

La compaction du sol en production agricole

Mark Jeschke, Ph.D.¹ et Nanticha Lutt²

RÉSUMÉ

- Le compactage du sol est l'augmentation de la masse volumique (MV) et la diminution correspondante de la porosité du sol causées par les charges qui lui sont appliquées.
- La compaction du sol affecte négativement la croissance des cultures. Elle peut se produire de différentes manières et à différentes profondeurs dans le profil du sol.
- En production végétale, la réduction de la capacité du sol à fournir de l'eau et des nutriments à la culture constitue le principal effet négatif de la compaction du sol.
- Le compactage près de la surface du sol peut réduire considérablement le rendement dans certaines conditions. Cependant, il est généralement plus facile à gérer et ne persiste pas très longtemps dans le sol.
- Plus difficile à éliminer, le compactage en profond peut avoir des effets négatifs sur la croissance et le rendement des cultures pendant des années après que le compactage a eu lieu.
- La restriction de la croissance des racines, les carences en nutriments et la mauvaise infiltration de l'eau peuvent être des signes de compactage du sous-sol.

LE COMPACTAGE DU SOL EN PRODUCTION AGRICOLE

Le compactage du sol est l'une des formes les plus graves de dégradation du sol causée par la production agricole. Cependant, contrairement à d'autres formes de dégradation du sol, comme l'érosion ou la salinisation, le compactage est souvent difficile à détecter et à mesurer. Il peut limiter la croissance et le rendement des cultures sans présenter de symptômes évidents. Lorsque des symptômes sont présents, comme un retard de croissance des cultures, une carence en nutriments ou une mauvaise infiltration de l'eau, ils peuvent être attribués à d'autres causes.

De façon générale, les problèmes de compaction en production agricole sont de plus en plus fréquents. La taille et le poids des machines agricoles ont augmenté de façon spectaculaire au cours des dernières décennies, car les exploitations agricoles sont devenues plus importantes et les machines doivent couvrir davantage d'hectares. Le fait de semer le maïs plus tôt pour maximiser le rendement peut augmenter la probabilité de travailler dans des champs dont certaines parties sont trop humides. Les exploitations agricoles couvrant de plus grandes superficies réparties sur de plus grandes zones qui peuvent être soumises à une plus grande pression pour fonctionner dans des

conditions trop humides ce qui augmente les problèmes de compaction.



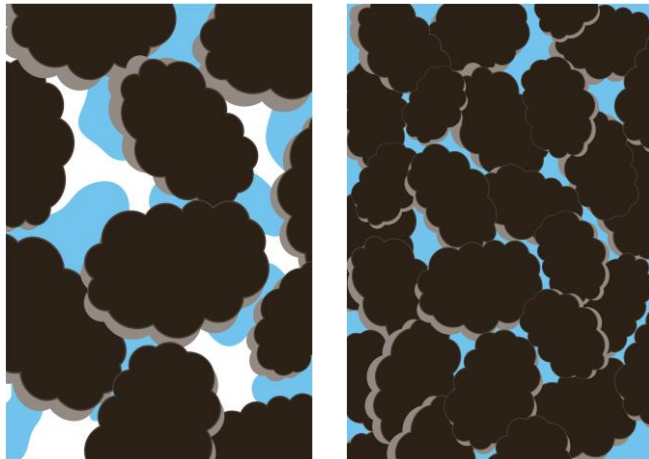
Figure 1. Plantule de maïs qui n'a pas réussi à lever en raison d'un stress prolongé au froid et des conditions de sol compactées. Le coléoptile n'a pu percer la surface du sol. Il est donc tordu et difforme.

Un certain degré de compaction du sol est la conséquence inévitable de la production agricole moderne. Il résulte de la nécessité de déplacer des machines dans le champ pour semer, pour entretenir et pour récolter une culture. Le compactage du sol ne peut probablement pas être entièrement éliminé des systèmes agricoles modernes. Il doit donc être géré et minimisé dans la mesure du possible.

EFFETS DU COMPACTAGE SUR LES SOLS ET LES CULTURES

Le compactage du sol est l'augmentation de la masse volumique et la diminution correspondante de la porosité du sol causées par les charges qui lui sont appliquées. La compaction du sol peut avoir de nombreux effets négatifs sur la production végétale, notamment en limitant la croissance des racines et en réduisant la capacité de rétention d'eau. Les sols agricoles hautement productifs et bien agrégés ont tendance à se composer d'environ 50 % de solides et d'environ 50 % d'espace poreux. Celui-ci comprend aussi une distribution égale de macropores et de micropores (Brady, 1990). Ce rapport entre les macropores et les micropores permet au sol de stocker une quantité suffisante d'eau pour la croissance des plantes. Du même coup, il permet un échange gazeux dans le profil du sol

pour fournir de l'oxygène aux racines des plantes. Les minéraux du sol ont une densité de particules d'environ $2,65 \text{ g/cm}^3$. Ainsi, un sol de texture moyenne composé de 50 % de pores aura une MV proche de $1,33 \text{ g/cm}^3$ (USDA-NRCS 2008).



Sol normal

- Masse volumique = 1,3
- Condition ferme
- Peu de gros pores
- Aération modérée
- Loam limoneux typique suivant un trafic normal

Sol compacté

- Masse volumique = 1,6
- Pas de macropores
- Les micropores sont remplis d'eau
- Agrégats concassés

Figure 2. Caractéristiques des sols normaux et compacts. (Adapté de Wolkowski, 2010).

Les sols à texture fine et les sols riches en matières organiques ont une MV plus faible. Par contre, les sols sableux ont moins d'espace poreux. Ils ont donc une masse volumique plus élevée. La plage de MV favorable à la croissance des plantes diffère selon la texture du sol. Il en va de même pour la masse volumique restrictive à la croissance des plantes (Tableau 1).

Tableau 1. Relation générale entre la MV du sol et la croissance des racines en fonction de la texture du sol (USDA-NRCS, 2008).

Texture du sol	Masse volumique idéale pour la croissance des plantes	Masse volumique qui limite la croissance des racines
	g/cm^3	g/cm^3
Sableux	< 1,60	> 1,80
Limoneux	< 1,40	> 1,65
Argileux	< 1,10	> 1,47

La compaction du sol affecte négativement la croissance des cultures. Il peut se produire de différentes manières et à différentes profondeurs dans le profil du sol. La compaction en surface due aux fortes pluies, la compaction des parois latérales due aux conditions humides au moment du semis et la semelle de labour au bas de la couche de labour peuvent tous limiter la croissance des racines et réduire le rendement des cultures. Cependant, du point de vue de la gestion, les charges sur les roues des machines utilisées dans le champ causent la forme la plus grave de compaction. Le compactage causé par de lourdes

charges aux essieux peut s'étendre de la surface du sol jusqu'au sous-sol. Là, il peut persister pendant des années. Il est difficile, voire impossible, d'y remédier.

En production végétale, la réduction de la capacité du sol à fournir de l'eau et des nutriments à la culture constitue le principal effet négatif du compactage du sol. De multiples aspects de compaction contribuent à ce résultat. Les sols compactés limitent la capacité des racines de plantes à se développer dans le nouveau sol pour en extraire l'eau et les nutriments. Cela réduit la quantité du profil du sol capable de contribuer à l'apport en eau et en nutriments pour la croissance des cultures (Figure 3). La réduction de l'espace poreux dans le sol réduit également la capacité globale de rétention d'eau du sol. Cela diminue la quantité d'eau disponible pour absorption par les plantes.

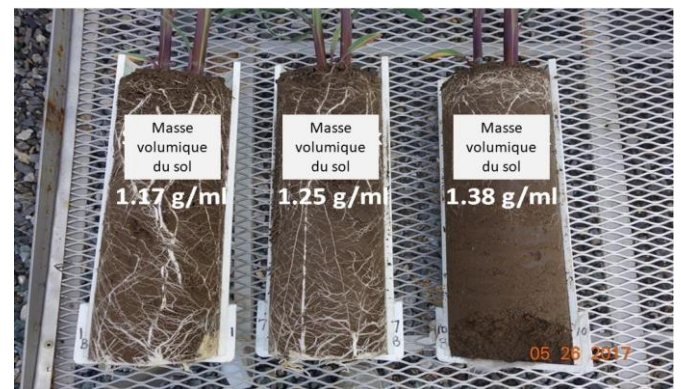


Figure 3. Croissance racinaire de plants de maïs (stade de croissance V5) poussant dans un sol compacté à différentes masses volumiques avant que les semences de maïs ne soient semées (Strachan et Jeschke 2017).

La compaction réduit la vitesse à laquelle l'eau se déplace vers le bas dans le profil du sol (Figure 4). Ce taux plus faible d'infiltration peut réduire la proportion de l'eau des précipitations qui pénètre le sol et qui devient accessible à la culture. La quantité perdue en ruissellement s'accroît. L'augmentation du ruissellement peut ajouter au risque d'érosion du sol.



Figure 4. Une zone de sol fortement compacté (délimitée par la boîte rouge) limite l'écoulement de l'eau à travers le profil du sol. L'eau s'écoule plus rapidement à travers un sol moins compacté. Elle commence finalement à se déplacer sous la zone de forte compaction (Strachan et Jeschke 2017).

La réduction du taux d'infiltration signifie également qu'une fois saturés, les sols compactés se drainent plus lentement. L'excès d'eau peut affecter négativement la croissance des cultures en réduisant la disponibilité d'oxygène pour les racines des plantes. Un drainage plus lent réduit également la vitesse de réchauffement des sols au printemps. Après une pluie, il augmente le temps nécessaire pour que le sol s'assèche et devienne propice au travail.

FACTEURS DU SOL QUI INFLUENCENT LA COMPACTION

L'humidité du sol

L'humidité du sol est le facteur le plus important qui influence le risque de compaction du sol (Soane et Van Ouwerkerk, 1994). Les sols plus secs peuvent supporter des charges plus lourdes sans se tasser. Les sols dont le taux d'humidité est égal ou supérieur à la capacité du champ présentent le plus grand risque de compaction. L'eau agit comme un lubrifiant entre les particules de sol. Cela leur permet d'être pressées ensemble. Plus l'eau remplace l'espace d'air, plus le potentiel de compactage augmente, jusqu'au point maximal appelé « limite plastique ». À des niveaux de saturation du sol supérieurs à ce point, le potentiel de compaction de la couche arable diminue puisque l'eau ne peut pas être comprimée. Cependant, cela a pour conséquence de transférer la force de compactage directement au sous-sol, d'où l'augmentation de son risque de compactage (Duiker, 2004). De plus, le trafic sur les sols très humides affecte souvent la couche arable. Leur conductivité hydraulique diminue. Le tout peut nuire davantage à la croissance des racines que la compaction (Raper et Kirby, 2006).

Il existe quelques tests simples sur le terrain permettant de déterminer approximativement si le sol est trop humide pour être travaillé sans risque augmenté de la compaction. L'un de ces tests est le « test du ruban ». Il consiste à creuser à 10 cm dans le lit de semence, à saisir une poignée de terre et à la serrer dans la main. Si le sol forme un « ruban » lorsqu'on le serre entre le pouce et l'index, il est en état de se tasser (Figure 5).



Figure 5. Le « test du ruban » peut être utilisé pour évaluer l'humidité du sol et déterminer si le sol présente un risque élevé de compaction.

Texture et structure du sol

La texture du sol ; % de sable, de limon et d'argile dans un sol à un certain effet sur le potentiel de compaction. Les sols constitués de particules de taille égale ont un potentiel de compaction moindre que les sols dont les particules sont de taille variable. Les particules plus petites peuvent remplir les espaces entre les particules plus grandes, augmentant ainsi la densité du sol. Un sol loam sableux est le plus susceptible de se tasser, tandis que les sables purs, les argiles et les sols limoneux le sont moins. La texture du sol peut également influencer le schéma de compactage du sol. La compaction dans les sols plus grossiers a tendance à pénétrer verticalement vers le bas dans le profil du sol. Par contre, dans les sols à texture plus fine, la compaction a tendance à pénétrer vers le bas et vers l'extérieur latéralement dans le profil du sol (Ellies Sch et al., 2000).

La structure du sol influence également le potentiel de compactage. Les processus naturels du sol, notamment le mouillage et le séchage, le gel et le dégel, la croissance des bactéries, des champignons et des racines entraînent la formation d'agrégats. Les agrégats sont des groupes de particules de sol qui se lient plus étroitement les uns aux autres qu'aux particules adjacentes. Collectivement, la stabilité de ces agrégats se nomme la structure du sol. La structure du sol constitue une défense importante contre la compaction du sol. Sans une bonne structure, les particules individuelles du sol sont plus susceptibles d'être compactées par une pression externe. Les sols riches en matières organiques ont généralement une meilleure structure. Ils résistent mieux au compactage que les sols pauvres en matières organiques.

Le travail du sol, la pluie et le compactage sont les principaux mécanismes par lesquels les agrégats du sol sont détruits. Les opérations de travail du sol qui combinent l'action de cisaillement avec une importante pression vers le bas causent le plus de dommages à la structure du sol. Cela résulte à la destruction des agrégats du sol et la tendance à former une semelle de labour au fond de la couche de labour. Le compactage dû aux lourdes charges appliquées au sol peut être à la fois une cause et une conséquence de la mauvaise structure du sol. Le compactage peut entraîner la décomposition de la structure granulaire de la couche arable. Elle se reforme en blocs ou en plaques.

TYPES DE COMPACTION DU SOL

Il existe un certain nombre de formes différentes de compactage du sol. Elles peuvent survenir en production agricole et affecter négativement la croissance et le rendement des cultures. L'encroûtement de surface et le compactage des parois latérales peuvent réduire considérablement le rendement sous certaines conditions. Toutefois, ils sont généralement moins préoccupants du point de vue de la gestion. En effet, ce compactage ne persiste généralement pas très longtemps dans le sol. Il existe diverses options de gestion pour prévenir ou atténuer leurs effets. D'autres formes de compactage, telles que les semelles de labour et le compactage du sous-sol peuvent persister pendant des années. Elles sont beaucoup plus difficiles à gérer.

Croûte à la surface du sol

La croûte de surface est une forme de compaction du sol. Elle réduit la levée des semences et les taux d'infiltration de l'eau. L'impact des gouttes de pluie sur les particules à la surface du sol cause cette croûte. Un impact important fait que les particules du sol s'agglomèrent. Le séchage rapide du sol augmente le potentiel d'encroûtement de la surface. Les sols ayant une teneur plus élevée en matière organique ou en sable présentent moins de risques de formation de croûtes. Le travail

réduit du sol et le semis direct présentent généralement un risque moindre de formation de croûtes en surface. La meilleure structure du sol et une plus grande quantité de résidus de culture à la surface du sol expliquent ce fait. Les houes rotatives peuvent être utilisées pour briser les croûtes, pour améliorer la levée et l'établissement des populations.

Compaction des parois latérales

Le compactage des parois latérales résulte généralement du semis dans des sols trop humides et/ou de l'application d'une pression trop forte sur les unités de rang. Les disques-ouvreurs qui cisailent les sols humides peuvent entraîner le durcissement des parois des sillons après le semis (Figure 6). Il peut en résulter une mauvaise levée de la culture et un mauvais développement des racines hors du sillon de semis. Des conditions plus sèches et un stress dû à la sécheresse après le semis peuvent amplifier les conséquences reliées au développement réduit des racines. Le compactage prononcé des parois latérales a réduit de 50 % le rendement du maïs lors d'une expérience de l'Université du Kentucky (Lee, 2011). L'utilisation de roues de fermeture à doigts peut contribuer à réduire le compactage des parois latérales. Elles ameublissent le sol autour de la semence et brisent la surface cisailée. Cependant, il est peu probable qu'elles en éliminent complètement les effets.



Figure 6. À gauche : Compaction de la paroi latérale du sillon due aux ouvreurs à double disque qui tranchent le sol dans des conditions humides. **À droite :** Racines de maïs montrant les effets de la compaction des parois latérales due aux conditions humides du champ lors du semis.

Compactage de la terre arable

Le compactage de la couche arable se produit depuis la surface du sol jusqu'à la zone normale de travail du sol. Généralement, la circulation des roues ou des animaux cause ce type de compactage. Les effets du compactage de la couche arable peuvent varier en fonction des conditions météorologiques. Ils sont généralement pires sous conditions humides. Le compactage de la couche arable est généralement temporaire. Le travail normal du sol peut partiellement y remédier. Les processus naturels (cycles de gel et dégel, cycles d'humidité et de sécheresse, activité microbienne et croissance des racines) tendront également à atténuer la compaction de la couche arable au fil du temps et à reconstruire la structure du sol.

Semelle de labour

La semelle de labour est une couche de compaction du sous-sol de quelques centimètres d'épaisseur seulement. Elle survient en dessous de la zone normale de travail du sol. Le labour répété à la même profondeur cause ce type de compactage. Surtout si l'équipement utilisé (disques, charrues à versoirs, outils de type balayage) cisaille et comprime le sol au fond de la couche de labourage. Sous certaines conditions, le travail en profondeur du sol peut aider à briser la semelle de labour. Toutefois, il peut

aussi aggraver le problème si le sol est trop humide ou s'il est immédiatement compacté à nouveau.

Compactage en profondeur

Le compactage profond se situe sous la zone de travail du sol. Il résulte de charges élevées sur les essieux et transmises au sol. Les équipements de récolte comme les voitures à grains et la moissonneuse-batteuse ont des charges par essieu élevées. Ils sont souvent les principaux responsables de la compaction profonde. Les charges lourdes peuvent compacter le sol jusqu'à plus de deux pieds dans le profil du sol. Il s'agit du type de compactage le plus difficile à éliminer. Il peut avoir des effets négatifs sur la croissance et le rendement des cultures pendant des années après qu'il survient.

DÉTECTION ET MESURAGE DU COMPACTAGE

Symptômes des cultures

La compaction du sol peut entraîner une malformation des racines ; tronquées, plates, fines ou encore tordues. Les racines situées au-dessus d'une semelle de labour peuvent se développer horizontalement plutôt que verticalement. Les plantes auront des systèmes racinaires plats et peu profonds. La croissance au-dessus du sol est directement liée à la croissance des racines dans le sol. Une croissance entravée des racines conduira probablement à une croissance retardée hors sol.

Recherchez des motifs ou des zones spécifiques dans le champ, comme des traces de roues, en particulier celles laissées par des charges très lourdes dont la moissonneuse-batteuse, les voitures à grain ou encore les épandeurs de lisier (Figure 7). Dans certains cas, c'est impossible de détecter un motif particulier visible. Ces zones peuvent résulter du chevauchement répété des mêmes zones avec différents passages lors du travail du sol. Au fil du temps, ils ont un effet additif sur les zones du champ.

Les stress nutritionnels sur les cultures peuvent être un autre signe de compaction. Les racines jouent le rôle de voies d'accès des éléments nutritifs du sol à la culture. Restreindre l'accès peut diminuer l'interception des éléments nutritifs dans le sol. Les carences en phosphore, en potassium et en azote peuvent être des symptômes secondaires de la compaction du sol.



Figure 7. Levée inégale du maïs due à la compaction causé par le passage de roues. Photo : Jim Boersma.

Manque d'infiltration de l'eau

L'eau stagnante ou l'érosion hydrique excessive peut être causée par le compactage du sol. Le compactage réduit l'espace poreux dans le sol. Ainsi, l'eau n'y est pas absorbée aussi facilement.

L'augmentation des besoins en puissance pour les opérations sur le terrain peut également être un signe de compactage. Dans certaines zones du champ, lors d'opérations de travail du sol, la diminution du régime du tracteur peut signaler une zone compactée.

Mesurer la compaction du sol

Les parois latérales, la croûte de surface et le compactage du sol sont les formes les plus faciles à détecter à l'aide d'une pelle ou d'un autre outil pour creuser. Le compactage du sol en profondeur est plus difficile à détecter. Il se produit plus profondément dans le sol.

Les pénétromètres à pointe conique peuvent être utilisés pour localiser la compaction (Figure 8). Toutefois, ils ont leurs limites. La résistance à la pénétration est fonction de la densité du sol et de sa teneur en eau. Il faut comparer des sols compactés et non compactés de même humidité et de même texture. Par conséquent, il n'y a pas de valeur numérique spécifique de résistance (lb/po²) qui qualifie le compactage. Les valeurs comparatives doivent être évaluées (Duiker, 2002). Des taux de poussée constants doivent également être maintenus pour donner des lectures précises. Puisqu'ils pénètrent le sol à une vitesse constante, les pénétromètres à moteur donnent les lectures les plus précises.



Figure 8. Mesurage du niveau de compactage du sol avec un pénétromètre.

Les sondes pédologiques sont un autre outil utile. Elles sont également soumises à la teneur en humidité et à la densité du sol. Un sol plus sec sera plus difficile à sonder qu'un sol humide. Les argiles seront plus difficiles à sonder que les sols limoneux. Les sondes pédologiques peuvent être utilisées efficacement pour surveiller les différences dans le profil d'humidité du sol. Si le premier pied du sol est extrêmement sec, mais que le second pied est très humide, cela suggère que les racines ne pénètrent pas dans le second pied, peut-être à cause de la compaction.

L'observation de la croissance des racines dans le profil du sol constitue le meilleur indicateur de la compaction. Pour ce faire, on utilise une bêche ou une pelle pour creuser des trous ou des tranchées le long de la culture existante. Des trous devraient être creusés le long de la culture existante dans les zones suspectes de compaction.

RÉFÉRENCES

- Brady, N. C. 1990. The nature and properties of soils, 10th ed. pp. 91-152. MacMillan Publishing Co., New York.
- Duiker, S. 2002. Diagnosing Soil Compaction Using a Penetrometer (soil compaction tester). Penn State Univ. Ext. https://extension.psu.edu/downloadable/download/sample/sample_id/586/
- Duiker, S. 2004. Avoiding Soil Compaction. Penn State Univ. Ext.
- Ellies Sch, A., R.R. Smith, F.J. Jose Dorner, and T.A. Proschle. 2000. Effect of moisture and transit frequency on stress distribution on different soils. *Agro Sur*. 28:60-68.
- Lee, C. 2011. Sidewall Compaction Early Hurts Yields Late. University of Kentucky Extension. Grain Crops Update August 16, 2011. <https://graincrops.blogspot.com/2011/08/sidewall-compaction-early-hurts-yields.html>
- Raper, R.L., and J.M. Kirby. 2006. Soil Compaction: How to Do It, Undo It, or Avoid Doing It. ASAE Distinguished Lecture #30, pp. 1-14. Agricultural Equipment Technology Conference. ASABE Publication Number 913C0106.
- Soane, B.D., and Van Ouwerkerk, C. (Eds.), 1994. Soil Compaction in Crop Production, Developments in Agricultural Engineering Series, vol. 11. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands, pp. 662.
- Strachan, S.D., and M. Jeschke. 2017. Water Retention and Nutrient Availability in Soil: Drainage and Compaction. *Pioneer Crop Insights*, Vol. 27, No. 11. <https://www.pioneer.com/us/agronomy/drainage-compaction-soil.html/>
- USDA-NRCS. 2008. Soil Quality Indicators – Bulk Density. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053256.pdf
- Wolkowski, R. 2010. Addressing the Soil Compaction Problem. University of Wisc. Extension. [://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fsoilsextension.webhosting.cals.wisc.edu%2Fwp-content%2Fuploads%2Fsites%2F68%2F2014%2F02%2FDiagnosing_Compaction.pdf&chunk=true](http://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fsoilsextension.webhosting.cals.wisc.edu%2Fwp-content%2Fuploads%2Fsites%2F68%2F2014%2F02%2FDiagnosing_Compaction.pdf&chunk=true)

¹ Directeur de l'agronomie de Pioneer

² Le personnel de Sciences agronomiques Pioneer

Les informations précédentes sont fournies à titre informatif seulement. Veuillez contacter votre représentant Pioneer afin d'obtenir plus d'information et des suggestions précises pour votre ferme. La performance du produit varie. Elle dépend de beaucoup de facteurs dont : le stress causé par la chaleur et l'excès d'eau, le type de sol, les pratiques culturales et le stress environnemental, de même que la maladie et la pression des parasites. Les résultats individuels peuvent varier.

Octobre 2018