



Colloque en agroenvironnement

Le jeudi 14 novembre 2013

Le sous-solage règle-t-il les problèmes de compaction?

Marc-Olivier Gasser, Ph.D., agronome
Chercheur - conservation des sols et de l'eau
IRDA
Québec

Collaborateurs :

Louis Robert, agr., MAPAQ Chaudières-Appalaches, Sainte-Marie
Gilles Gagné, M.Sc., agronome, IRDA, Québec

Le sous-solage règle-t-il les problèmes de la compaction?

Mots clés : Compaction, sous-solage, perméabilité, drainage

Introduction

La compaction des sols cultivés n'est pas un problème nouveau. En 1986, le 13^e colloque de génie rural tenu à l'Université Laval s'intitulait : La compaction des sols, problème, correction et prévention (Thériault, 1986). Depuis, le poids des équipements agricoles circulant dans les champs n'a cessé d'augmenter. Dans les années quatre-vingt-dix, la charge exercée par des citernes à lisier de 2 à 3 essieux était de l'ordre de 7 à 8 tonnes par essieu (Bédard et al., 1996). Même si la pression exercée au sol est contrôlée par l'utilisation de pneus radiaux à basse pression, les citernes actuelles sur 2 à 4 essieux génèrent toute de même des charges de l'ordre de 11 à 12 tonnes par essieu. L'ensemble du parc de machinerie (tracteurs, moissonneuses, boîtes à grain, etc.) a suivi les mêmes tendances. Certaines opérations culturales sont également exécutées à plus grandes vitesses dans des conditions de sol non-optimales. De telles charges appliquées au sol entraînent de la compaction en profondeur dans bien des sols cultivés. Si la compaction dans la couche de sol travaillée peut être remédiée à plus ou moins court terme par des changements au niveau des pratiques agricoles en réduisant le travail réduit du sol par exemple, la compaction sous cette couche de surface pourrait persister durant de nombreuses années, voir même ne jamais disparaître. Cette présentation tentera de résumer les principales causes de la compaction profonde, des impacts sur les propriétés des sols et des moyens pour y remédier.

Causes et effets

En 1990, un inventaire sur la dégradation des sols agricoles du Québec a évalué à 100 000 ha la superficie des sols en monocultures annuelles ayant subi de la compaction (Tabi et al. 1990). Outre une augmentation de la masse volumique apparente du sol, la compaction des sols agricoles entraîne, une modification de ses propriétés hydrauliques, dont l'infiltration, le drainage et la capacité de rétention en eau. La résistance à la pénétration des racines, la réduction de la porosité d'air et la réduction de la disponibilité en eau sont parmi les principaux facteurs limitant la croissance des plantes en sol compact, mais leur impact varie selon les conditions de sol et de culture. Alors que la compaction à la surface du sol est principalement reliée à la pression exercée par les pneus et le lissage dans des conditions critiques de teneur en eau du sol, la compaction profonde résulte plus particulièrement de la charge appliquée par essieu ou de la charge totale des équipements (Gameda et al., 1987). La charge totale appliquée au sol et le nombre d'essieux ont aussi leurs importances puisque les pneus circulent à répétition au même endroit. Ainsi, pour des pressions au sol et des charges par essieu relativement similaires, la charge totale appliquée au sol par des citernes de 20 m³ (2 essieux) et de 36 m³ (4 essieux) passe de 27 à 48 tm. Les travaux de Gameda et al. (1987) ont démontré que trois passages d'équipements de 10 tm/essieu augmentaient de façon linéaire la masse volumique apparente du sol au-delà du seuil critique de 1,6 g/cm³ à plus de 40 cm de profondeur dans le sol. Selon la revue de Håkansson et Reeder (1994), la compaction augmente en profondeur avec l'augmentation des charges par essieu. Avec des charges de plus de 10 tm/essieu, elle peut affecter le sol à plus de 50 cm de profondeur. L'effet des lourdes charges par essieu sur la compaction profonde dépend entre autres de l'état de plasticité du sol (lié à sa teneur en eau et en argile) et de son niveau de compacité initial.

Plusieurs essais menés en Europe et en Amérique du Nord ont démontré que la compaction des sols peut devenir permanente à plus de 40 cm de profondeur dans les sols argileux, même sous l’action du gel/dégel et des fentes de retrait (Häkansson et Reeder 1994). En fait, l’occurrence et l’intensité de ces facteurs atténuants (gel/dégel, humectation/dessiccation) diminuent rapidement en profondeur dans le sol. Par ailleurs, certains sols issus de tills par exemple, sont naturellement compacts, peu perméables en profondeur et les propriétés physiques du substratum (horizon C) ont peu évolué depuis des millénaires. D’autres sols peu perméables en profondeur sont particulièrement sensibles à la compaction, puisqu’ils sont plus souvent saturés en eau au printemps et à l’automne, lors des travaux agricoles. L’Agence fédérale allemande de l’environnement fixe à 10 cm/jour le seuil critique en deçà duquel la conductivité hydraulique saturée d’un sol en profondeur est limitée et présente des signes de compaction (Lebert, 2008). Le guide québécois de référence technique en drainage souterrain fixe quant à lui à 3 cm/jour le seuil de conductivité hydraulique en deçà duquel l’installation d’un système de drainage souterrain n’est pas justifiée économiquement (CRAAQ, 2005). Selon l’Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec, sur les 159 séries de sols analysées, près de 18% des sols présentaient entre 40 à 60 cm de profondeur, des conductivités hydrauliques saturées (CH) inférieures à 3 cm/jour, tandis que 41% des sols présentaient des conductivités inférieures à 10 cm/jour (Tabi, 1990) (Tableau 1). D’après ces résultats, plusieurs sols présentaient une perméabilité réduite à plus de 40 cm de profondeur, même ceux sous prairies.

Tableau 1 : Pourcentage des observations (n) qui présentaient des valeurs de conductivité hydraulique saturée (CH) inférieures à 3 et 10 cm/jour sous prairie ou maïs et céréales dans l’Inventaire des problèmes de dégradation des sols du Québec (Tabi et al., 1990).

		Profondeur du sol		
		0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Prairie	n	2992	2909	1628
	CH < 3 cm/jour	1%	4%	18%
	CH < 10 cm/jour	6%	14%	41%
Maïs et céréales	n	2478	2379	1395
	CH < 3 cm/jour	2%	6%	19%
	CH < 10 cm/jour	12%	21%	41%

Mehuys (1986) estimait à 15% les pertes de rendements associées à la compaction sur l’ensemble des cultures du Québec, mais il soulignait aussi que l’effet de la compaction sur les pertes de rendements était difficile à généraliser. L’état du sol en surface (0 - 25 cm) et sa compaction affecte davantage les rendements que la compaction profonde (> 40 cm), mais persiste moins longtemps en raison des facteurs atténuants comme le gel/dégel qui opèrent plus rapidement à la surface du sol (Häkansson et Reeder, 1994). La Figure 1 illustre les corrélations entre les rendements de biomasse aérienne de soya obtenus à la ferme expérimentale de Saint-Lambert-de-Lauzon et diverses propriétés physiques reliées à la compaction à différentes profondeurs. Les propriétés physiques mesurées de 15 à 30 cm de profondeur sont les mieux corrélées aux rendements, même si le sol présente davantage de signes de compaction en profondeur, soit une masse volumique apparente supérieure à 1,6 g/cm³ ou une teneur en air inférieure à 10%.

Si les cultures sont davantage sensibles aux propriétés physiques du sol de surface (0 – 25 cm), la compaction en profondeur réduit sa perméabilité et le maintient dans des conditions humides favorisant la compaction des horizons de surface. Les sols naturellement moins perméables seraient ainsi plus sensibles aux phénomènes de compaction. La présence de nappe perchée entre les drains permet d'identifier des conditions de sol compact (Brunelle et Savoie, 2000), mais peut également indiquer une perméabilité réduite en profondeur. Le travail de sol en surface peut temporairement ameublir cette couche sans régler les problèmes en profondeur, mais contribue à oxyder la matière organique du sol et à long terme à la détérioration de la structure.

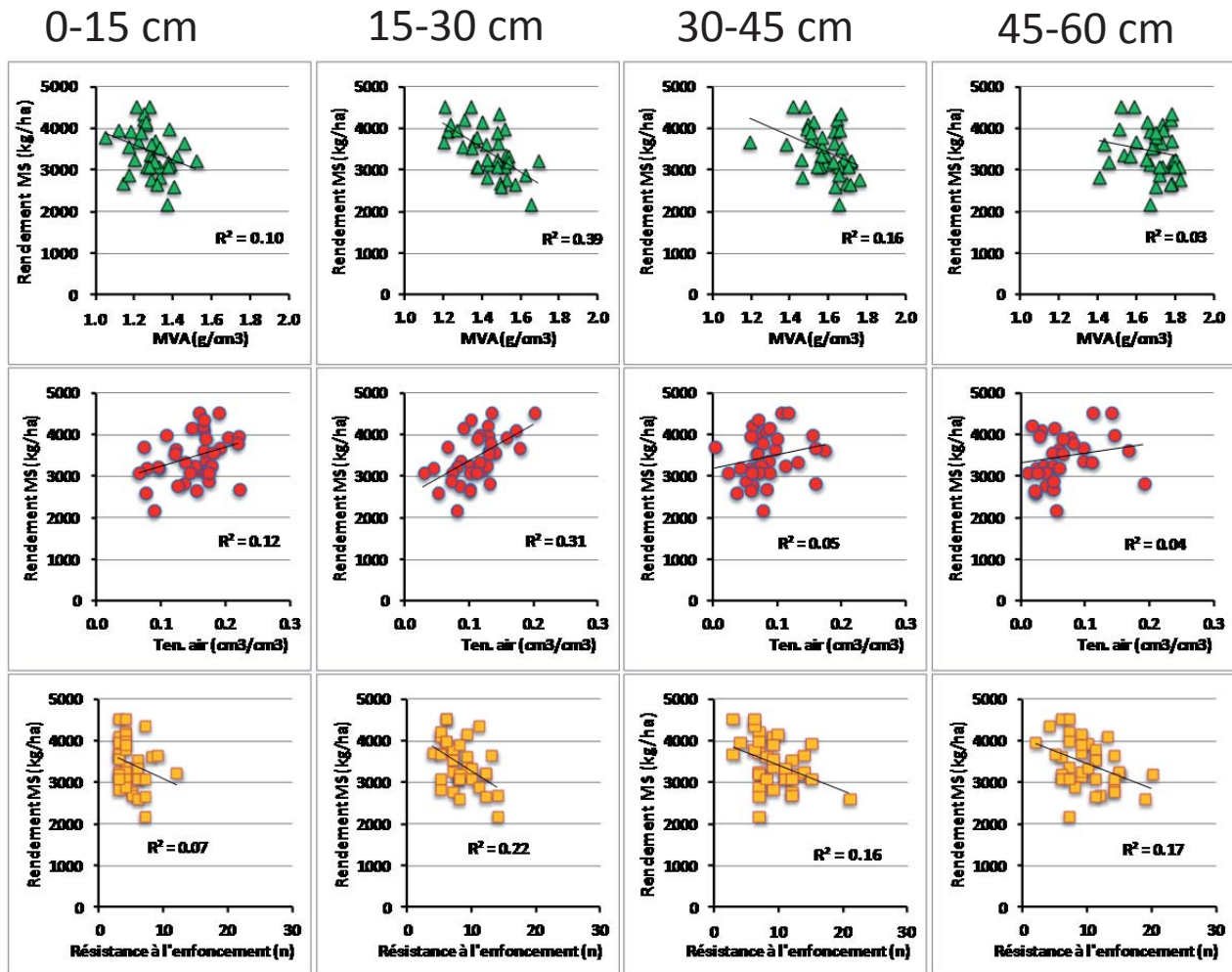


Figure 1 : Corrélations entre la masse volumique apparente (MVA), la teneur en air, la résistance à l'enfoncement et les rendements en biomasse aérienne de soya à quatre profondeurs.

Remédiation

Parmi les solutions mises de l'avant pour contrer la compaction des sols, les mesures d'évitement telles que la réduction des charges par essieu, l'utilisation de chenilles ou de pneus basse pression, le trafic contrôlé et finalement l'évitement de la circulation dans des conditions non optimales du sol sont primordiales (Brochu et Massicotte, 2000). Certains facteurs naturels tels que les cycles de gel/dégel, mouillage/séchage et l'activité biologique des racines et des vers de terre peuvent également jouer un rôle important pour atténuer la compaction en surface, mais la fréquence et l'intensité de ces effets diminuent rapidement en profondeur dans le sol.

Le diagnostic et la correction des problèmes de drainage et de compaction ont fait l'objet de plusieurs fiches techniques (Brochu et Massicotte, 2000; Brunelle et Savoie, 2005; Weil, 2009). Un bon diagnostic avec des profils de sol et l'analyse de l'égouttement et du drainage des champs demeure essentiel avant d'entreprendre ou de recommander toute intervention d'envergure. Il est généralement recommandé de vérifier et de régler les problèmes d'égouttement de surface et de drainage interne avant d'entreprendre des travaux de décompaction profonde.

La décompaction mécanique du sol réalisée de 30 à 60 cm de profondeur (sous-solage) a des effets variables sur la compaction profonde et l'augmentation de la productivité. Réalisé dans de bonnes conditions (sols secs, orientation des travaux), le sous-solage sert à initier un long processus de régénération du sol. La réduction du trafic et des charges subséquentes est aussi essentielle, car le sol fragilisé peut se recompacter rapidement et parfois plus qu'au départ. Dans les sols à faible perméabilité, l'eau s'accumule dans le sillon sous-solé et les rendent encore plus sensibles à la compaction. Le décompactage de la couche compacte doit permettre à l'eau de s'infiltrer plus profondément. Mais si le sol demeure imperméable en profondeur, l'eau risque de ne pas s'évacuer et causer d'autres problèmes de compaction sous l'effet de la machinerie. L'orientation des travaux de sous-solage en fonction des drains, des pentes du terrain ainsi que du trafic usuel permettrait de mieux évacuer cette eau et de réduire les risques de compaction subséquente.

Des effets mitigés du sous-solage

Plusieurs travaux sur le sous-solage ont été réalisés à l'échelle du Québec et les effets sur l'augmentation de la productivité des sols sont relativement variables. Sur sept sites d'essais de sous-solage en sol argileux dans la région de Saint-Hyacinthe, Brochu (1986) rapporte des baisses de rendements (< 5%) de maïs grain par rapport au témoin sur deux sites, des augmentations de l'ordre de 5 à 15% sur 4 sites et des augmentations de 25% sur un site. Sur ce dernier site, les rendements moyens étaient les plus faibles et le sous-solage à 60 cm de profondeur a eu un meilleur effet sur les rendements que le sous-solage à 45 cm.

Dans un loam argileux, nous n'avons pas mesuré d'augmentation de rendements en orge, soya ou maïs-grain suite à un sous-solage profond (>60 cm) exécuté parallèlement au drain (Gasser et al., 2012). Au contraire, des baisses de rendement en orge ont été mesurées sur les parcelles sous-solées. La création d'ornière sur les traces de la sous-soleuse et la persistance de l'eau dans ces traces expliquerait en partie ces résultats. Le sous-solage devrait être plus efficace dans les sols sableux profonds, généralement plus perméables en profondeur, si la couche compacte ou indurée est limitée à quelques cm sous la couche de sol travaillée. Boivin et Bergeron (2013) présentent toutefois des effets mitigés d'un sous-solage en sol sableux sur les rendements en pommes de terre. Dix essais de sous-solage ont été démarrés en 2012 en Chaudière-Appalaches dans des sols variant d'argileux profonds d'origine marine (4 sites) à loameux grossiers graveleux issus de till (3 sites) en passant par des sols loameux (loam limoneux, loam sableux fin, loam limoneux argileux) issus de dépôts fluvio-lacustres ou lacustres (3 sites). Des augmentations de rendements en céréales ont été constatées en 2013 sur plusieurs sites, mais de façon plus marquée lorsqu'un sous-solage profond a été réalisé en sol argileux perpendiculairement aux drains. Les conditions particulièrement sèches au moment du sous-solage en août 2012 ont probablement aussi amélioré l'efficacité du sous-solage.

Conclusion

La compaction du sol au-delà de 40 cm de profondeur peut devenir irrémédiable sinon difficile à corriger. Le passage d'une sous-soleuse profonde est énergivore et nécessite parfois des passages répétés qui rendent l'opération moins rentable. Mieux vaut éviter la compaction en profondeur en réduisant les charges excessives et en contrôlant le trafic en conditions critiques, plutôt que de sous-soler à répétition. Par ailleurs, une multitude de conditions du sol et d'opération peuvent annihiler les effets escomptés avec le sous-solage. Par exemple, le lissage du sol en conditions humides ou l'accumulation d'eau dans les zones sous-solées peuvent rendre les travaux de sous-solage improductifs. Les zones sous-solées sont aussi particulièrement sensibles à la recompaction si elles demeurent saturées d'eau, restreignant même la croissance des cultures. Après le sous-solage, le sol ne doit pas subir de charge ni de trafic excessifs jusqu'à ce que la structure se soit améliorée et stabilisée dans le sillon. Dans certains sols moins perméables en profondeur où la présence excessive de limon rend la structure instable, le sous-solage pourrait même diminuer leur productivité en pulvérisant le peu de structure existante. Cependant, quelques travaux de sous-solage profond dans des sols argileux moins perméables semblent produire des résultats intéressants lorsque les sillons croisent les drains. Bien sûr, lorsque des travaux de cette envergure sont prévus, des essais sur une partie des champs concernés devraient être considérés dans un premier temps.

Références

- Bédard, Y., S. Tessier, C. Laguë, Y. Chen et L. Chi. 1997. Soil compaction by manure spreaders equipped with standard and oversized tires and multiple axles. *Transactions of the ASAE*. 40 (1): 37-43.
- Boivin, C. et D. Bergeron. 2013. Compaction et productivité de la pomme de terre. Programme d'appui pour un secteur agroalimentaire innovateur. Projet 12-310. 46 p.
- Brochu, Y. 1986. Résultats préliminaires de décompaction par sous-solage en sols drainés souterrainement. pp. 69-108. 13^e Colloque de génie rural. Université Laval. R. Thériault (éd.). 220 p.
- Brunelle A. et V. Savoie. 2005. Diagnostic et correction de problèmes de drainage. Coordination des clubs conseils en Agroenvironnement. Longueuil, Qc. 4 p.
- Brochu Y. et D. Massicotte 2000. Module 7. Diagnostic et correction des problèmes de compaction et de drainage. Feuillet 7A. Dans Guide des pratiques de conservation en grandes cultures. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Québec. 20 p.
- CRAAQ, 2007. Guide de référence technique en drainage souterrain et travaux accessoires. 51 pages + annexes.
- Gameda, S., Raghavan, G.S.V., McKyes, E. et Theriault, R. 1987. Subsoil compaction in a clay soil. I. Cumulative effects. *Soil Tillage Res.*, 10: 113-122.
- Gasser, M.-O. M.-H. Perron et M. Grenier. 2012. Effets bénéfiques combinés du sous-solage et des cultures à racines profondes pour décompacter le sol et améliorer la productivité des cultures. Rapport final. Projet CDAQ 6309 Défi-solution. Québec. 60 p.
- Häkansson, I. et R.C. Reeder 1994. Subsoil compaction by vehicles with high axle load extent, persistence and crop response. *Soil Tillage and Research*. 29: 277-304.

Mehuys, G. 1986. Mesures de la compaction: aspects physique et économique. pp. 19-34. 13^e Colloque de génie rural. Université Laval. R. Thériault (éd.). 220 p.

Tabi, M., L. Tardif, D. Carrier, G. Laflamme et M. Rompré. 1990. Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec. Rapport synthèse. MAPAQ, Québec, 133 p.

Thériault, R. (éditeur). 1986. Colloque de génie rural. Université Laval. 220 p.

Weill, A. 2009. Les profils de sol. Un outil diagnostique de l'état des sols. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. 122 p.