

Charge maximale admissible à la roue – une variable caractéristique utile pour la pratique

Andreas Chervet¹, Wolfgang G. Sturny¹, Samuel Gut², Marlies Sommer², Matthias Stettler³, Peter Weisskopf² et Thomas Keller²

¹Office de l'agriculture et de la nature du canton de Berne, Service de la protection des sols, 3052 Zollikofen, Suisse

²Agroscope, Institut des sciences en durabilité agronomique IDU, 8046 Zurich, Suisse

³Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires HAFL, 3052 Zollikofen, Suisse

Renseignements: Thomas Keller, e-mail: thomas.keller@agroscope.admin.ch



Figure 1 | Parcelle de suivi à long terme Oberacker, Inforama Rütli, Zollikofen en 2004. (Photo: Gabriela Brändle, Agroscope).

Introduction

Les véhicules de traction et les machines utilisées dans l'agriculture sont lourds, puissants et très mobiles, même sur des sols humides. C'est pourquoi, lorsque les sols sont très sollicités – avec une circulation sur les parcelles intense et des charges à la roue élevées – le risque de compactage est important. L'indicateur utilisé pour déterminer la résistance mécanique du sol par rapport à un compactage est la précontrainte (Horn et Fleige 2003). La déformation de la structure du sol est généralement élastique et réversible, tant que la pression verticale exercée par le pneu¹ est inférieure à la précontrainte. Par

¹Dans cet article, nous utiliserons le terme «pression» employé dans le langage quotidien, alors que la terminologie correcte serait «tension».

contre, lorsque la pression verticale devient supérieure à la précontrainte, le sol réagit de manière plastique, c'est-à-dire qu'on en arrive à une déformation durable de la structure du sol et donc à un compactage.

Bien que les sols aient un potentiel de régénération élevé en surface, les conséquences des compactages de la couche supérieure du sol ne sont pas négligeables. Même pour les systèmes culturaux avec labour, il faut compter une période de régénération de plusieurs années en cas de compactages de la couche supérieure du sol (Arvidsson et Håkansson 1996; Weisskopf *et al.* 2010); dans les systèmes culturaux avec travail réduit du sol, les compactages de la couche supérieure du sol peuvent poser des problèmes encore plus graves (Schjønning et Thomsen 2013).

Pour estimer le risque de compactage de la couche sous-jacente du sol, l'Aide à l'exécution «Protection des sols dans l'agriculture» (OFEV et OFAG 2013) a défini la profondeur de 35 cm comme profondeur de référence. Berisso *et al.* (2012) et Schjønning *et al.* (2013) ont montré que les compactages de la couche sous-jacente du sol peuvent perdurer plus de dix ans. Pendant cette période, les fonctions pédologiques et les prestations écologiques du sol peuvent être massivement perturbées, la croissance des plantes et des racines peut être limitée et par conséquent aboutir à des pertes de rendement (Soane et van Ouwerkerk 1994).

Que le risque de compactage soit testé à une profondeur de référence de 35 cm ne signifie pas qu'il n'y ait plus de risque dans les couches plus profondes. Les machines ayant des charges à la roue élevées peuvent exercer des pressions verticales nettement plus profondément dans le sol (Schjønning *et al.* 2012). Une mesure très efficace d'utilisation durable du sol consiste à éviter les compactages de la couche sous-jacente du sol: il s'agit de veiller scrupuleusement à ce que la pression verticale ne dépasse pas la résistance mécanique de la

couche sous-jacente du sol (ici à 35 cm de profondeur). Cette exigence conduit au concept de «charge maximale admissible à la roue» (cf. encadré).

Matériel et méthodes

Site, réseau de mesures tensiométriques, prélèvement d'échantillons

Les mesures *in situ* du potentiel matriciel ainsi que le prélèvement des échantillons pour les mesures de précontrainte ont été effectués sur la parcelle de suivi à long terme Oberacker à l'Inforama Rütli à Zollikofen près de Berne (fig. 1). Cet essai a été mis en place en 1994 sur un limon sableux faiblement humique (18% d'argile, 23% de limon) classé comme un sol de terre brune (Eutric Cambisol) (WRB 2006). Le site se situe à 557 m d'altitude et affiche une température moyenne annuelle de 9,3°C et une pluviosité annuelle moyenne de 1109 mm. Les systèmes culturaux semis direct (SD) et labour (L) ont été comparés sur six soles contiguës de 18 m de large (9 m pour chaque système) séparées par des bandes de prairie permanente de 35 m de large. L'essai a été réalisé en bandes avec six cultures différentes. Pour le L, le terrain a été labouré de manière conventionnelle à environ 25 cm de profondeur jusqu'en 2002. À partir de 2003, le labour *on-land* a été introduit (à partir de 2006, à une profondeur d'environ 15 cm seulement). Dans le cas du SD, les cultures sont semées sans ameublissement préalable du sol. Un sillon de semis est simplement ouvert dans le sol à l'aide de socs à disques, puis refermé une fois les semences déposées. Depuis 2007, la rotation comprend les cultures suivantes: pois protéagineux – blé d'automne – féveroles – orge d'automne – betteraves sucrières – maïs d'ensilage. Le travail du sol, le semis, l'entretien des cultures et la récolte sont effectués par les machines commerciales des entrepreneurs.

Depuis 2001, Oberacker fait partie du réseau cantonal de mesures tensiométriques. Les tensiomètres sont installés en cinq répétitions dans les systèmes culturaux SD et L (pour le blé d'automne dans les deux cas) et dans une bande de prairie permanente à 3 cm de profondeur. Les données sont enregistrées trois fois par semaine de mars à octobre et une fois par semaine de novembre à février. Elles fournissent des informations quasiment continues sur l'évolution du potentiel matriciel (h) dans le temps. L'étude a utilisé les médianes des mesures *in situ* réalisées de 2001 à 2011 à la station Oberacker du réseau de tensiomètres.

Au printemps 2013, des échantillons non remaniés (hauteur: 60 mm, diamètre: 100 mm) ont été prélevés avec des cylindres pour le SD et le L à une profondeur

Résumé ■ Une charge élevée à la roue comprime et déforme durablement la couche sous-jacente du sol, perturbant les fonctions pédologiques et la capacité de rendement. La charge maximale admissible à la roue est la charge qui impose au sol une contrainte inférieure à la résistance mécanique du sol (juste inférieure précontrainte); elle ne déforme donc pas la structure du sol de manière irréversible. Les variations saisonnières de la charge admissible maximale à la roue ont été calculées pour deux systèmes culturaux – semis direct et labour – ainsi que pour les bandes de prairie permanente situées entre les parcelles d'essai de la surface de suivi à long terme Oberacker (limon sableux). L'humidité du sol a été mesurée *in situ* et la précontrainte a été mesurée en laboratoire à l'aide de cylindres d'échantillons de sol non remanié. Les simulations ont été effectuées pour une profondeur de référence de 35 cm. La précontrainte, de même que la charge maximale admissible à la roue, dépend beaucoup de l'humidité du sol. La charge maximale admissible à la roue est plus élevée avec les pneus à basse pression qu'avec les pneus standards. Le nombre de jours de circulation disponibles (c'est-à-dire sans risque de compactage) varie fortement d'une année à l'autre. Ce nombre est légèrement plus élevé avec le labour qu'avec le semis direct et diminue avec l'augmentation de la charge à la roue. Le risque de compactage représenté à l'aide de la variable «charge maximale admissible à la roue» est facile à interpréter. C'est pourquoi cette variable est utile pour la prévention des compactages du sol.

de 35 à 41 cm. L'échantillonnage, 19 ans après le début de l'essai, a eu lieu sur trois des six parcelles environ six mois après le dernier travail du sol pour le procédé L. Les prélèvements ont été complétés par des échantillons de référence provenant de deux bandes de prairie permanente situées entre les parcelles d'essai.

Analyses en laboratoire

En laboratoire, les cylindres d'échantillonnage ont été saturés en eau (neuf échantillons pour chaque système cultural et chaque niveau d'humidité du sol). L'eau a en-

suite été progressivement drainée de manière à passer par cinq potentiels matriciels: -30 hPa (pF 1,5; sachant que $pF = \log[-\text{potentiel matriciel}]$), -60 hPa (pF 1,8), -100 hPa (pF 2,0), -200 hPa (pF 2,3) et -500 hPa (pF 2,7). Ensuite, les échantillons ont été soumis à quinze niveaux différents de pressions verticales (20 kPa, 30 kPa, 40 kPa, 50 kPa, 60 kPa, 80 kPa, 100 kPa, 125 kPa, 150 kPa, 200 kPa, 250 kPa, 400 kPa, 600 kPa, 800 kPa et 970 kPa) dans un essai de compression uniaxiale. Les sollicitations étaient espacées de 30 minutes. La déformation a été mesurée après chaque niveau de pression.

Pour chaque échantillon de sol, la valeur de la précontrainte a été calculée à partir de la courbe de pression semi-logarithmique, c'est-à-dire en fonction de la pression verticale à partir de la déformation mesurée. Elle a été déterminée à l'intersection des droites de première sollicitation avec l'axe de pression logarithmique (axe des x) pour une déformation de zéro (Dias Junior et Pierce 1995; McBride et Joosse 1996). La relation entre la précontrainte et l'humidité du sol (comme potentiel matriciel) a été établie de manière empirique pour les deux systèmes culturels et la bande de prairie permanente. La précontrainte en fonction du temps a été déduite de la combinaison entre la précontrainte dépendant de l'humidité du sol et les potentiels matriciels mesurés *in*

situ à l'aide des tensiomètres tout au long de l'année (cf. encadré, étapes 3–4).

Evaluation du risque de compactage

Des charges à la roue typiques ont été déterminées pour les machines fréquemment utilisées pour les travaux agricoles courants (tabl. 1). Bien que le poids opérationnel puisse changer pendant le travail sur le terrain, en diminuant (citerne à lisier) ou en augmentant (moissonneuse-batteuse), il est admis que la charge à la roue reste constante. La charge maximale admissible à la roue en fonction du potentiel matriciel mesuré a été calculée pour tous les pneus (cf. encadré) et comparée avec les charges à la roue typiques. Tant que la charge à la roue est inférieure à la charge maximale admissible à la roue, il est possible de circuler sur le sol sans risque de compactage. Le nombre de jours où cette condition est remplie au cours d'une année est le «nombre de jours de circulation disponibles».

Résultats

Influence de l'humidité du sol

La comparaison entre le SD et le L montre que le potentiel matriciel mesuré *in situ* à une profondeur de 35 cm

Encadré | La charge maximale admissible à la roue est déterminée en cinq étapes:

- 1) *Pression verticale du sol à 35 cm de profondeur*: la pression verticale du sol en fonction de la charge à la roue est simulée avec le modèle SoilFlex (Keller et al. 2007). SoilFlex travaille sur la base de solutions semi-analytiques pour le calcul de la propagation de la pression dans le sol. Nous avons utilisé un facteur de concentration (Fröhlich 1934) de 5 (Keller et Arvidsson 2004). La répartition de la pression à la surface de contact entre le pneu et le sol dépend de la charge à la roue, des caractéristiques du type de pneu choisi et de sa pression de gonflage. Elle a été calculée selon Keller (2005). Pour chaque pneu, les simulations ont été réalisées avec différentes charges à la roue, la pression de gonflage des pneus correspondant toujours aux recommandations du fabricant. Ces simulations ont permis d'établir un rapport entre la charge à la roue et la pression verticale du sol à 35 cm de profondeur.
- 2) *Pression verticale du sol et précontrainte*: pour la charge maximale admissible à la roue:
 - a) Pression verticale du sol \leq précontrainte et
 - b) Charge à la roue (lorsque pression verticale du sol = précontrainte) = charge maximale admissible à la roue. L'étape 1 combinée à l'étape 2 permet d'obtenir la charge maximale admissible à la roue en fonction de la précontrainte.
- 3) *Précontrainte et humidité du sol*: la précontrainte en fonction du potentiel matriciel a été déterminée en laboratoire à l'aide d'un essai de compression uniaxiale.
- 4) *Humidité du sol au cours de l'année*: le potentiel matriciel est mesuré *in situ* durant l'année, ce qui donne la courbe temporelle du potentiel matriciel.
- 5) *Charge maximale admissible à la roue au cours de l'année*: à partir des étapes 1–4, on obtient la charge maximale admissible à la roue en fonction du temps.

Tableau 1 | Machines et outils avec charges à la roue (standardisées) typiques en pratique sur le terrain.

Cas		Véhicule de traction/machine	Charge à la roue (tonnes)
1	a	Tracteur (100 kW)	2,25
	b	Tracteur (100 kW) avec charrue <i>on-land</i>	3,5
2	a	Tracteur (170 kW)	3,0
	b	Tracteur (170 kW) avec décompacteur	4,5
3	a	Citerne à lisier 12 m ³ , essieu tandem	3,5
	b	Citerne à lisier 8 m ³ , à un seul essieu	5,0
4	a	Moissonneuse-batteuse (avec barre de coupe de 4,5 m)	5,0
	b	Moissonneuse-batteuse (avec barre de coupe de 6 m)	7,0
5	a	Ensileuse automotrice	6,0
	b	Récolteuse totale de betteraves sucrières, six rangs, automotrice	11,0

kW = kilowatt (1 kW = 1,4 PS)

dans les peuplements de blé et pondéré pour les années 2001–2011 évolue de manière similaire; de mai à juillet, cela s'explique par la forte consommation d'eau du blé d'automne en phase de croissance (fig. 2). Au contraire, dans les bandes de prairie permanente régulièrement broyées, la couche sous-jacente du sol était plus humide de mai à juillet et plus sèche en août (après la récolte de blé avec le SD et le L). La courbe annuelle du potentiel matriciel se reflète également dans l'évolution saisonnière de la charge maximale admissible à la roue (fig. 3). Alors qu'en 2001, année à fortes précipitations (somme de précipitations: 1329 mm), la charge maximale admissible à la roue a beaucoup fluctué et n'a que rarement atteint des valeurs supérieures à 5 t, en 2003, année à faibles précipitations (somme de précipitations: 745 mm), le sol a pu supporter des charges à la roue élevées en continu de début mai à fin septembre. Par conséquent, la charge maximale admissible à la roue dépend à la fois du besoin en eau de la culture mise en place et du volume des précipitations ainsi que de leur répartition.

Influence du système cultural

Les différences de charge maximale admissible à la roue présentées dans la figure 4 entre le SD et le L s'expliquent en premier lieu par la différence de précontrainte en fonction de la courbe du potentiel matriciel (encadré, phase 3). Les différences entre le SD et la bande de prairie permanente (PP) dépendent principalement de l'évolution variable du potentiel matriciel (encadré, phase 4) et celles entre le L et la PP à la fois de la différence de précontrainte et de l'évolution différente du potentiel matriciel. Pendant les mois secs d'été où les valeurs de

potentiel matriciel sont fortement négatives, les valeurs de précontrainte élevées avec le L ont également conduit à des valeurs élevées de charge maximale admissible à la roue (jusqu'à plus de 2 t de différence par rapport au SD et à la PP).

Influence des pneus et de la charge à la roue

L'utilisation d'une citerne à lisier (de 8 m³) à un seul essieu équipée de pneus standard entraîne un risque élevé de compactage avec le procédé SD, car pour cette remorque, la charge à la roue est de 5 t (fig. 5; ligne en traitillés à 5 t), la charge maximale admissible étant toutefois toujours inférieure à 5 t (fig. 5; ligne grise continue). La même citerne à lisier, équipée de pneus basse pression, atteint en revanche des valeurs plus élevées

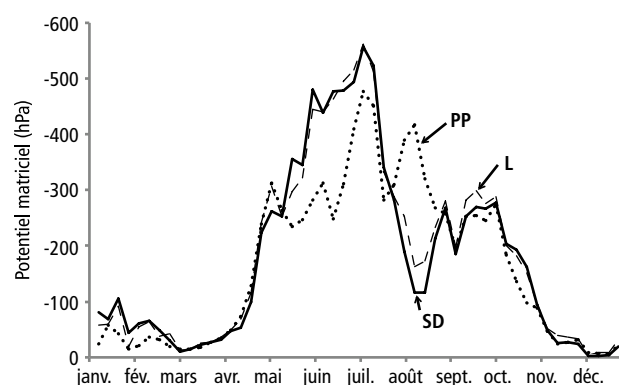


Figure 2 | Potentiel matriciel à 35 cm de profondeur des bandes de prairie permanente (PP = ligne en pointillés) et des systèmes culturaux semis direct (SD = ligne continue) et labour (L = ligne en traitillés) mesuré *in situ* et pondéré pour les années 2001 à 2011.

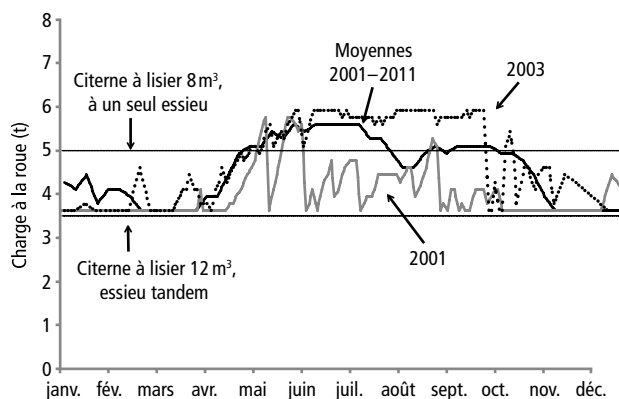


Figure 3 | Charges maximales admissibles à la roue pour l'année 2001 à fortes précipitations (ligne grise continue), l'année 2003 sèche (ligne noire en pointillés) et valeurs pondérées pour les années 2001 à 2011 (ligne noire continue). La simulation se réfère au système cultural du semis direct et au pneu basse pression 750/60R30.5 (tabl. 2, ex. 3). Conformément aux exemples 3a et 3b du tableau 1, les deux lignes horizontales continues représentent les charges à la roue d'une citerne à lisier à un seul essieu d'un volume de 8 m³ (ligne à 5 t) et d'une citerne à lisier avec un essieu tandem et un volume de 12 m³ (ligne à 3,5 t).

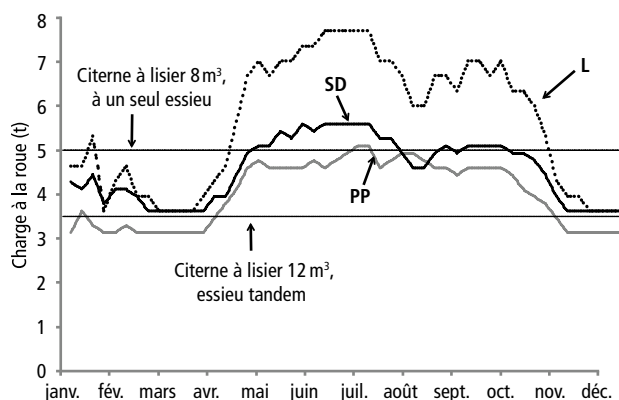


Figure 4 | Charges maximales admissibles à la roue, pondérées de 2001 à 2011, pour la bande de prairie permanente (PP = ligne grise continue) et les deux systèmes culturaux semis direct (SD = ligne noire continue) et labour (L = ligne noire en pointillés). La simulation se réfère au pneu basse pression 750/60R30.5 (tabl. 2, ex. 3). Conformément aux exemples 3a et 3b du tableau 1, les deux lignes horizontales continues représentent les charges à la roue d'une citerne à lisier à un seul essieu d'un volume de 8 m³ (ligne à 5 t), et d'une citerne à lisier avec un essieu tandem et un volume de 12 m³ (ligne à 3,5 t).

pour la charge maximale admissible à la roue (fig. 5; ligne noire continue). De mai à juillet, ces valeurs se situent même dans une zone favorable de plus de 5t (par rapport au risque de compactage). Si l'on utilise la citerne à lisier équipée de pneus basse pression avec une pression de gonflage usuelle pour les transports routiers (à une vitesse de 40 km h⁻¹ conformément aux indications

du fabricant), la charge maximale admissible à la roue baisse à nouveau (fig. 5; ligne noire en pointillés). Si on augmente de 4 m³ la charge totale de la citerne à lisier pour aboutir à 12 m³ et que l'augmentation de poids est supportée par un essieu tandem équipé de pneus basse pression, la période de circulation à moindres risques se rallonge considérablement, car la charge à la roue de la citerne à lisier n'est plus que de 3,5t (fig. 5; ligne en traitillés à 3,5t).

Des charges à la roue basses et des pneus basse pression correctement gonflés prolongent les périodes où le risque de compactage est moindre. Autrement dit, on obtient une augmentation du nombre de jours de circulation disponibles. Ceci est un avantage décisif, non seulement lors des années à fortes précipitations: la charge maximale admissible à la roue de la citerne à lisier de 8 m³ équipée de pneus standard est toujours restée dans une plage de risque inférieure à 5 t (non représentée), même en 2003, année sèche.

Nombre de jours de circulation disponibles

Bien que la plupart des véhicules de traction et des machines présentés au tableau 1 ne soient utilisés dans la pratique qu'à des périodes bien déterminées, le nombre de jours de circulation disponibles indiqué au tableau 3 a été calculé pour une période de 275 jours allant de mars à novembre, pour les besoins de la comparaison (pour les deux systèmes culturaux SD et L, ainsi que pour PP, dans chaque cas pour les pneus standard et les pneus basse pression).

Plus la charge à la roue augmente, plus le nombre de jours de circulation disponibles diminue; à partir de charges à la roue supérieures à 5 t, la diminution est disproportionnée. Avec la moissonneuse-batteuse (cas 4b) et l'ensileuse à maïs automotrice (cas 5a), le nombre de jours de circulation disponibles reste faible sur toute la période de 275 jours avec le SD et le L. Avec la récolteuse totale automotrice à betteraves sucrières (cas 5b), il n'a même pas été possible de trouver de jours aptes à la circulation. Par rapport aux pneus standard, les pneus basse pression permettaient un plus grand nombre de jours de circulation, d'où l'importance de ce type de pneus pour réduire le risque de compactage.

Le nombre de jours de circulation disponibles était plus important avec le L qu'avec le SD, et plus important avec le SD qu'avec la PP. La valeur de précontrainte étant plus élevée dans les sols secs avec le L qu'avec le SD et la PP, la charge maximale admissible à la roue est elle aussi plus élevée avec le L qu'avec le SD et la PP lorsque les sols sont plutôt secs (cf. «Influence du système cultural» p.333), ce qui s'est traduit par un plus grand nombre de

jours disponibles avec le L et des charges à la roue supérieures à 5t (p. ex. citerne à lisier de 8 m³ à un seul essieu).

Discussion

L'humidité du sol (déterminée comme potentiel matriciel) exerce une influence décisive sur la charge maximale admissible à la roue. Celle-ci suit une évolution saisonnière semblable à celle du potentiel matriciel mesuré *in situ*: en dehors de la période de végétation (de novembre à mars) et les années à fortes précipitations, la charge maximale admissible à la roue est basse. Elle est en revanche élevée lorsque le besoin des cultures en eau est important et que les précipitations sont faibles. Ce point se reflète également dans le nombre de jours de circulation disponibles, également plus réduit les années humides que les années sèches (non représenté).

L'étude a montré l'influence des pneus: les pneus basse pression réduisent le risque de compactage par rapport aux pneus standard. Le potentiel matriciel exerçant une influence plus forte sur la charge maximale admissible à la roue que la dimension des pneus, les différences entre pneus basse pression et pneus standard ne sont pas très marquées surtout dans des conditions humides. Lorsque les charges à la roue sont supérieures à 5t, le risque de compactage du sol est considérable, même avec des pneus basse pression.

Les simulations ont été faites pour une pression de gonflage des pneus adaptée aux vitesses requises pour les travaux agricoles (10 km h⁻¹). Pour les trajets sur routes, les fabricants recommandent une pression de gonflage supérieure pour des vitesses de 40 km h⁻¹.

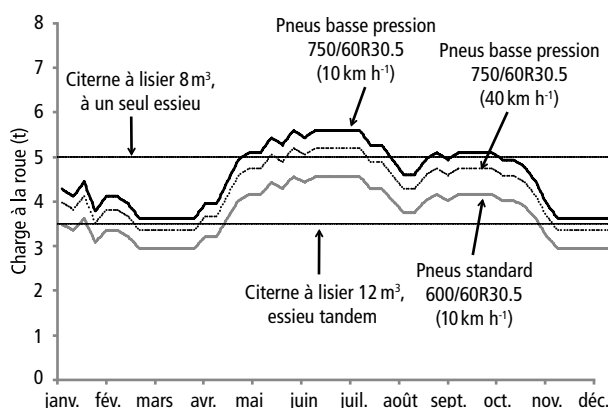


Figure 5 | Charges maximales admissibles à la roue, pondérées de 2001 à 2011, pour le semis direct, avec le pneu standard 600/60R30.5 (ligne grise continue) et le pneu basse pression 750/60R30.5 (tabl. 2, ex. 3). Pour le pneu basse pression, la simulation a été effectuée à une vitesse de 10 km h⁻¹ (ligne noire continue) et de 40 km h⁻¹ (ligne noire en pointillés), en respectant la pression de gonflage recommandée par le fabricant. Conformément aux exemples 3a et 3b du tableau 1, les deux lignes horizontales continue représentent les charges à la roue d'une citerne à lisier à un seul essieu d'un volume de 8 m³ (ligne à 5t) et d'une citerne à lisier avec un essieu tandem et un volume de 12 m³ (ligne à 3,5t).

Lorsqu'un trajet sur route est suivi d'une intervention sur le terrain sans que la pression ait été réglée, la pression de gonflage (trop) élevée réduit la charge maximale admissible à la roue. La pression de gonflage des pneus devrait donc être adaptée aux conditions d'utilisation avant (et après) chaque travail sur le terrain (p. ex avec des systèmes centralisés de réglage de la pression des pneus).

Tableau 2 | Sélection de pneus des machines et outils présentés dans le tableau 1 avec dimensions et propriétés.

Type de pneus	Cas	Dimension	Largeur (mm)	Ø du pneu (mm)	Ø de la jante (mm)
Standard	1	460/85R38	495	1750	965
	2	520/85R42	539	1945	1067
	3	600/60R30.5	639	1496	775
	4	520/85R42	539	1945	1067
	5	800/65R32	799	1840	813
Basse pression	1	650/60R38	677	1735	965
	2	900/50R42	853	1947	1067
	3	750/60R30.5	760	1680	775
	4	900/60R32	863	1894	813
	5	1050/50R32	1055	1858	813

Tableau 3 | Nombre calculé de jours de circulation disponibles de 2001 à 2011 pour la période de 275 jours de mars à novembre, pondéré en fonction du système cultural. Le tableau reprend les machines et outils, respectivement leurs pneus présentés dans les tableaux 1 et 2.

Cas	Véhicule de traction/machine	SD		L		PP		
		ST	BP	ST	BP	ST	BP	
1	a	Tracteur (100 kW)	271	275	261	266	252	275
	b	Tracteur (100 kW) avec charrue <i>on-land</i>	192	219	210	240	152	196
2	a	Tracteur (170 kW)	232	275	248	262	212	260
	b	Tracteur (170 kW) avec décompacteur	58	205	198	224	0	181
3	a	Citerne à lisier 12 m ³ , essieu tandem	201	236	218	248	176	216
	b	Citerne à lisier 8 m ³ , à un seul essieu	0	133	173	203	0	12
4	a	Moissonneuse-batteuse (avec barre de coupe de 4,5 m)	0	182	188	208	0	94
	b	Moissonneuse-batteuse (avec barre de coupe de 6 m)	0	0	0	148	0	0
5	a	Ensileuse automotrice	0	128	191	203	0	12
	b	Récolteuse totale de betteraves sucrières, six rangs, automotrice	0	0	0	0	0	0

SD = semis direct, L = labour, PP = bandes de prairie permanente, ST = pneus standard, BP = pneus basse pression, kW = kilowatt

Les valeurs de précontrainte normalisées et les cartes du risque de compactage ne tenant pas compte de l'influence dynamique du potentiel matriciel, la charge maximale admissible à la roue simulée et représentée à l'aide de tableaux et de graphiques permet d'estimer le risque de compactage et les mesures préventives encore possibles, en étant plus proche de la réalité. De plus, ces résultats sont plus faciles à comprendre dans la pratique que les valeurs de précontrainte ou les cartes normalisées du risque de compactage. L'approche dynamique de la charge maximale admissible à la roue apporte des informations supplémentaires sur le risque de compactage des sols à intervalles réguliers, que ce soit par rapport à la charge à la roue, au type de pneu, à la pression de gonflage ou au nombre de jours de circulation disponibles. Ces informations permettent ensuite de définir la période d'intervention optimale des machines et des outils agricoles.

Conclusions

La combinaison de mesures *in situ* du potentiel matriciel, de mesures en laboratoire de la précontrainte avec différents potentiels matriciels et de simulations de la pression verticale du sol permet de représenter l'évolution saisonnière du risque de compactage à l'aide du paramètre de «charge maximale admissible à la roue». Le potentiel matriciel se mesure facilement et à moindres frais

in situ à l'aide de tensiomètres. En fonction de l'évolution du potentiel matriciel, la charge maximale admissible à la roue fluctue largement durant l'année: elle est basse lorsque le sol est humide et élevée lorsque le sol est sec. La charge maximale admissible à la roue dépend également de l'interaction entre la valeur de précontrainte et l'humidité du sol. Cette interaction est différente pour le SD et le L mais semblable pour le SD et la PP.

La comparaison des pneus standards et basse pression met en évidence l'importance des pneus basse pression pour la prévention des compactages de la couche sous-jacente du sol. Avec des machines et des outils dont les charges à la roue dépassent 5t, les pneus basse pression ne permettent toutefois que de gagner quelques jours de plus de circulation, voire aucun. Pour augmenter le nombre de jours de circulation disponibles et réduire le risque de compactage de la couche sous-jacente du sol, il est recommandé d'effectuer les travaux agricoles avec des charges à la roue les plus réduites possibles et des pneus basse pression gonflés de manière optimale. Des limites de charges à la roue telles que pratiquées dans le programme de promotion des sols du canton de Berne (pour les citernes à lisier) sont dans la volonté d'éviter les compactages avec une utilisation durable du sol (cf. l'Aide à l'exécution Protection des sols dans l'agriculture). À cet effet, le paramètre de «charge maximale admissible à la roue» offre aux exploitants une variable caractéristique opérationnelle et facile à interpréter. ■

Riassunto**Il carico massimo sopportabile dalla ruota – un indicatore utile per la pratica**

Gli elevati carichi delle ruote determinano, soprattutto nel sottosuolo, compressioni che causano continue deformazioni e quindi danni alle funzioni e alla resa del suolo. Il carico massimo sopportabile dalla ruota consiste nel carico della ruota che in caso di sfruttamento del suolo si trova appena al di sotto della stabilità del suolo (fissato come precarico) e la struttura del suolo pertanto non è ancora costantemente deformata.

Abbiamo calcolato i cambiamenti stagionali del carico massimo sopportabile dalla ruota per i due sistemi di coltivazione con semina diretta e con aratro nonché per le strisce di superficie perennemente inerbita tra le particelle di sperimentazione della superficie di osservazione permanente (argilla sabbiosa). Sono stati misurati l'umidità del suolo (come potenziale matriciale) *in situ* e la tara per i diversi potenziali matriciali nei campioni di suolo indisturbati in laboratorio. Le simulazioni sono state condotte per una profondità di riferimento di 35 cm sia per gli pneumatici standard sia per quelli a bassa pressione. È risultato che sia il precarico sia il carico massimo sopportabile dalla ruota sono strettamente connessi all'umidità del suolo. Per gli pneumatici a bassa pressione il carico massimo sopportabile è maggiore rispetto a quelli standard. Il numero di giorni in cui il suolo può essere percorso senza rischio di compattazione subisce grandi oscillazioni annuali; nel sistema con aratro è leggermente maggiore rispetto al sistema di semina diretta ed è diminuito all'aumentare del carico della ruota. La rappresentazione del rischio di compattazione mediante il parametro «carico massimo sopportabile dalla ruota» è facilmente interpretabile e pertanto utile per la prevenzione della compattazione del suolo.

Summary**Wheel load-carrying capacity – a useful parameter for practice**

Compaction in the subsoil caused by high wheel loads is usually long-lasting, adversely affecting soil functions and productivity. Wheel load-carrying capacity is defined as the maximum wheel load for a specific tyre and inflation pressure that does not result in soil stress in excess of soil strength (defined as precompression stress).

We calculated the seasonal dynamics in wheel load-carrying capacity for different tyres (standard and low-pressure tyres) and for soil under different tillage and cropping systems (mouldboard ploughing, no till, and permanent grassland in the Oberacker long-term field experiment on a sandy loam soil). Wheel load-carrying capacity was estimated based on *in situ* measurements of soil matric potential, measurements of precompression stress at various matric potentials, and simulations of soil stress. Calculations were made for a reference depth of 35 cm. Our results show wheel load-carrying capacity to be strongly dependent on soil moisture, and to be higher for low-pressure tyres than for standard tyres. The number of trafficable days – estimated by comparing actual wheel loads of agricultural machinery with the wheel load-carrying capacity – varied between years, and decreased with increasing wheel load of the machinery. Wheel load-carrying capacity is a useful and easily interpreted parameter for portraying compaction risk, and is therefore an effective guide for preventing soil compaction.

Key words: soil compaction, precompression stress, trafficability, soil matric potential, no-tillage, mouldboard ploughing.

Bibliographie

- La bibliographie est disponible auprès des auteurs.