - État de situation. Division des eaux souterraines, ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, rapport n° 1427.
- ▶ **CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC inc.** 1997. Les pratiques de gestion optimales: la gestion de l'eau. Conseil des productions végétales du Québec inc. 93 p.
- ▶ **CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC inc.** 1997. Les pratiques de gestion optimales: gestion des éléments nutritifs. Conseil des productions végétales du Québec inc. 69 p.
- ▶ **CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC inc.** 1997. Les pratiques de gestion optimales: gestion du sol. Conseil des productions végétales du Québec inc. 68 p.
- ▶ **DELISLE, F., S. GARIÉPY et Y. BÉDARD.** 1997. Bassin versant de la rivière L'Assomption: l'activité agricole et ses effets sur la qualité de l'eau. Ministère de l'Environnement et de la Faune et Saint-Laurent Vision 2000. 110 p.
- ▶ **FAWCETT, R.S., B.R. CHRISTENSEN et D.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.
- ▶ **FORMAN, D.** 1989. «Are Nitrates a Significant Risk Factor in Human Cancer?». Cancer Surveys 8: 443-458.
- ▶ **GIROUX, I.** 1999. Contamination de l'eau par les pesticides dans les régions de culture de maïs et soya au Québec. Campagnes d'échantillonnage pour 1996, 1997 et 1998. Ministère de l'Environnement du Québec. 23 p. et annexes.
- ▶ **GIROUX, I., M. DUCHEMIN et M. ROY.** 1997. Contamination de l'eau par les pesticides dans les zones de culture intensive du maïs au Québec. Campagnes d'échantillonnage de 1994 et 1995. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec. 51 p.
- ▶ **GOVERNEMENT DU QUÉBEC.** 1996. Pour une eau de qualité en milieu rural - Comprendre et agir collectivement. Bibliothèque nationale du Québec, Environdoq EN960135. 35 p.
- ▶ **LAFRANCE, P., et O. BANTON.** 1996. Évaluation environnementale des pratiques culturales sur maïs pour la réduction des pertes d'herbicides. Rapport de recherche N° R-390, Institut national de la recherche scientifique, INRS-Eau. 919 p.



- ▶ **LEONARD, R.A.** 1990. Movement of pesticides into surface waters. Pesticide in the soil environment, Soil Science of America, chapter 9: 303-349.
- ▶ **MEHUYS, G.R.** 1981. L'érosion par l'eau. Conseil des productions végétales du Québec inc. Agdex 572. 15 p.
- ▶ **MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC et GROUPE GÉAGRI.** 1999. Ma ferme, j'en prends soin !: auto-évaluation de mes pratiques agroenvironnementales. Québec. 71 p.
- ▶ **MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC.** 1988. L'Environnement au Québec - Un premier bilan. Dépôt légal - 2^e trimestre 1988. Bibliothèque nationale du Québec. Bibliothèque nationale du Canada. 429 p.
- ▶ **MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC.** 1993. État de l'environnement au Québec, 1992. Montréal, Guérin. 560 p.
- ▶ **MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA FAUNE.** 1995. Qualité de l'eau en milieu agricole: la culture du maïs et les pesticides. Direction des écosystèmes aquatiques. Publication 95308310. 8 p.
- ▶ **NOKES, S., et A. WARD.** 1999. Surface water quality best management practices summary guide. Ohio State University Extension Factsheet. AEX-464-92. 4 p. Adresse du site : <http://www.ag.ohio-state.edu/~ohioline/aex-fact/0464.html>
- ▶ **PEREIRA, W.E., et C.E. ROSTAD.** 1990. Occurrence, distributions and transport of herbicides and their degradation products in the lower Missisipi River and its Tributaries. Environ. Sci. Technol. 24 (9): 1400-1406.
- ▶ **PESANT, A.R., J.L. DIONNE et J. GENEST.** 1987. Soil and nutrient losses in surface runoff from conventional and no-till corn systems. Can. J. Soil Sci. 67: 835-843.
- ▶ **PRIMEAU, S., et Y. GRIMARD.** 1990. Rivière Yamaska. 1975-1988. Volume 1: Description du bassin versant et qualité du milieu aquatique. Ministère de l'Environnement du Québec. 136 p.
- ▶ **SHARPLEY, A.N., S.C. CHAPRA, R. WEDEPOHL, J.T. SIMS, T.C. DANIEL et K.R. REDDY.** 1994. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: Issues and options. J. Environ. Qual. 23: 437-451.
- ▶ **SIMONEAU, M., et Y. GRIMARD.** 1989. Qualité des eaux du bassin de la rivière L'Assomption. 1976-1987. Ministère de l'Environnement du Québec. Direction de la qualité du milieu aquatique. 234 p.
- ▶ **STEARMAN, G.K., et M.J.M. WELLS.** 1997. Leaching and runoff of simazine, 2,4-D and bromide from nursery plots. J. Soil and Water Conserv. 52 (2): 137-144.
- ▶ **VALLÉE, P.** 1989. La valorisation des déjections animales: problématiques et éléments de solutions. Conférence présentée à la Corporation des agronomes de la région des Cantons de l'Est, 15 février. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec. 27 p. + annexes.