



UNE INITIATIVE DE LA COMMISSION
DE CONSERVATION ET DE GESTION DES SOLS
ET DE LA COMMISSION DE GENIE
AGROALIMENTAIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT

COLLOQUE EN AGROENVIRONNEMENT

« Des outils d'intervention à notre échelle »

Le 24 février 2005, Drummondville

Les principales causes d'un mauvais drainage de surface, diagnostic et corrections

Victor SAVOIE, ing., agr.
Conseiller

MAPAQ, Direction régionale du Centre-du-Québec
Nicolet

Conférence préparée avec la collaboration de :

André BRUNELLE, agr.
MAPAQ, Direction régionale du Centre-du-Québec

Note : Cette conférence a été présentée lors de l'événement
et a été publiée dans le cahier des conférences.

Les principales causes d'un mauvais drainage de surface, diagnostic et corrections

INTRODUCTION

Il arrive parfois que les rendements obtenus à l'automne ne soient pas à la hauteur de l'espoir et surtout des argents que l'on a consacrés à la culture en cours de saison. L'expérience obtenue de très nombreux diagnostics au champ, nous a montré que le mauvais égouttement est la cause la plus fréquente des rendements insatisfaisants.

Une fertilité insuffisante ou un mauvais désherbage sont parfois à blâmer, mais ces symptômes cachent souvent une toute autre réalité. Bien souvent une forte carence en azote ne sera pas due à une fertilisation insuffisante, mais plutôt à une dénitrification causée par l'excès d'eau qui a causé une mauvaise aération du sol. De même, une forte infestation de mauvaises herbes peut parfois résulter du manque de compétitivité de la culture plutôt que d'une déficience du programme de désherbage. Ce phénomène s'observe souvent dans les céréales à paille, particulièrement l'orge dont les racines sont très sensibles aux excès d'eau.

Bien sûr, le pH, la fertilité, le désherbage et le semis bien fait sont essentiels. Il ne faut pas oublier, cependant, que ces efforts seront perdus si l'égouttement est inadéquat.

Le mauvais égouttement ne résulte pas seulement du manque de drainage souterrain ou du compactage du sol comme on le pense souvent. Il y a cinq causes possibles qui doivent être correctement identifiées afin d'être en mesure d'appliquer le correctif approprié. Ces causes sont :

- une nappe phréatique trop élevée;
- la présence d'une nappe perchée;
- l'écoulement hypodermique;
- les dépressions;
- les sols à structures instables.

Nous verrons comment reconnaître ces problèmes à partir de l'observation du profil de sol et de la topographie du champ.

COMMENT FAIRE UN BON DIAGNOSTIC DE CHAMP

Pour diagnostiquer les problèmes de drainage, il faut examiner le profil de sol ainsi que la culture et avoir recours à certains outils. Plus particulièrement, les dix éléments suivants peuvent aider à poser le diagnostic :

- la couleur des diverses couches de sol;
- la présence de marbrures dans le profil : leur localisation et leur contraste;
- la présence d'une couche compactée;
- l'odeur du profil de sol;
- la distribution des racines dans le profil de sol;
- la distribution de l'eau dans le profil de sol;
- les symptômes chez les cultures : jaunissement par anoxie et autres;
- la carte topographique du champ;
- la carte des rendements;
- la photographie aérienne du champ.

Dans cet exposé, faute de temps, nous ne pourrons élaborer tous ces éléments. Quelques notions essentielles pour fins de compréhension sont expliquées dans le texte. Pour les autres éléments, nous vous référons au texte de référence « Diagnostic et correction de problèmes de compaction et de drainage » mentionné en référence à la fin du texte.

Comment faire ces observations?

Creuser des trous et observer les profils de sol

Il s'agit de faire un certain nombre de trous dans le sol à une profondeur de 60-90 cm (24-35 po) et ayant un diamètre suffisant pour pouvoir creuser facilement à la pelle ronde.

À quel endroit?

Il faut localiser ces profils (trous) d'observation à des endroits stratégiques du champ, par exemple :

- aux abords des dépressions où le sol peut être compacté;
- au pied des pentes où l'eau d'écoulement hypodermique (écoulement horizontal se produisant dans la partie supérieure du profil) peut surgir;
- dans les baïssières;
- dans les zones à faible et à bon rendement afin de comparer les profils.

Généralement, un champ d'une vingtaine d'hectares peut être correctement diagnostiqué à l'aide d'un maximum de cinq à huit profils bien localisés. Le nombre de profils nécessaires dépendra de la variabilité du relief du champ et de la complexité du ou des problèmes à diagnostiquer.

QUELQUES NOTIONS ESSENTIELLES

La couleur du sol

La couleur du sol minéral résulte essentiellement du fer qui est plus ou moins oxydé selon le degré d'aération du sol. Une bonne aération amène une oxydation du fer qui donne une couleur brunâtre au sol. Cette couleur passe graduellement au gris et même au verdâtre ou gris bleuté

à mesure que l'excès d'eau diminue l'aération du sol. La couleur est donc un très bon indice du drainage interne puisque celle-ci dépend de l'aération qui est à son tour contrôlée par l'efficacité du drainage interne du sol. Règle générale, la couleur du sol sera brunâtre en surface et passera graduellement vers le gris ou le gris bleuté en profondeur.

Les marbrures

Les marbrures ressemblent à des taches de rouille que l'on observe parfois dans le sol. Elles signalent une couche qui est parfois saturée en eau sur une assez longue période pour solubiliser le fer qui ira s'oxyder et se déposer aux endroits où l'aération est meilleure. La présence de taches de rouille à moins de 45 centimètres de profondeur et à plus forte raison dans la couche de surface dénote fort probablement un problème d'égouttement de surface. Une mise en garde s'impose cependant puisque les marbrures peuvent être des reliques d'une période où le sol était alternativement sec et humide. Par exemple, un sol drainé souterrainement conservera pendant longtemps ses marbrures dans le sous-sol même si la nappe souterraine ne remonte plus dans la zone où elles se situent présentement.

L'odeur

Il arrive parfois que le sol sente les œufs pourris, surtout autour des débris végétaux enfouis dans l'horizon de surface. Cela se produit lorsque l'aération est si déficiente que le soufre des débris végétaux a été transformé en hydrogène sulfureux. Ceci caractérise à coup sûr un horizon si mal aéré que le rendement des récoltes sera sûrement réduit. Il faut savoir aussi que l'azote est perdu par dénitrification bien avant que le sol commence à sentir le soufre. Le sol qui entoure les débris organiques qui sentent les œufs pourris est généralement de couleur plus gris ou plus bleuté que celui situé à quelques centimètres plus loin. Ce phénomène est dû à la décomposition des débris végétaux qui a utilisé le peu d'oxygène qui se trouvait dans le sol.

DIAGNOSTIC ET CORRECTION DES PROBLÈMES D'ÉGOUTTEMENT

Les nappes phréatiques trop élevées

La hauteur de la nappe phréatique d'un sol, c'est-à-dire la zone à partir de laquelle le sol est saturé d'eau, varie avec la saison. Elle est le plus près de la surface très tôt au printemps et très tard à l'automne et s'abaisse parfois considérablement au cours des mois d'été. On observe sa profondeur en creusant un trou dans le sol et en observant la profondeur à laquelle elle se stabilise. Dans les sols sableux, l'équilibre est atteint rapidement alors qu'il faut parfois attendre plusieurs heures (parfois une journée) dans les sols argileux. Il faut toujours s'assurer de la provenance de l'eau qui se retrouvera éventuellement dans le fond du trou. Il est en effet possible que celui-ci se remplisse à partir d'écoulement superficiel, notamment par l'écoulement hypodermique que l'on observe souvent au bas de la couche de labour. Cette eau pourrait remplir partiellement le trou sans que la nappe phréatique soit en cause. Il faut donc observer le profil pendant quelques minutes afin de s'assurer que l'eau provient bien de la base du profil et non de sa partie supérieure.

Correctifs

Nous avons observé que si la nappe se situe à moins de 60 centimètres de la surface au cours du printemps (avant les semis) ou à la période des récoltes, il faudra songer à la rabaisser par la mise en place d'un système de drainage souterrain. Celui-ci pourra être complet ou partiel selon les résultats de l'étude technique qui devrait précéder la mise en place du système.

Les nappes perchées

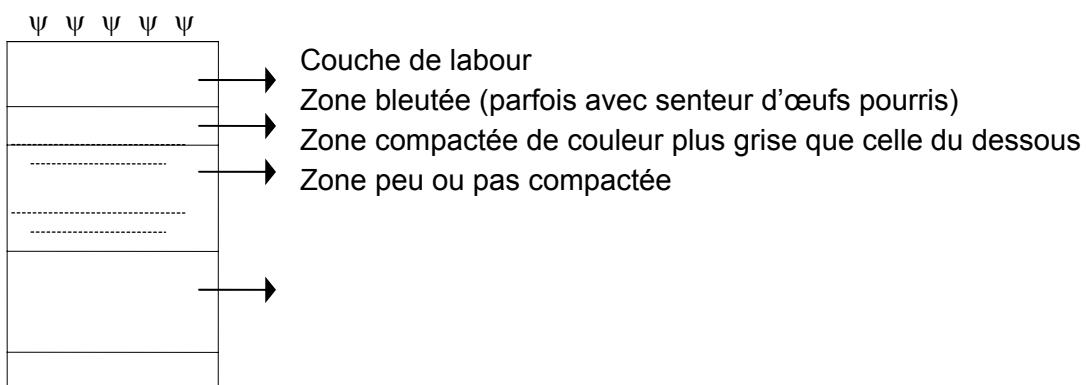
Les nappes perchées sont des zones saturées d'eau qui se retrouvent dans la partie supérieure du profil de sol. Elles résultent de la présence d'une couche moins perméable sur laquelle l'eau s'accumule. Une couche compactée au bas de la couche de labour ou, dans certains cas, une discontinuité texturale (ex. : sable sur argile) peuvent causer ce problème. Le ressuyage lent du sol nuit alors au développement des racines et retarde l'accès au champ le printemps. Les racines ne se développant pas en profondeur, la culture devient plus sensible à la sécheresse. En période humide, les conditions sont propices à la dénitrification du sol (perte de l'azote).

La zone occupée par la nappe perchée montre souvent une couleur plus terne ou plus grise que l'horizon immédiatement en dessous. Cette inversion de la séquence normale des couleurs des horizons est un bon critère de diagnostic des nappes perchées.

Une odeur d'œufs pourris sera parfois présente au sommet de la zone compactée qui correspond souvent à l'endroit où la charrue a enfoui les débris végétaux. La senteur d'œufs pourris à la base d'une couche de labour est un critère sûr d'une très sérieuse stagnation d'eau qui réduit à coup sûr le rendement des cultures.

La présence d'une mince zone (1-3 centimètres) bleutée au sommet de la zone compactée est aussi un indice sûr d'une nappe perchée. C'est l'endroit où l'eau demeure le plus longtemps et qui est donc le plus dépourvu en oxygène. (Voir croquis 1).

Croquis 1. Profil de sol montrant les symptômes d'une nappe perchée



La distribution des racines dans le profil de sol peut être aussi un indicateur intéressant. Lorsque les racines s'arrêtent brusquement ou bifurquent horizontalement ceci peut être dû à une zone de densité élevée ou une zone de faible perméabilité qui porte une nappe perchée. Il faut noter que ce phénomène peut être aussi dû à une entrave de nature chimique dû à un horizon fortement acide ou très pauvre.

Correctifs

Les nappes perchées se corrigent en sous-solant environ 10 centimètres en dessous de la zone (compactée ou naturelle) de faible perméabilité. Dans les sols argileux, il vaut mieux sous-soler en conditions sèches de façon à éviter que les dents de la sous-soleuse créent par lissage des canaux souterrains qui empireraient la situation en amenant encore plus d'eau qu'auparavant dans les dépressions et au pied des pentes.

Si les nappes perchées sont dues au compactage, il faut aussi s'interroger sur les causes du compactage. S'agit-il d'une compaction accidentelle ou les champs ont-ils des défauts d'égouttement qui prédisposent au compactage? Dans l'affirmative, il faudra corriger les défauts de conformation (cuvette, etc.) qui prédisposent au compactage. On comprendra que les endroits qui s'égouttent mal seront plus humides au moment des travaux culturels et donc plus susceptibles d'être compactés.

L'écoulement hypodermique

L'écoulement hypodermique réfère ici à l'eau qui se déplace à l'intérieur du sol, principalement dans la partie supérieure du profil, des endroits les plus élevés du champ vers les endroits les plus bas. Cette migration se manifeste surtout lorsqu'il y a pente longitudinale, c'est-à-dire dans le sens de la longueur du champ.

Une hypothèse pour expliquer ce phénomène, est qu'il serait causé par des opérations culturelles tels que le labour, le hersage, le chisel, le sous-solage, le semis, etc. Des canaux préférentiels se créeraient dans le sens de la direction des divers travaux, ce qui favoriserait la migration de l'eau dans le sens longitudinal. Il faut de plus signaler la forte différence de perméabilité entre l'horizon de surface qui subit annuellement un travail primaire et l'horizon du dessous qui n'en subit pas.

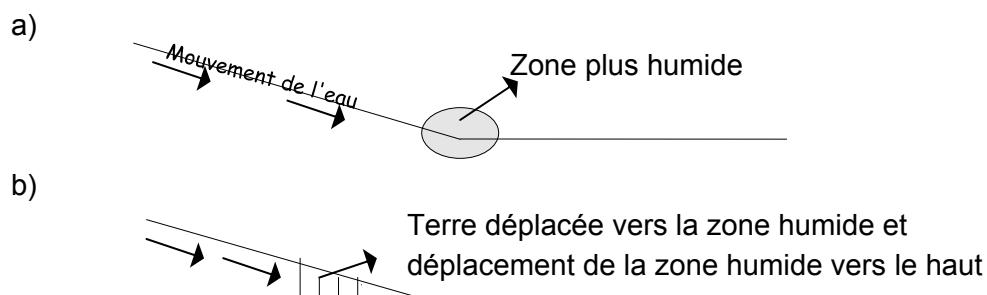
Cette eau a la particularité de migrer même lorsque la pente du champ est très faible ($\leq 0,5\%$) et d'apparaître au pied de ces pentes, sur les replats ou sur une partie de champ à pente longitudinale encore plus faible. Lorsque cette pente longitudinale est relativement régulière, il est facile de voir que la partie amont d'un champ se ressue normalement, alors que l'humidité du sol de surface augmente vers la partie basse du champ.

Puisqu'il s'agit parfois de pente non discernable à l'œil nu, les zones de résurgence, c'est-à-dire celles où l'eau tend à faire surface, sont souvent confondues avec des dépressions. Les

tentatives que l'on fera pour combler ces dépressions seront inutiles, car la zone de résurgence ne fera que se déplacer un peu plus en amont de la zone antérieure.

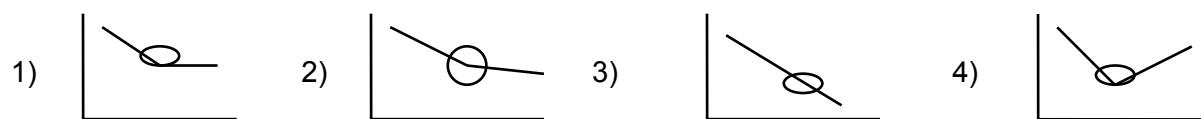
Le croquis 2 illustre ce qui constitue la source la plus fréquente de confusion dans le diagnostic et d'erreur dans les aménagements. Il s'agit des zones de résurgence au pied des pentes très faibles qui sont confondues avec des dépressions que l'on essaiera en vain de combler.

Croquis 2. Vue schématique d'une rencontre de deux pentes (même faible) qui peut être confondue avec une dépression



Le croquis 3 montre les quatre endroits où la résurgence reliée au phénomène d'écoulement hypodermique est le plus susceptible de se manifester. Les pentes verticales représentées sur les graphiques sont fortement exagérées.

Croquis 3. Localisation des zones de résurgence liées au phénomène d'écoulement hypodermique



- 1) Contact d'une pente avec un replat.
- 2) Contact d'une pente avec une pente plus faible.
- 3) Pente régulière. L'humidité augmente à mesure que l'on se rapproche du bas de la pente.
- 4) Rencontre de pentes de direction opposée.

Ces zones de résurgence entraînent généralement des baisses de rendement qui sont souvent visibles sur les cartes de rendement géoréférencées.

Les pentes latérales qui peuvent être données à certains aménagements, telles les planches en faîte ou les planches à un versant, ne corrigent pas convenablement le phénomène d'écoulement hypodermique qui est surtout longitudinal. On observera souvent que le bas d'une longue pente sera humide, et ce, sur l'ados d'une planche en faîte.

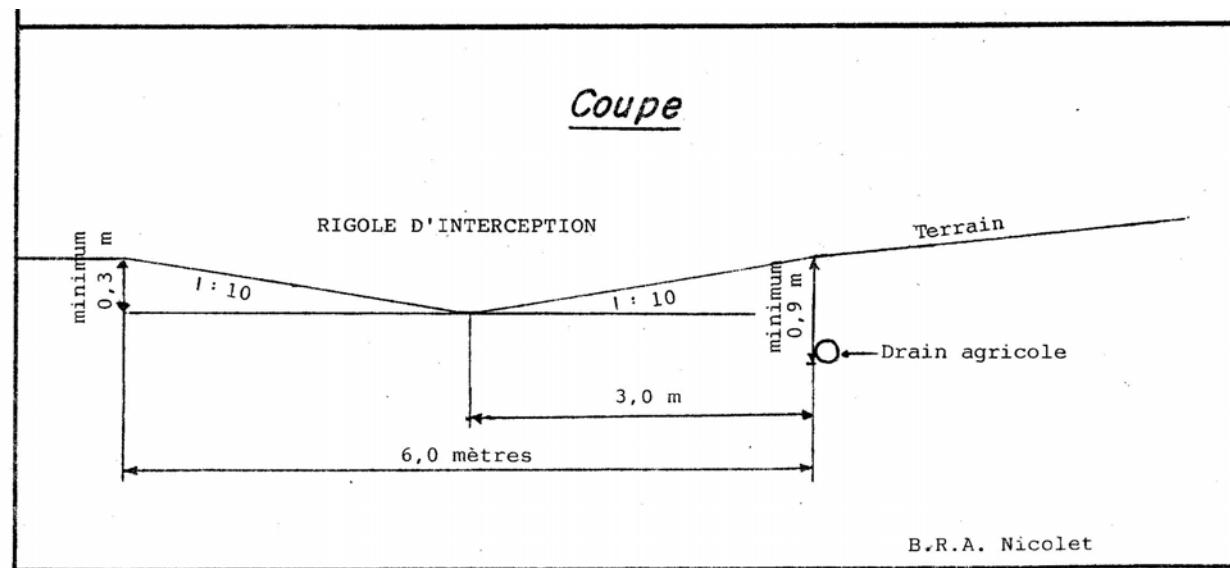
Cependant, il est à noter que ces phénomènes d'écoulement hypodermique sont atténués sinon éliminés par la bonne perméabilité que l'on retrouve dans certains sols. À l'inverse, toute diminution de la perméabilité (compaction, etc.) se traduira par une augmentation d'écoulement hypodermique.

Correctifs

La mise en place de rigoles d'interception constitue un des moyens les moins coûteux et les plus efficaces pour contrer l'écoulement hypodermique. Les rigoles d'interception sont des rigoles de 30 à 45 centimètres (12 à 18 pouces) de profondeur comportant des côtés très évasés, c'est-à-dire avec des pentes de 10:1 pour une largeur totale de 6 à 9 mètres (20 à 30 pieds). Ces côtés évasés ont pour but de faciliter le passage de la machinerie. La rigole se pose perpendiculairement à la longueur du champ et se vide dans un émissaire (raie de curage ou fossé). Le centre de la rigole sera préférablement engazonné sur une largeur de 2 à 3 mètres (7 à 10 pieds). On devra s'assurer que la rigole ne soit pas remplie par les travaux culturaux.

De plus, il est souvent très utile d'installer un drain souterrain de façon à rabaisser la nappe et faciliter le passage des instruments aratoires dans la rigole. Ce drain se place à une profondeur minimale de 1 mètre (3 pieds). Il se situe de côté d'où provient la plus grande partie de l'eau de surface, à une distance d'environ 3 mètres (10 pieds) du centre de la rigole (croquis 4). Ces rigoles d'interception se placent à la rencontre des pentes où s'observe une zone humide (voir croquis 3).

Croquis 4. Rigole d'interception



Au lieu d'une rigole d'interception, une tranchée filtrante peut être placée en travers de la pente. Celle-ci consiste en un canal de drainage rempli de matériaux poreux, généralement des résidus de l'industrie forestière (copeaux, etc.). Une conduite perforée doit être installée dans le fond du canal pour évacuer l'eau interceptée vers un émissaire (fossé, cours d'eau).

Les dépressions

Les zones dépressionnaires sont des cuvettes qui recueillent l'eau des environs. Elles demeurent ainsi plus humides au printemps et lors des pluies d'été et d'automne. Elles ont pour conséquence, entre autres, de retarder la date d'entrée au champ, de diminuer les rendements et de rendre plus difficile la réalisation des récoltes tardives. Très souvent, les sols de ces cuvettes seront compactés puisqu'ils sont travaillés en conditions trop humides. Le problème original s'en trouve accru, puisque la compaction diminue la perméabilité au sol. C'est pourquoi la zone humide tend à s'agrandir.

L'observation du relief permet parfois de localiser facilement les zones de dépression. La carte topographique avec ces cotes de niveau permettra de confirmer les observations sur le terrain. Cependant, lorsque les pentes sont très faibles, il y a risque de confondre une cuvette authentique avec une zone de résurgence.

Correctifs

Nivellement

Le remplissage des cuvettes est parfois possible, mais celles de plus grandes dimensions posent souvent des difficultés en raison des déplacements importants de terre que cela implique et du résultat souvent insatisfaisant qui en résulte. En effet, il peut en résulter une dépression moins profonde, mais plus grande que la première. Parfois, cette dépression sera suffisamment nivelée pour que la percolation suffise à éliminer l'eau. Ces vastes dépressions peu profondes permettront la production de cultures annuelles avec un minimum de pertes de rendement si la structure du sol est suffisamment bonne pour assurer une bonne percolation. Par contre, ces aménagements seront souvent problématiques pour les cultures hivernales telle la luzerne qui aoûtera très mal en ces endroits ou qui sera détruite par la glace qui se formera lors des dégels hivernaux.

Lorsqu'il n'est pas possible ou non avantageux de combler une dépression, il faut alors concentrer l'eau en un point et évacuer celle-ci par voie de surface ou à l'aide d'un système de captage (avaloir, tranchée filtrante, etc.) qui conduira l'eau à un fossé par une conduite souterraine.

Les sols à structure instable

Les sols à structure instable se caractérisent par une abondance de sable fin et/ou de limon et qui ne possèdent pas une quantité suffisante d'argile pour permettre la formation d'une structure. Ils contiennent moins de 12 % d'argile et plus de 60-65 % de sable fin et/ou de limon. En clair, ils possèdent suffisamment de matériaux fins pour retenir l'eau tout en étant trop pauvres en argile pour former des agrégats et une bonne structure. Ce sont les « petits » sables froids qui sont lents à se réchauffer au printemps et dont la portance est parfois mauvaise.

Vu leur très faible cohésion, ils sont très sujets à l'érosion hydrique. La vue de petits rigolets d'érosion en bordure des rigoles est un indice de ces sols difficiles.

Correctifs

Ces sols sont les plus difficiles à aménager. Un principe doit cependant en guider l'aménagement, soit celui de minimiser l'accumulation d'eau dans le champ. À la limite, il faut viser à ce que chaque petite portion de champ n'ait que l'eau qui lui revient à éliminer. Cet objectif sera atteint en réalisant les aménagements suivants :

1. Éliminer tout écoulement hypodermique (s'il y a lieu) par la pose de rigoles d'interception ou de tranchées filtrantes.
2. Combler les dépressions ou s'assurer que l'eau qu'elles reçoivent soit évacuée sans délai.
3. S'assurer que le profil longitudinal des raies de curage permette de transporter l'eau au fossé ou que les raies puissent être vidées par un ou des avaloirs de façon à éviter que l'eau n'y stagne.
4. Si les pentes longitudinales sont faibles, aménager si possible des planches relativement étroites (60 m ou 200 pi) dont les versants latéraux auraient des pentes d'environ 1 %. L'étroitesse des planches préconisées vise à diminuer les déplacements de terre.
5. Prendre des mesures agronomiques pour améliorer la structure du sol :
 - ajouter de la matière organique;
 - planter des engrains verts;
 - intégrer dans la rotation des cultures améliorantes (ex. : soya, prairie, trèfle rouge en culture compagne, etc.);
 - minimiser le travail du sol et/ou choisir des équipements de préparation du sol (il faut viser une couverture de résidus d'au moins 30 % de couverture restante après le semis) qui favoriseront l'accumulation de matière organique en surface tout en distribuant des débris sur toute la profondeur de l'horizon de surface. Ces débris favoriseront la pénétration de l'eau et minimiseront la compaction. Il faut aussi éviter de pulvériser le sol par des hersages inutiles.
6. Installer des drains souterrains.

Le drainage souterrain améliore la performance de ces sols. Cependant, la pose de drains souterrains ne doit être envisagée que lorsque tous les autres aménagements essentiels ont été réalisés.

UNE APPROCHE GLOBALE

Nous avons vu comment reconnaître cinq problèmes de drainage et d'égouttement ainsi que les correctifs spécifiques à apporter à chacun d'eux. Dans la pratique, toutefois, la correction de

ces problèmes exige une approche plus globale. Il faut tenir compte de la conformation (ex. : forme et disposition des planches) et du réseau hydraulique (fossés, rigoles, raies, etc.) de l'ensemble du champ, sinon il peut en résulter des insatisfactions. Des interventions mal planifiées et mal intégrées aux caractéristiques du champ risquent d'aboutir, par exemple, à un trop grand nombre de rigoles ou en des planches trop étroites ou trop larges ou encore trop bombées ou trop unies.

En somme, l'aménagement d'un champ dépasse les simples étapes du diagnostic et de la correction d'un ou plusieurs problèmes d'égouttement. Il inclut la mise en place du réseau hydraulique et l'aménagement de surface qui doivent être effectués en respectant des étapes pré-établies.

La correction de tout problème relié à la gestion de l'eau doit être précédée d'un diagnostic qui en identifie la ou les causes.

Il est, par contre, important de se rappeler que l'aménagement global d'un champ se fait en respectant la chronologie des trois étapes suivantes :

1. Mise en place du réseau hydraulique du champ. Cela veut dire que le réseau d'évacuation de l'eau de surface sera tout d'abord mis en place (émissaire d'évacuation de l'eau de surface sera tout d'abord mis en place (émissaire principal, fossés, raies de curage, rigoles d'interception et/ou tranchées filtrantes, avaloirs)).
2. Réalisation de l'aménagement de surface (aplanissement, confection des planches).
3. Mise en place d'un système de drainage souterrain partiel ou complet si nécessaire. Très souvent, la réalisation préalable des étapes 1 et 2 aura permis de régler les problèmes sans avoir à recourir au drainage souterrain. Malheureusement, beaucoup de producteurs agricoles se rabattent *a priori* sur cette solution sans avoir au préalable réaliser les étapes 1 et 2.

Afin de bien réaliser le travail, une planification adéquate est essentielle. Lorsque le champ est plat, un relevé topographique est indispensable, car il permet de visualiser les possibilités d'aménagement. Ce relevé permet aussi de réaliser un design et une localisation appropriés, des aménagements et des structures qui seront mis en place pour solutionner les problèmes hydriques du champ (plan d'aménagement). Très souvent, le relevé topographique permet d'identifier la solution la plus pratique et la moins coûteuse en réduisant, par exemple, les déplacements de terre ou les approfondissements excessifs des fossés.

Il existe plusieurs façons de prendre des cotes de niveau. On peut utiliser un niveau ou un théodolite avec laser ou traditionnel. Ces outils sont adéquats. Il existe aussi l'arpentage à l'aide du GPS (*Global Positioning System*). Nous avons utilisé cet instrument en 1998 lors d'un projet cité en référence. Cette technologie d'arpentage par satellite nous a permis de produire des cartes de niveau dont la précision et la fiabilité se comparent à celles produites par arpentage conventionnel.

CONCLUSION

La mauvaise gestion de l'eau du sol est souvent la cause première des rendements insatisfaisants. Un égouttement efficace est essentiel à la valorisation de la fertilité du sol et ne peut être compensé par un supplément de fertilisation. L'avènement de la machinerie plus lourde a accru les risques de compactage qui se traduisent par la présence de nappes perchées qui sont très néfastes aux plantes. Les récoltes tardives de plus en plus fréquentes nécessitent un égouttement de première classe.

L'élargissement des planches, le remplissage de certains fossés, la diminution des pentes latérales des planches de labour nécessitent une meilleure gestion de l'eau qui s'obtient *a priori* par un réseau hydraulique adéquat et un aménagement de surface de toute première qualité.

La disparition des élevages et l'absence de fumier qui s'ensuit de même que les pressions économiques qui amènent la vente de la paille ont privé les sols des fermes commerciales d'une alimentation en carbone oxydable nécessaire au maintien de la structure et de la perméabilité qui en découle.

Le diagnostic et la correction des problèmes d'égouttement doivent donc désormais être vus comme un élément de base qui, avec le chaulage, permettra la valorisation des efforts consentis aux productions végétales.

RÉFÉRENCES

BRUNELLE, André et Victor SAVOIE, Feuillet 7-B Problèmes de drainage, Diagnostic et correction, Guide des pratiques de conservation en grandes cultures, CPVQ 2000.

BRUNELLE, André et Victor SAVOIE, Utilisation à la ferme des outils d'information géoréférencés en vue d'une optimisation des intrants et une diminution des pertes environnementales, Projet No 24-810-255-04069, Entente auxiliaire Canada-Québec, Janvier 2000.