

TASC V3.0 – vulnérabilité du sol et consommation de carburant

Application informatique pour évaluer les charges subies par le sol en surface et en profondeur dans l'agriculture et la sylviculture, ainsi que pour estimer la consommation d'énergie et de carburant en grandes cultures.

Septembre 2013

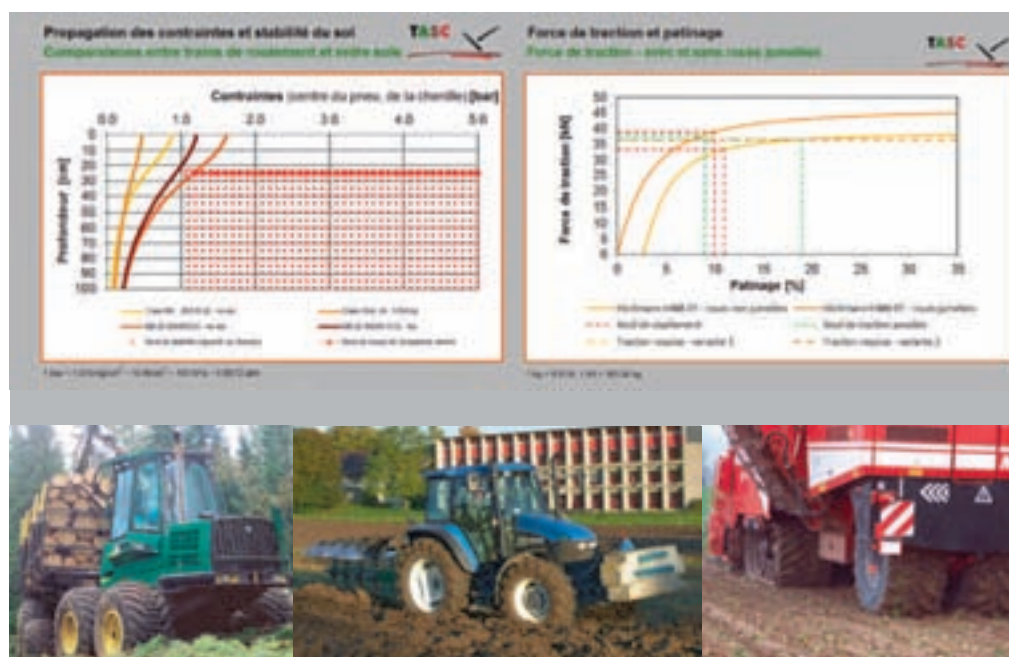


Fig. 1: TASC V3.0 calcule les contraintes et les courbes de traction-patinage avec mention du seuil de cisaillement. Ces informations permettent d'évaluer la vulnérabilité du sol.

Auteurs

Etienne Diserens et Andrea Battiato, ART
Renseignements: Etienne Diserens,
e-mail: etienne.diserens@
agroscope.admin.ch

Impressum

Edition:
Station de recherche Agroscope
Reckenholz-Tänikon ART,
Tänikon, CH-8356 Ettenhausen,
Traduction: ART

Les Rapports ART paraissent
environ 20 fois par an.
Abonnement annuel: Fr. 60.—.
Commandes d'abonnements
et de numéros particuliers: ART,
Bibliothèque, 8356 Ettenhausen
T +41 (0)52 368 31 31
F +41 (0)52 365 11 90
doku@art.admin.ch
Downloads: www.agroscope.ch
ISSN 1661-7576

TASC V3.0 (Tyres/Tracks And Soil Compaction) est une application Excel d'Agroscope, réactualisée et adaptée aux besoins de la pratique pour faciliter l'équipement des véhicules agricoles et sylvicoles à des fins de protection du sol et dans une certaine mesure aussi d'économie de carburant. Cette application comprend cinq modules. Le premier porte sur le compactage sévère. Les contraintes excessives, induites par les trains de roulement sont indiquées à la profondeur critique correspondante. Le deuxième module, nouveau, calcule les courbes de traction-patinage et indique à partir de quel taux de patinage le sol est cisailé. La force de traction et le carburant nécessaires peuvent être déterminés pour différents outils attelés, compte tenu du sol et du trac-

teur. Le troisième module calcule la distribution des surfaces foulées avec ou sans passage multiple. Un autre module donne accès aux données techniques de plus de 1270 pneumatiques agricoles et forestiers, jantes comprises. Le cinquième module permet, à partir des normes internationales des pneumatiques et des jantes, de calculer pour chaque pneumatique agricole ou forestier la charge maximale autorisée suivant la pression de gonflage et la vitesse. Les simulations ont été développées à partir de mesures sur terrain agricole. Depuis une décade, TASC vise en Europe à sensibiliser le monde agricole en l'enjoignant toujours plus à protéger le sol. Cette version a la prétention d'y contribuer davantage encore.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'économie,
de la formation et de la recherche DEFR
Agroscope

Problématique

Depuis le milieu des années 1980, la mécanisation de l'agriculture et de la sylviculture s'est considérablement modifiée sous l'effet du progrès technique et de la rationalisation. Les performances des machines agricoles et sylvicoles ont largement augmenté, de même que le poids des outils, des machines et des tracteurs. Avec des charges à la roue qui vont jusqu'à près de 5 tonnes pour les tracteurs, 6 tonnes pour les abatteuses, 11 tonnes pour les moissonneuses-batteuses; avec des poids totaux de 30 tonnes pour les porteurs forestiers et de 60 tonnes pour les récolteuses automotrices intégrales de betteraves sucrières, les sols sont soumis à des charges considérables (fig. 1). Le compactage du sol est un dommage insidieux, souvent persistant qui se manifeste lors de conditions météorologiques extrêmes (pluies durables, sécheresse, froid persistant). Dans l'agriculture, on observe des pertes de rendement comprises entre 5 et 15 % (1). Dans la sylviculture, on estime que la perte de productivité représentera entre 6 et 16 % des réserves pour la génération à venir (2). En outre, le problème n'est pas limité à celui du compactage, mais s'étend à celui du cisaillement et de la déformation du sol lors des travaux de traction. Lorsque le patinage est important, le sol en surface est littéralement cisailé. Une couche lâche se forme. Sous cette couche, le sol se déforme, s'écrase. Les cisaillements et les compactages limitent l'infiltration de l'eau, renforçant ainsi la fréquence et la gravité des inondations et de l'érosion.

En Suisse, les bases juridiques de l'Ordonnance sur les atteintes portées au sol (OSol du 1.7.1998), accordent la priorité au compactage et à l'érosion du sol. Le principe de prévention est essentiel pour garantir la multifonctionnalité du sol à long terme et préserver sa fertilité.

profondeur critique (profondeur maximale d'ameublissement, épaisseur de la couche organique). A partir de là, il est possible de calculer la surface de l'empreinte et la pression de contact avec indication de risque de compactage sévère. Les informations complémentaires suivantes peuvent être consultées: propagation des contraintes, bulbes de pression (graphiques et numériques) et contrainte en un point donné du sol (numérique).

Exemples d'application:

- Quelle pression au sol pour deux pneumatiques compte tenu de leur charge, de leur pression de gonflage respectives et des caractéristiques du sol?
- Train de roulement: roues jumelées ou non? – Quelle solution préférable pour le sol?
- Quel risque de compactage pour un sol défini (texture, dureté, humidité) compte tenu d'une charge précise (dimensions du pneumatique, charge à la roue, pression de gonflage)?
- Quel risque de compactage à proximité immédiate des voies de passage ou de débardage?

Module 2 – traction, patinage, cisaillement du sol et consommation de carburant

La force de traction nécessaire est calculée selon l'ASAE (3) en fonction du sol, de l'outil de travail, sa profondeur de travail et sa vitesse de progression. Deux cas peuvent être simultanément examinés. L'importance du patinage, du transfert de charge et de la consommation de carburant (fig. 2) sont représentés compte tenu des propriétés du tracteur (dimension des pneumatiques, charge à la roue, pression de gonflage, empattement, hauteur d'attelage) comme de celles du sol (texture, cohésion, résistance à la pénétration). La vulnérabilité du sol en surface est signalée par le taux de patinage et la force de traction correspondants à partir desquels il y a cisaillement. Comme pour le premier module, les données des pneumatiques peuvent être enregistrées manuellement dans le tableau de saisie ou alors en activant les valeurs correspondantes dans la banque de données (module 4). L'utilisateur peut indiquer le type de sol, sa consistance, sa cohésion et la profondeur de l'ornière en se basant sur des tests au champ simples et rapides.

Les paramètres complémentaires suivants peuvent être consultés dans une fourchette de 1 à 35 % de patinage: force de traction nette au point d'attelage, force de traction totale sur les roues, résistance du sol, charge dynamique à la roue (avant et arrière) et coefficient de traction (rapport entre la force de traction nette et le poids du véhicule). De même, les besoins en énergie peuvent être évalués dans la même fourchette de patinage avec pour composantes: puissance de traction, puissance au moyeu de la roue, puissance du moteur avec un rendement admis de 85 % (charge du moteur élevée avec peu de pertes dues à la transmission), consommation horaire de diesel et efficacité de la puissance de traction (rapport entre la puissance nette de traction et la puissance au moyeu de la roue). Par voie graphique, la force de traction, la puissance du moteur et la consommation horaire de diesel apparaissent en fonction du patinage alors que la consommation spécifique de diesel et l'efficacité de la puissance de traction apparaissent en fonction de la force de traction.

TASC V3.0 – l'essentiel en bref

TASC V3.0 (Tyres/Tracks And Soil Compaction – Pneumatiques/Chenilles et compactage du sol) est la troisième version d'un outil pratique d'aide à la décision comprenant cinq modules (fig. 2) et qui convient à tous les domaines confrontés au problème de la sollicitation du sol par les trains de roulement: pratique agricole et sylvicole, vulgarisation, planification, enseignement, administration, bureaux d'ingénieurs, industrie des pneumatiques, des machines agricoles et sylvicoles.

Module 1 – contraintes de charge et compactage sévère

Le module permet, pour un à quatre cas différents, de représenter la vulnérabilité du sol et le risque de compactage sévère suivant le train de roulement, la charge, la dimension des pneumatiques et des chenilles, la pression de gonflage, l'exploitation du sol et ses propriétés (fig. 2). Les données des pneumatiques peuvent être sélectionnées soit en introduisant directement les dimensions des pneumatiques soit en cliquant sur l'une des valeurs techniques correspondantes au pneumatique figurant dans la banque de données du module 4. Des tests au champ simples et rapides permettent de définir le type de sol (texture), son humidité, sa consistance (résistance à la pénétration) et la

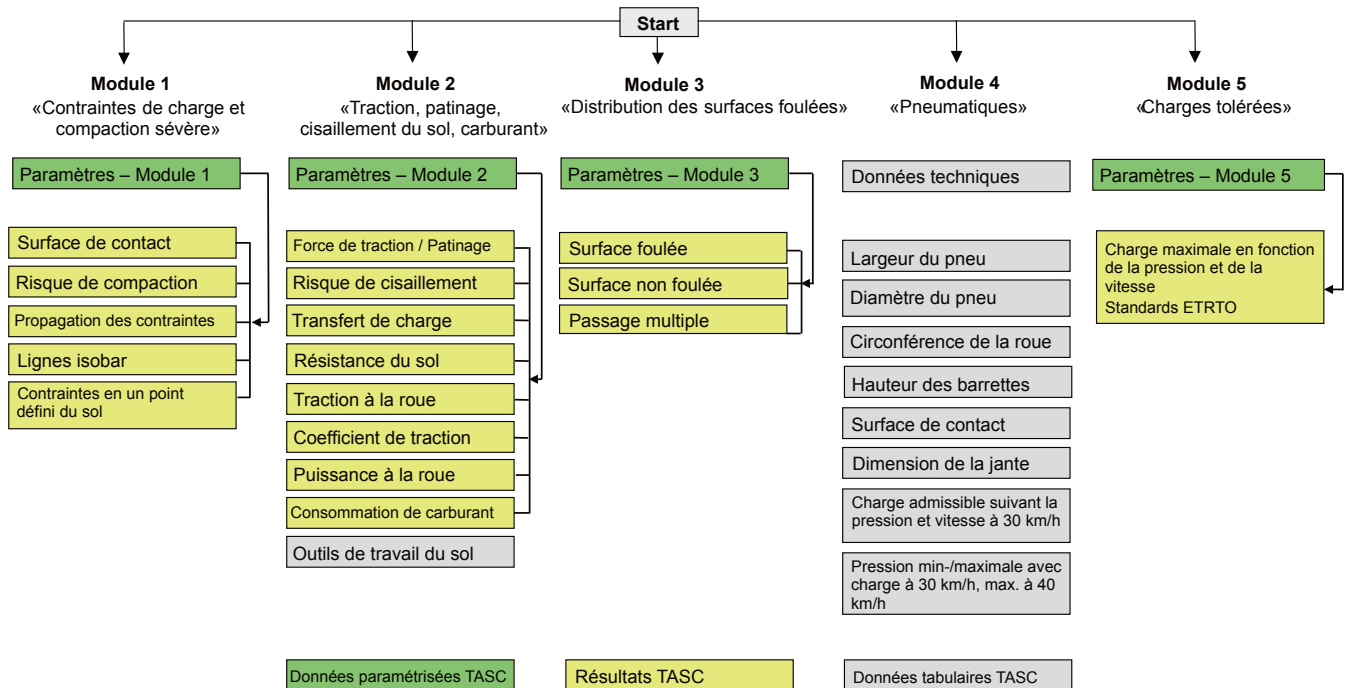


Fig. 2: Ordinogramme simplifié de la version TASC V3.0.

Exemples d'application:

- Effet du pneumatique et du sol sur la vulnérabilité du sol en surface (cisaillement du sol).
- Calcul de la force de traction nécessaire en fonction de l'outil attelé, du sol, de la profondeur de travail et de la vitesse de progression.
- Influence du pneumatique, de l'outil de travail et du sol sur la consommation de diesel.

Module 3 – distribution des surfaces foulées

La part des surfaces foulées est considérée comme un indice supplémentaire de vulnérabilité du sol en surface. Sur les sols à structure sensible (sols argileux et silteux) difficilement perméables, il est recommandé, lorsque le sol est humide à détrempé, de limiter au maximum les surfaces foulées pour favoriser autant que possible l'infiltration de l'eau. Les sols sableux à grains grossiers sont moins sensibles. La part de surface foulée est calculée d'après la largeur de travail, la largeur des pneumatiques et la configuration du train de roulement. Il est possible d'évaluer la distribution des surfaces pour plusieurs passages. Le modèle peut prendre en compte jusqu'à 24 roues avec résultats numériques et graphiques (fig. 2).

Exemples d'application:

- Culture de betteraves sucrières: récolteuse intégrale de betteraves à deux rangs (tractée, avec/sans véhicule de transbordement) comparée à une récolteuse intégrale automotrice à six rangs.
- Culture de betteraves sucrières: procédé respectant les voies de passage (position standard) comparé à un procédé décalé (position crabe) avec récolteuse intégrale automotrice.
- Procédé CTF (Controlled Traffic Farming): quels effets pour la couche superficielle du sol durant une période

végétative allant du travail primaire du sol jusqu'à la récolte ou éventuellement pour différentes cultures échelonnées.

Module 4 – base de données des pneumatiques

La base de données compte plus de 1270 types de pneumatiques répartis en cinq groupes: pneumatiques moteurs et porteurs forestiers, pneumatiques directeurs, moteurs et porteurs agricoles. Le type de pneumatique, ses dimensions peuvent être consultés ou directement transférés dans les tableaux de saisie. Les informations peuvent également être utilisées pour calculer la charge maximale admissible à la roue suivant le pneumatique, la pression de gonflage et la vitesse. Dans chaque groupe, les pneumatiques sont classés par ordre croissant du diamètre de jantes (unité en pouce).

Outre les mesures standard comme le diamètre des jantes, leur type, la largeur des pneumatiques, leur diamètre (circonférence de roulement et hauteur des crampons pour les pneumatiques moteurs agricoles), la surface de l'empreinte, l'indice de charge et de vitesse, la portance à 30 et 40 km/h avec les pressions de gonflage correspondantes sont également accessibles (fig. 2). Les fabricants sont eux aussi répertoriés pour chaque pneumatique enregistré.

Exemples d'application:

- Comparaison entre pneumatiques.
- Sélection de pneumatiques spéciaux pour grandes cultures et cultures fourragères.
- Sélection de pneumatiques moteurs avant et arrière compte tenu du rapport mécanique, de la prépondérance.
- Vérification de la dimension des jantes lors du changement de pneumatiques.

- Vérification de la portance pour une pression de gonflage donnée à 30 et 40 km/h.

Module 5 – charges tolérées

Les charges tolérées peuvent varier suivant l'utilisation de la machine, la catégorie des pneumatiques, la pression de gonflage et la vitesse de progression. Pour calculer la charge maximale admissible à la roue pour une vitesse et une pression de gonflage données, la charge à la roue à 30 km/h avec pression de gonflage correspondante est transférée du répertoire des données des pneumatiques au tableau de saisie du module 5. La vitesse est ensuite sélectionnée (fig. 2).

Exemples d'application:

- Calcul de la charge admissible pour les travaux en forêt avec des pneumatiques moteurs (couple bas).
- Calcul de la charge admissible pour les trajets sur route (40 km/h) avec la pression de gonflage correspondante autorisée avec des pneumatiques moteurs très chargés (combinaison d'outils de semis).
- Calcul de la charge maximale admissible à 10 km/h pour des pneumatiques porteurs donnés.

Principe de base et évaluations de la vulnérabilité du sol

Le sol se déforme dès qu'une force s'exerçant de l'extérieur surpasse la force de réaction correspondante du sol. Le concept de contrainte de charge – préconsolidation s'applique au sous-sol, le concept de contrainte de cisaillement – résistance au cisaillement s'applique au sol en surface.

Vulnérabilité du sous-sol

Lorsqu'à une profondeur donnée, selon Boussinesq (4) une contrainte F due à l'effet d'une charge est inférieure à la résistance du sol R (également appelée préconsolidation), aucune déformation ne se produit. Le sol réagit de manière élastique. Si toutefois F est supérieure à R , le sol réagit

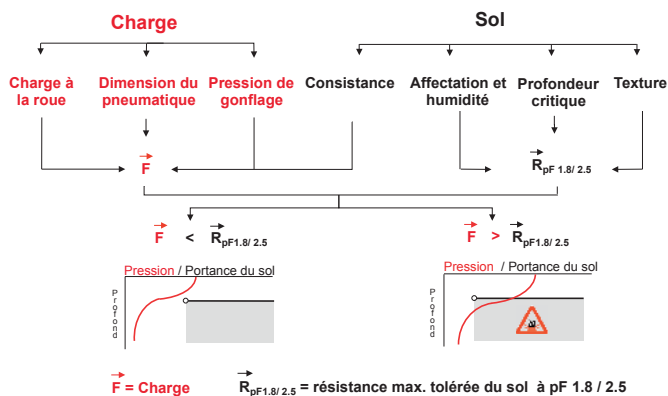


Fig. 3: Premier module «Contrainte de charge et compactage sévère». Principe de base: lorsque la contrainte F à la profondeur critique est supérieure à la résistance critique du sol R à cette profondeur, il y a risque de compactage sévère.

alors de manière plastique. Il faut s'attendre à des déformations sous forme de compactage. Lorsque les contraintes de charge sont jugées excessives, il y a risque de compactages sévères (fig. 3).

Pour évaluer le degré de compactage, les valeurs indicatives de la densité apparente effective font références. Pour les sols forestiers, les valeurs indicatives sont de $1,5 \text{ g/cm}^3$ et pour les sols agricoles de $1,7 \text{ g/cm}^3$ (5). Pour calculer la résistance du sol équivalant aux contraintes de charge maximales admissibles, des régressions ont été établies entre la densité apparente effective et la préconsolidation avec un pF de 1,8 (sol humide, ressuyé) et un pF 2,5 (sol sec) à partir de compilations de données existantes (6). La résistance limite admissible du sol a été établie pour cinq classes de texture: (1) sol limoneux (2) silt argileux, limoneux, sableux, silt (3) limon argileux, limon (4) limon sableux, sable riche en limon (5) sable limoneux, sable silteux, sable.

Vulnérabilité du sol en surface

L'interaction du pneumatique et du sol déclenche une série de forces normales et tangentielles (7). Comme la résistance du sol au cisaillement augmente avec la contrainte normale de charge, elle fait office de fonction de la contrainte de charge, de la cohésion du sol et de l'angle de frottement interne (mesure du frottement à la surface du sol) selon Mohr-Coulomb (4).

Lorsque le sol résiste aux forces de cisaillement $\tau < \tau_{\max}$, il se comporte de manière élastique. Aucune rupture ou cisaillement du sol en surface ne se produit (fig. 4). Par contre, lorsque les forces de cisaillement dépassent la résistance du sol avec l'augmentation de la force de traction et du patinage $\tau \geq \tau_{\max}$, le sol se plastifie à se rompre. Il est alors cisailé (fig. 4).

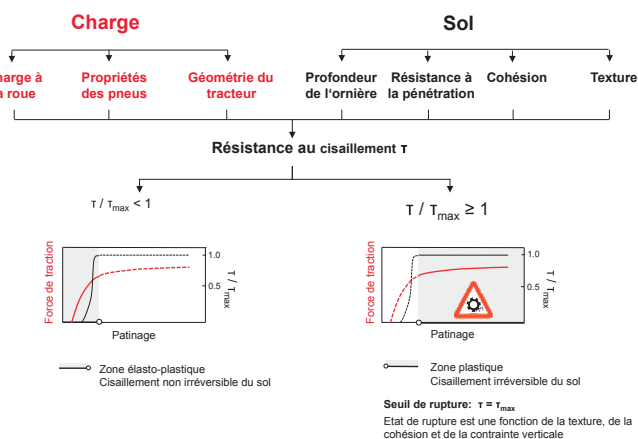
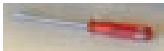
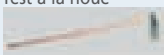


Fig. 4: Deuxième module «Traction, patinage, cisaillement du sol». Principe de base: lorsque les forces de cisaillement générées par les roues sont égales voire supérieures à la résistance du sol au cisaillement, le sol se brise, il y a rupture irréversible.

Tests au champ		Module 1 Vulnérabilité du sous-sol		Module 2 Vulnérabilité du sol en surface		Références Guide TASC
Outils	Principes	Paramètres	Finalités	Paramètres	Finalités	
Test tactile 	Adhérence, caractère poisseux, cohésif, sensation de froid sur le dos de la main à la profondeur critique	Granulométrie (argile %, silt %), humidité du sol, (valeurs pF)	Fixation des seuils de stabilité, risque de compaction sévère oui/non	Granulométrie (argile %, silt %), angle de friction interne φ	Calcul de la contrainte de cisaillement dans l'interface sol / pneu et de la résistance maximale du sol au cisaillement.	§ 4.2.2 § 4.2.3 § 5.2.3
Double mètre 	Mesure de la profondeur critique après évaluation du profil (test à la bêche) – profondeur de l'ornière (axe avant – axe arrière pris séparément en terrain vierge)	Profondeur critique z_k	Délimitation de la profondeur à partir de laquelle le sol doit être protégé. Risque de compaction irréversible oui/ non	Hauteur des barrettes z_s , profondeur de l'ornière h_s , module de déformation K – exposant n	Calcul de la surface de contact et de la force de traction à la roue	§ 4.2.5 § 5.2.1
Test au tournevis 	3 positions de la main pour faire pénétrer l'outil à 10 cm tendre: prise entre pouce et index, mi-dur: prise à pleine main, dur: prise en forme de poing d'en haut)	Consistance du sol, facteur de concentration q	Calcul de la propagation des contraintes à la profondeur critique	Consistance du sol, module de cisaillement k	Distribution des contraintes de cisaillement dans l'interface sol / pneumatique	§ 4.1.1 § 4.2.4 § 5.2.4.
Test à la houe 	5 positions du corps soumis à l'effort de rupture du sol (une main, deux mains, une main jambes fléchies, deux mains jambes fléchies, apparemment impossible) Profondeur de l'enfoncement de la lame dans le sol et hauteur correspondante du manche sont mesurés			Cohésion du sol c	Distribution des contraintes de cisaillement dans l'interface et calcul de la résistance maximale du sol au cisaillement	§ 5.2.2

Tab. 1: Tests au champ adaptés à la pratique permettant de caractériser le sol lors du passage des machines. Description détaillée, voir guide TASC.

TASC sur le terrain

L'agriculteur ou le forestier doit pouvoir vérifier aussi rapidement que possible, avec un minimum d'effort, sans coût et de manière fiable, s'il peut circuler sur son sol ou non, sans risque sévère de compactage ou de cisaillement. A cette fin, quatre tests au champ sont proposés (tab. 1).

Test tactile: le test tactile permet de déterminer la texture du sol répartie en cinq catégories. L'humidité du sol peut également être évaluée à l'aide du test tactile. Ces deux propriétés sont importantes pour déterminer le seuil de stabilité (module 1) comme le seuil de cisaillement (module 2).

Double-mètre: définition de la profondeur maximale d'ameublissement ou profondeur critique du sol en dessous de laquelle le sol doit impérativement être protégé (module 1). Le relevé de la profondeur de l'ornière permet de calculer la surface de l'empreinte ainsi que la force totale à la roue (forces tangentielles) pour les pneumatiques moteurs (module 2).

Test du tournevis: il s'agit d'un tournevis classique (pointe n° 4, 6 mm de largeur, 1 mm d'épaisseur). Suivant la position de la main, le sol est décrété tendre, mi-dur ou dur. Ce test permet à la fois d'estimer la consistance du sol peu avant le passage des machines (module 1) ainsi que le module de déformation par cisaillement pour caractériser la résistance du sol au cisaillement (module 2).

Test de la houe: il s'agit également d'un outil classique: le piochard. La profondeur de pénétration de la lame, la hauteur de l'extrémité du manche (houe enfoncée) et la position du corps nécessaire pour cisailier le sol à l'aide de la houe sont les valeurs initiales pour déterminer la cohésion

du sol c comme paramètre supplémentaire lié à la résistance au cisaillement (module 2).

Ces quatre tests au champ bien que simples restent importants. Ce n'est qu'après un relevé du sol précédant l'engagement des machines qu'il est possible d'évaluer sa vulnérabilité de manière fiable. Des indications détaillées figurent dans le guide (8). S'il s'agit de comparer différentes constellations de charge pour un sol donné arbitraire, ces tests ne sont plus indispensables.

Simulations et conclusions tirées d'exemples

Deux exemples sont ici présentés, l'un tiré du premier module (fig. 5), l'autre du second (fig. 6). Les paramètres machine-sol de saisie apparaissent sur fond vert et les résultats du logiciel TASC sur fond jaune. Dans le premier module (variantes 1 à 4, fig. 5) on se demande si une moissonneuse-batteuse de taille moyenne peut être utilisée sur un limon sableux humide sans porter préjudice au sol. Les simulations indiquent pour un sol mi-dur (résistance à la pénétration du tournevis dans la couche supérieure du sol 7 kgf), que le sol est démesurément sollicité entre 0 et 28 cm (fig. 5). Dans cette zone, les contraintes dépassent la valeur indicative (1,2 bar). Un risque de compactage sévère est signalé car la profondeur à risque de 28 cm est supérieure à la profondeur critique fixée, elle à 25 cm. Pour éliminer les risques de compactage sévère, le remplissage de la trémie doit être réduit de 48 %. Lorsque le sol est classé dans la catégorie «tendre»

(résistance à la pénétration du tournevis dans la couche supérieure du sol 4 kgf), il y a risque que le sol soit compacté sévèrement jusqu'à 35 cm. Il n'y a que sur les sols durs (résistance à la pénétration uniquement à partir de 9,5 kgf)

qu'une trémie pleine n'occasionne aucun risque de compactage sévère. Dans le second module (variantes 1 et 2, fig. 6), on assiste au travail du sol d'un tracteur de 65 kW sur un sol riche en silt. Les questions soulevées :

Propagation des contraintes dans le sol induites par les charges à la roue

Description: **Moissonneuse-batteuse (132 kW) - vulnérabilité du sous-sol**

Exploitation - humidité du sol: Agriculture - sol humide - 0.8

Texture du sol à la profondeur maximale d'amalgame: Lm - silt, argile riche en lim.

Profondeur critique [cm]: 35

Angle [°]:

Silt [°]:

Variantes	Type de pneu chenille	Structure pneu	Longueur du pneu chenille [cm]	Diamètre pneu Longueur chenille [cm]	Charge à la roue / chenille [kg]	Pression de gonflage [bar]	Consistance du sol en surface [kgf]	Surface contact [cm²]	Pression contact moyenne [bar]	Risque de compactage sévère**	Risque de compactage sév. jusqu'à 35 cm
Supprimer toutes les données											
Variant 1	AGRICULTURE / Pneumatiques moteurs										
000/00032 - Trémie pleine	m	e	77	102	7630	1.5	moyen	6888	1.27	oui	28
Variant 2	AGRICULTURE / Pneumatiques moteurs										
000/00032 - Trémie 50 % pleine	m	e	77	102	6630	1.5	moyen	6487	1.23	non	26
Variant 3	AGRICULTURE / Pneumatiques moteurs										
000/00032 - Trémie pleine	m	e	77	102	7630	1.5	lourd	6888	1.27	oui	30
Variant 4	AGRICULTURE / Pneumatiques moteurs										
000/00032 - Trémie pleine	m	e	77	102	7630	1.5	dur	6839	1.40	non	13

* 1 bar = 0.1 MPa = 10 N/cm² = 100 kgf/cm² = 0.1 MPa = 100 kgf/cm²

** Selon la profondeur maximale d'amalgame

Information

Fig. 5: Risques de compactage sévère dans le profil du sol avec une moissonneuse-batteuse. Les paramètres de saisie apparaissent sur fond vert, les résultats sur fond jaune.

Traction, patinage et énergie

Variant 1: **Motoculteur H488 DT - roues jumelées**

Texture du sol: Lm - silt

Consistance du sol en surface: moyen

Test à la fourche: Hauteur manivelle [cm]: 70

Profondeur fourche [cm]: 6.5

Tracteur puissance [kW]: 65

Vitesse [km/h]: 4.5

Traction: 4.00

Empolement: 2.14

Hauteur point d'attelage [cm]: 14

Dimensions:

	Longueur de la roue [cm]	Diamètre pneumatique [cm]	Diamètre de la jante [cm]	Circonférence de roulement [cm]	Charge à la roue [kg]	Pression de gonflage [bar]	Hauteur des ressorts [cm]	Profondeur de l'ombrière [cm]
Axe avant								
Axe avant (sans)	100.0	120.0	61.0	375.0	1000	0.8	6.5	2.8
Axe avant (avec)								
Axe arrière								
Axe arrière (sans)	100.0	120.0	61.0	375.0	1000	0.8	6.5	2.8
Axe arrière (avec)								

Travail requis: Liste de travail sol*

Longueur de machine [m] rang: 3.2

Nombre d'agréments [%]:

Profondeur de travail [cm]: 0.80

Requis en force de traction - Énergie

Patinage [%]	Traction [kN]	Transfert [kN]	Puissance [kW]	Consommation [l/h]	Cote, apt. [kg, 1000W]
1.8	36.87	40.0	66.8	18.1	107

Variant 2: **Motoculteur H488 DT - roues jumelées**

Texture du sol: Lm - silt

Consistance du sol en surface: moyen

Test à la fourche: Hauteur manivelle [cm]: 70

Profondeur fourche [cm]: 6.5

Tracteur puissance [kW]: 65

Vitesse [km/h]: 4.5

Traction: 4.00

Empolement: 2.14

Hauteur point d'attelage [cm]: 14

Dimensions:

	Longueur de la roue [cm]	Diamètre pneumatique [cm]	Diamètre de la jante [cm]	Circonférence de roulement [cm]	Charge à la roue [kg]	Pression de gonflage [bar]	Hauteur des ressorts [cm]	Profondeur de l'ombrière [cm]
Axe avant								
Axe avant (sans)	100.0	120.0	61.0	375.0	1100	0.8	6.5	2.8
Axe avant (avec)								
Axe arrière								
Axe arrière (sans)	100.0	120.0	61.0	375.0	1100	0.8	6.5	2.8
Axe arrière (avec)								

Travail requis: Liste de travail sol*

Longueur de machine [m] rang: 3.2

Nombre d'agréments [%]:

Profondeur de travail [cm]: 0.80

Requis en force de traction - Énergie

Patinage [%]	Traction [kN]	Transfert [kN]	Puissance [kW]	Consommation [l/h]	Cote, apt. [kg, 1000W]
0	36.87	400	66.8	18.1	108

* 1 kg = 0.01 kN, 1 bar = 100 kgf/cm²

Information

Fig. 6: Vulnérabilité du sol en surface suite au cisaillement, force de traction nécessaire avec indications correspondantes sur le patinage, le transfert de charge à la roue et la consommation d'énergie avec et sans roues jumelées.

1. A quel taux de patinage, avec quelle force de traction, le sol est-il cisailé en surface? – 2. Quelle est l'efficacité des roues jumelées par rapport aux roues non jumelées? – 3. Quelle est la consommation de carburant avec une sous-soleuse (chisel, cinq socs à dents rigides) travaillant le sol jusqu'à 40 cm? – 4. Quel rôle joue la vitesse dans la consommation d'énergie?

Les simulations (fig. 6) indiquent que les cisaillements du sol en surface se manifestent à partir d'un patinage de 11 % avec des roues non jumelées et de 10 % avec des roues jumelées. Cela correspond à une force de traction de 33 kN et respectivement de 39 kN. Avec cet outil lancé à 4,5 km/h, la force de traction nécessaire se monte à 36,5 kN. Le sol ne peut donc être travaillé qu'avec des roues jumelées afin d'éviter un cisaillement de surface. L'efficacité est manifestement plus élevée avec des roues jumelées, la surface totale de l'empreinte est plus grande, accroissant de ce fait la résistance au cisaillement. Cet équipement permet une force de traction supérieure avant rupture. Sans roue jumelée, le taux de patinage s'élève à 19 % pour générer la force de traction nécessaire de 36,5 kN. Avec les roues jumelées, le taux de patinage chute à 8 % (fig. 6).

Le moteur de 65 kW sans roue jumelée a une consommation de diesel de plus de 19,1 l/h avec 19 % de patinage (64,0 kW). Avec des roues jumelées et un patinage de 8 %, le moteur de 65 kW est moins sollicité (60,5 kW) entraînant une consommation horaire de diesel plus faible, soit 18,1 l/h. Pour une puissance de traction similaire (45,7 kW), les roues jumelées permettent une économie horaire de 1,0 l de carburant, soit une économie spécifique relative à la puissance de traction de 21 g/kWh. Un pourcentage trop élevé de patinage implique des risques plus importants pour le sol en surface et une perte de carburant. Que donnent les calculs si la vitesse est inférieure, soit 2 km/h au lieu de 4,5 km/h? Avec le même outil attelé, la force de traction nécessaire diminue à 32,4 kN. Cette force de traction générée occasionne un taux de patinage de 10 % sans roues jumelées et de 5 % avec roues jumelées. Le sol ne subit aucun cisaillement en surface. La puissance du moteur n'est plus que de 22,7 kW sans roues jumelées et de 22,4 kW avec roues jumelées. La consommation horaire de diesel diminue suite à la réduction de la vitesse et passe à 6,8 l/h resp. 6,7 l/h. Toutefois, ce que l'on gagne avec un patinage moindre grâce aux roues jumelées est perdu avec une résistance du sol plus élevée. La consommation horaire de carburant, la vitesse et la largeur de travail permettent en outre de calculer facilement la consommation de carburant par unité de surface.

Le fait de tirer entraîne par ailleurs un transfert de charge de l'essieu avant à l'essieu arrière. Le modèle de force de traction (module 2) permet donc de calculer la charge dynamique, paramètre important pour vérifier les risques de compactage du sous-sol (module 1).

Concordance entre les valeurs calculées et les valeurs mesurées

Un modèle de calcul ne peut donner qu'une vision approximative de la réalité. En dépit de la grande diversité des sols naturels, la concordance entre les simulations réalisées

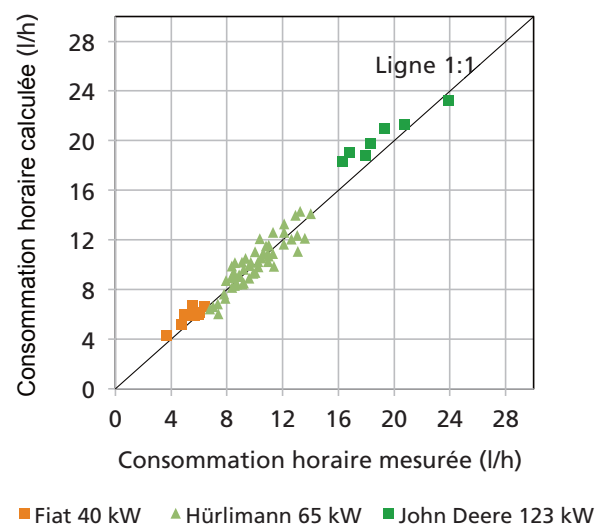


Fig. 7. Consommation horaire de carburant – valeurs calculées par rapport aux valeurs mesurées.

avec TASC et les mesures au champ s'avère parfois très élevée. Dans le premier module «Contrainte de charge et compactage sévère», concernant le message «compactage sévère oui/non», on a observé une concordance de 93 % (25 cm et plus bas) par rapport à des mesures effectuées dans le sous-sol. A la surface du sol, la concordance est comprise entre 54 et 62 %. Sur un total de 207 cas étudiés, le message «aucun compactage sévère» n'est jamais apparu, lorsque les mesures montraient au contraire que le sol avait été démesurément compacté. De ce fait, les calculs TASC aboutissent à des résultats prudents, sécurisants.

La force de traction a été prélevée avec quatre tracteurs (dont un tracteur de référence) sur quatre sites différents avec diverses configurations de charges et de trains de roulement (9). Si l'on compare les moyennes des valeurs de force de traction mesurées et les valeurs calculées pour le tracteur de référence 65 kW, l'écart-type est de 10 % ou plus bas dans 68 % des cas. Pour les trois autres tracteurs (40 kW, 110 kW, 130 kW), l'écart-type est même de 10 % voire inférieur dans 90 % des cas (9).

Des divergences peuvent se produire entre les valeurs mesurées et les valeurs calculées notamment lorsque les charges à la roue sont importantes ou lorsque le tracteur

Spécifications	
Version	TASC V3.0. 2013
Système d'exploitation	A partir de Win Office 2007/ A partir de Mac OSX 10.8.2
Software	A partir d'Office Excel 2007/ A partir d'Excel 2011 Mac
Langue	Allemand, français, anglais
Mémoire nécessaire	Excel 14,5 MB – Manuel pdf 1,8 MB
Edition	Agroscope, 8356 Ettenhausen, Suisse
Commande	www.agrartechnik-agroscope.ch ou doku@art.admin.ch / ++41 52 368 31 31
Infos	etienne.diserens@agroscope.admin.ch

est équipé de roues jumelées (8). Les valeurs calculées pour la consommation de carburant à partir des valeurs de référence de la consommation spécifique de diesel du moteur (8) concordent largement avec les valeurs obtenues dans les mesures au champ réalisées de manière indépendante (fig. 7).

Bibliographie

- (1) Heinonen M., Alakukku L., Aura E., 2002. Effects of Reduced Tillage and Light Tractor Traffic on the Growth and Yield of Oats (*Avena sativa*). Sustainable Land Management Environmental Protection. A Soil Physical Approach. Advanced in GeoEcology 35, 367–378.
- (2) Fringeli G., 2005. Bodenverdichtung durch Forstmaschinen. AK Forstliches Ingenieurwesen. Communication orale – Exposé du 13.01.2005.
- (3) ASAE, 2001. Agricultural Machinery Management Data. American Society of Agricultural and Biological Engineers. ASAE D497.7 MAR2011, 8 p.
- (4) Lang H.-J., Huder J., 1982. Bodenmechanik und Grundbau. Springer-Verlag, Berlin. 226 p.
- (5) Buchter B., Häusler S., Schulin R., Weisskopf P., Tobias S., 2004. Definition und Erfassung von Bodenschadverdichtungen. BGS Dokument 13. 56 p.
- (6) Lebert M., 1989. Beurteilung und Vorhersage der mechanischen Belastbarkeit von Ackerböden. Band 12. Bayreuther Bodenkundliche Berichte. 131 p.
- (7) Osetinsky A., Shmulevich I., 2004. Traction Performance Simulation of a Pushed/Pulled Driven Wheel. Transactions of the ASAE, American Society of Agricultural Engineers, 47(4), 981–994.
- (8) Diserens E., Battiato A., 2013. Guide de l'application Excel TASC V3.0.xlsm. 125 p.
- (9) Battiato A., 2012. Tyres, drawbar pull and trafficability: new ways to assess soil vulnerability. Final report. June 2012. Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Ettenhausen. 82 p.

