

Gestion de l'état structural des sols

Effet des engins agricoles sur le tassement : Quelles conséquences agronomiques et quelles solutions ?



Vincent Tomis - Greenotec 27/02/2014

Introduction - contexte :

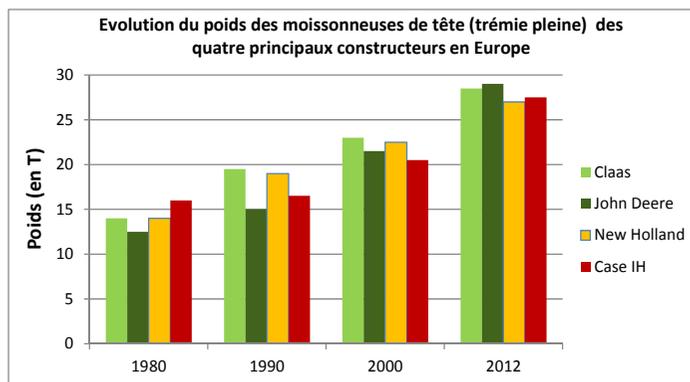
Le contexte des exploitations agricoles a beaucoup évolué ces dernières années :

- Agrandissement des exploitations agricoles
- Réduction du temps de travail / ha :
 - Augmentation de la puissance et du gabarit du matériel : chantiers de plus en plus performants, mais aussi de plus en plus lourds
 - Externalisation des travaux (prestataires) : marges de manœuvre faibles pour le choix des conditions d'intervention

→ Quelles conséquences au niveau agronomique de cette évolution des chantiers ?

Contexte :

Augmentation du poids des engins agricoles :



Source : d'après données sur Konedata.net, V. Tomis

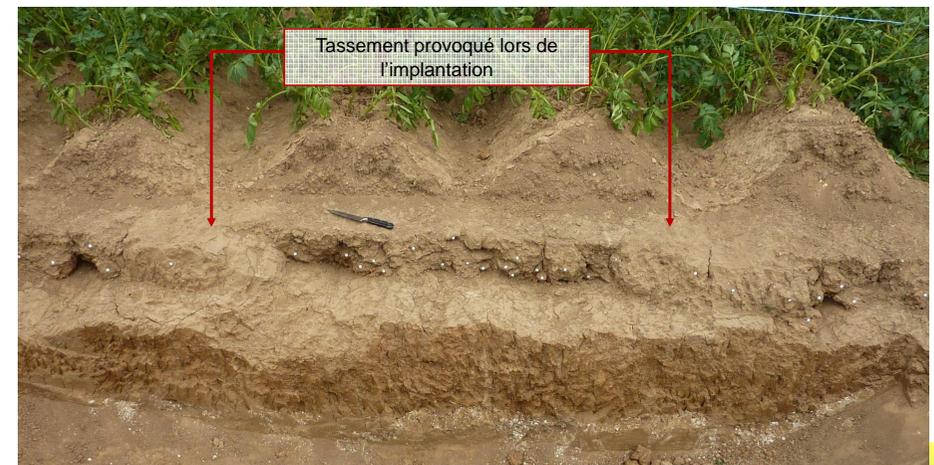
Certaines intégrales à betteraves font plus de 60 T à charge

→ Quid du tassement du sol ?

Contexte

Tassements provoqués lors des récoltes, mais aussi lors des implantations

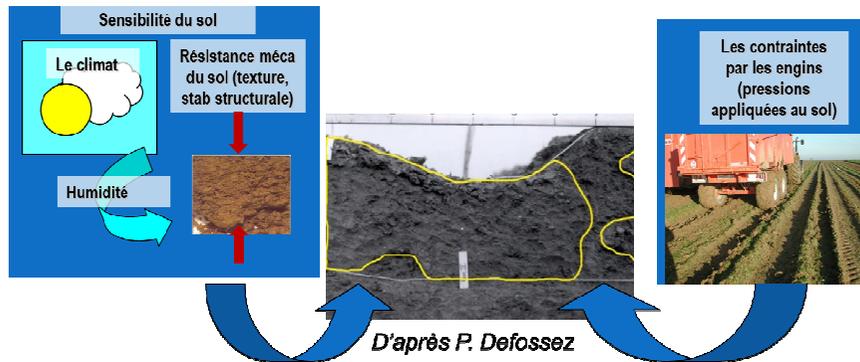
Plantation de pommes de terre en 1 passage :



Source : V. Tomis, Agro-Transfert

Tassement par les engins :

Facteurs qui déterminent le tassement :

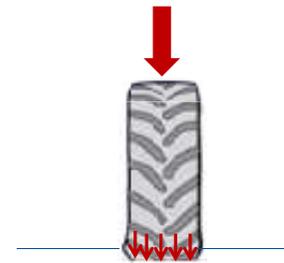


$$\text{Contrainte au sol (pression appliquée au sol)} = \frac{\text{Charge à la roue}}{\text{Surface de contact sol-pneu}}$$

Tassement par les engins :

Facteurs qui déterminent le tassement :

$$\text{Contrainte au sol (pression appliquée au sol)} = \frac{\text{Charge à la roue}}{\text{Surface de contact sol-pneu}}$$



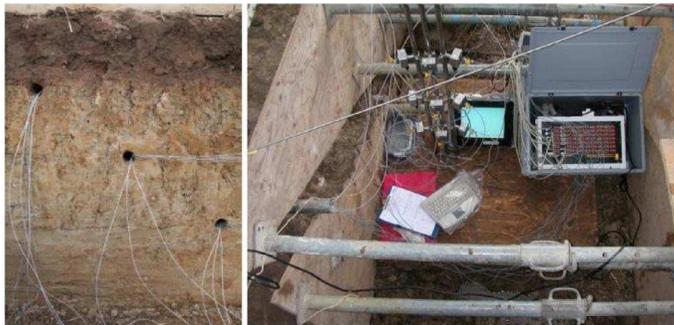
⚠
Pression appliquée au sol
≠
Pression de gonflage du pneu
→ Résultante de l'équipement du matériel

Le pneumatique est l'interface permettant une répartition optimale de la pression au sol

Tassement par les engins :

Mesures de la propagation des pression dans le sol et le sous-sol par des capteurs :

Lamandé et al. Soil and Tillage Research, 2011

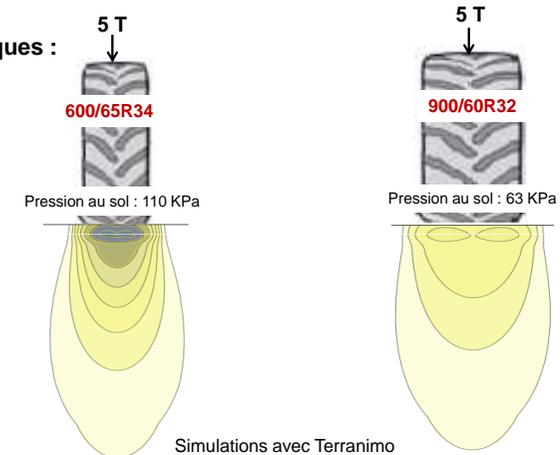


→ Permet de mieux comprendre les facteurs qui déterminent le tassement à différentes profondeur

Tassement par les engins :

Facteurs qui déterminent le tassement :

→ Effet des pneumatiques :



→ Même charge à la roue : le pneumatique large limite la pression au sol

Importance du pneumatique vis-à-vis du tassement en surface
Cependant, peu d'effet du pneumatique sur le tassement en profondeur

Tassement par les engins :

Facteurs qui déterminent le tassement :

→ Effet de la charge à l'essieu

5 T

600/65R34
Pression au sol : 110 KPa

3 T

600/65R34
Pression au sol : 74 KPa

Contrainte [kPa]

Simulations avec Terranimo

→ Mêmes pneumatiques : la charge élevée augmente le tassement en surface et en profondeur

9

Tassement par les engins :

Facteurs qui déterminent le tassement :

→ Effet de la charge à l'essieu

5 T

600/65R34
Pression au sol : 110 KPa

10 T

900/60R32
Pression au sol : 110 KPa

Contrainte [kPa]

Simulations avec Terranimo

→ Même pression de surface : la charge élevée est compensée par le pneu large, mais contrainte plus importante en profondeur avec la charge lourde

Importance du poids vis-à-vis du tassement en profondeur

10

Tassement par les engins :

Facteurs qui déterminent le tassement :

→ Effet du nombre de passage

Etude de l'effet charge/ essieu et répétition des passages sur le tassement
Essais derrière intégrale à betterave à 3 essieux :

Essais Agro-Transfert et ITB

Nombre de passage de roues : 1 2 3

11

Tassement par les engins :

Etude de l'effet charge/ essieu et répétition des passages sur le tassement
Exemple de l'intégrale à betterave :

Valeurs pénétrométriques (UA)

Profondeur (cm)

Source : essais 2012 Agro-Transfert et ITB

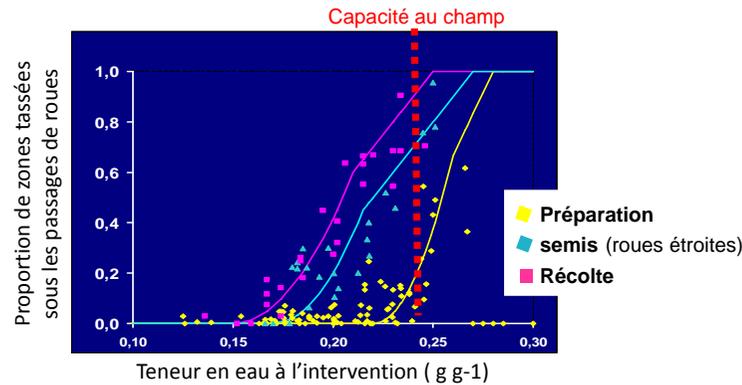
→ **Contrainte maximale déterminante pour le tassement** : préférer plusieurs passages avec de faibles charges plutôt qu'un seul passage avec des charges lourdes

Tassement par les engins :

Facteurs qui déterminent le tassement :

→ Humidité du sol :

Effet des contraintes appliquées (opérations de récolte) et de l'humidité à l'intervention sur l'intensité du compactage :

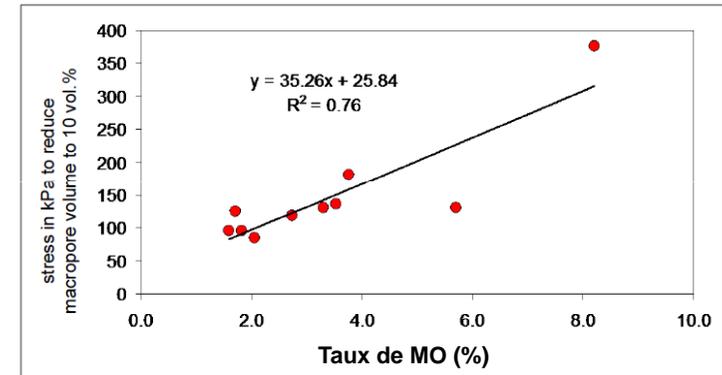


Les ornières sont surtout créées lorsque les sols sont à saturation, mais les tassements interviennent dans une gamme d'humidité plus large autour de HCC

Tassement par les engins :

Facteurs qui déterminent le tassement :

→ Stabilité structurale via le taux de MO :



Source : Soane et al., 1990

- Effet sur la stabilité des agrégats et la résistance au tassement au-delà de 3 % de MO
- Peu d'effet du taux de MO dans les gammes de variation habituelle, entre 1,5 et 2,5 % de MO

Tassement par les engins :

Confusion entre ornière et tassement :



- Sol à saturation
- Pneumatiques étroits
- Ornières



- Pneumatiques larges,
- Marche en crabe
- Pas d'ornière

→ Dans les 2 situations, présence de tassement

Derrière un chantier automotrice + benne : moins beau visuellement avec les ornières (fluage) et plus difficile à reprendre (nivelage), mais tassement plus faible qu'une intégrale en profondeur

La structure du sol et son évolution :



Un sol bien structuré :
50 % de porosité

Tassement par les engins,
Reprise en masse, battance



Diminution de la porosité

Augmentation de la porosité



Régénération par le travail du sol et les facteurs naturels (climat, biologie du sol)



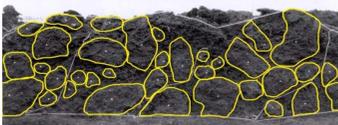
Régénération des sols tassés :

Sous l'effet du travail du sol :

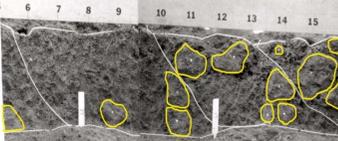
Après une récolte de betteraves le 10/11/1998



... suivi d'un labour avant un semis de blé le 11/1998



18 mois plus tard au semis du maïs le 04/04/2000



→ Régénération du tassement rapide, en 18 mois par le travail du sol, combiné à l'effet du climat et de la biologie

INRA Boizard et al., 2002

→ En non labour, des zones tassées plus persistantes
→ Des tassements profonds encore observés 30 ans après leur apparition (Alakukku, 1996)

Régénération des sols tassés :

Agents naturels : Effet du climat

Effet gel – dégel :
éclatement



Crédit photo : R. Rivest

Effet humectation – dessiccation :
fissuration



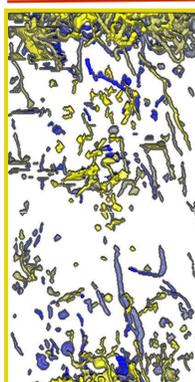
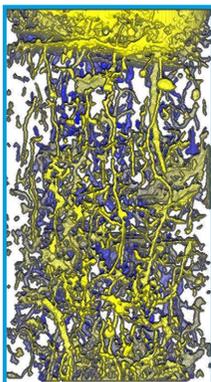
- Fissuration si le sol contient suffisamment d'argile
- Effet en surface : action lente en profondeur (faible variations des conditions climatiques en profondeur)

Régénération des sols tassés :

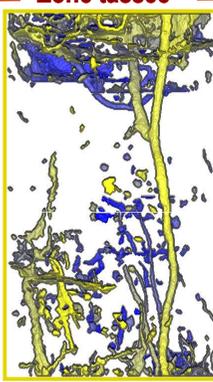
Effet des vers de terre :

Zone témoin

Zone tassée



J0



8 mois plus tard...



2 ans après...

→ L'activité des vers de terre est réduite sous l'effet des tassements
→ Reconstitution du réseau de macropores en 2 – 3 ans

Régénération des sols tassés :

Effet des racines

Effet perforation :



Crédit photo : S. Carruthers

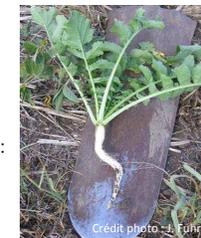
Effet fragmentation :



Effet fissuration :



Les racines ne sont pas des décompacteurs :



Crédit photo : J. Ehrler

→ Effet globalement positif, mais actuellement, peu de références pour savoir dans quelle mesure les racines permettent d'améliorer l'état structural du sol

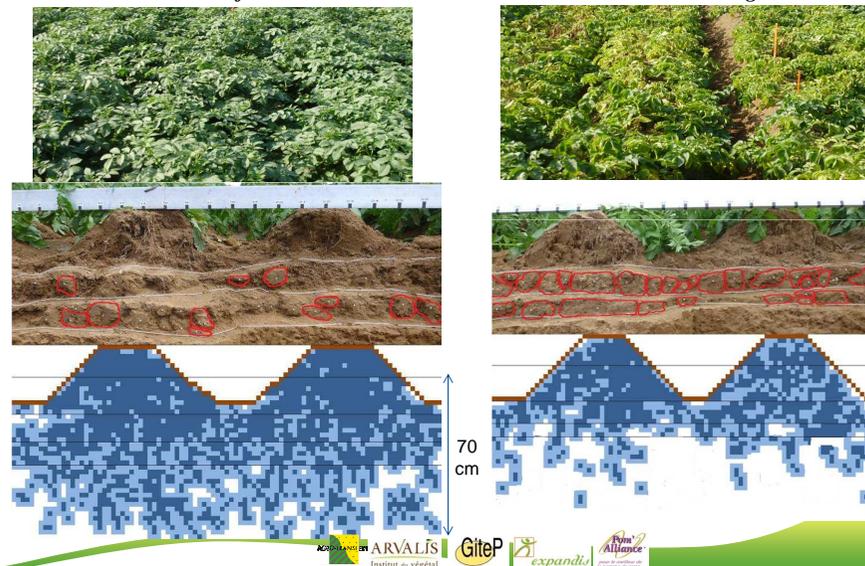
Quelles conséquences des tassements au niveau agronomique ?

Evaluation des conséquences des tassements

Les tassements profonds limitent l'enracinement :

état structural « favorable »

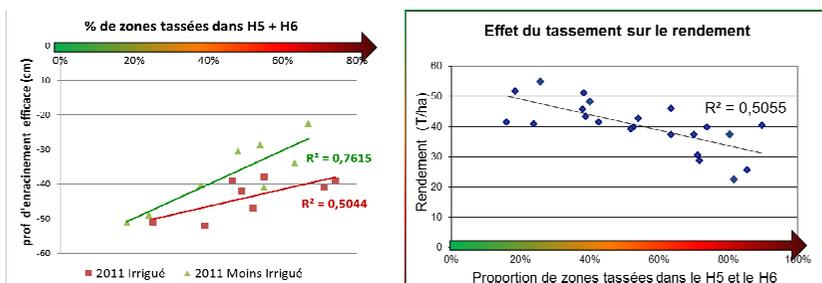
état structural dégradé



Evaluation des conséquences des tassements

Principaux résultats des essais :

Impact du tassement sur l'enracinement et la productivité des pommes de terre :



Variétés Bintje et Lady Claire irrigué et moins irrigué

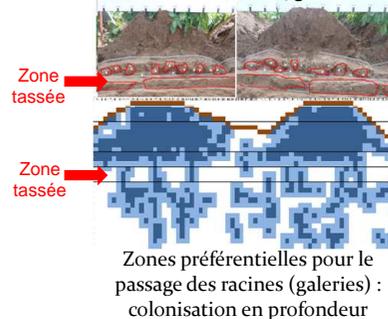
Essais Sol-D'Phy et EAUPTION PLUS, Agro-Transfert

- La profondeur d'enracinement diminue sous les zones tassées, avec effets renforcés en situations plus sèches
- Lien tassement /rendement pas systématique : un impact du climat et de l'irrigation ; des différences significatives de rendement en situations sèches, qui peuvent se retrouver même en situation irriguée

Evaluation des conséquences des tassements

Effet de la fonctionnalité de la porosité sur l'enracinement en profondeur :

Etat structural dégradé mais nombreuses galeries :



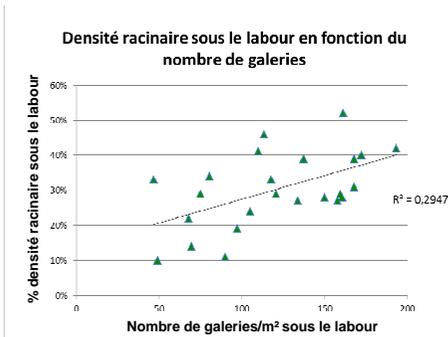
Porosité orientée (fissures, galeries de vers de terre) :



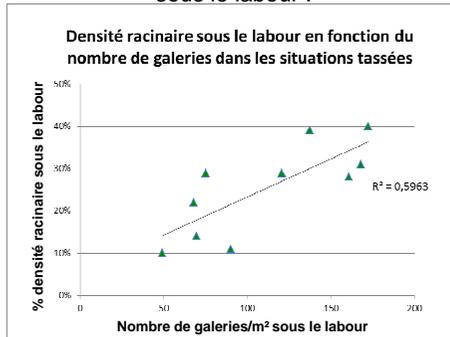
→ Passage des racines dans les galeries pour coloniser les horizons profonds

Etude des relations entre nombre de galeries sous le labour et passage des racines en profondeur sur un réseau de parcelles :

Toutes les parcelles du réseau :



Sélection des parcelles tassées sous le labour :



- En tendance, la densité racinaire en profondeur augmente avec le nombre de galeries, en particulier dans les zones tassées
- Importance de la porosité verticale (galeries) pour permettre l'enracinement en profondeur

Source : Essais Sol-DPhy, Agro-transfert

→ Le tassement limite l'enracinement et la productivité pour les cultures sensibles

Quelles solutions pour limiter le tassement ?

→ Prévention des tassements : conditions d'intervention, pneumatiques, réduction des charges, organisation des chantiers...

Quelles solutions pour limiter le tassement ?

Prévention des tassements :

Réduction du tassement de surface
→ Pneumatiques

Réduction du tassement de surface
→ Pneumatiques

Préférer les pneumatiques à carcasse radiale :

Pneu diagonal :

560/60 - 22,5

→ Pneu rond, empreinte au sol réduite, pic de pression au centre du pneu

Pneu radial :

560/60 R 22,5

→ Meilleure répartition de la charge au sol

Simulations avec Terranimo

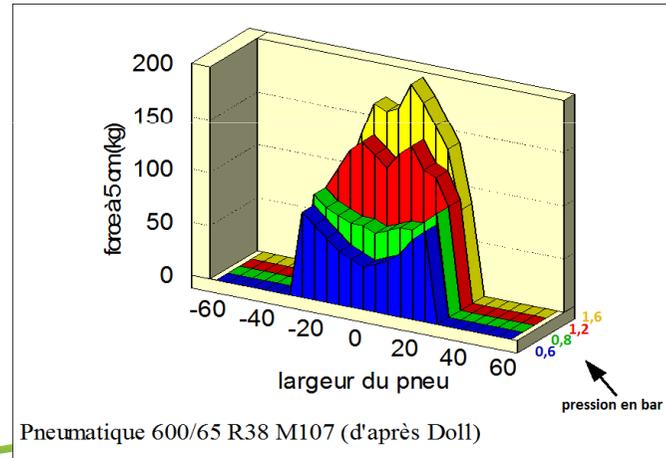
Encore beaucoup de bennes avec des pneus diagonal

→ Des progrès à réaliser sur les pneumatiques des bennes pour limiter le tassement de surface

Réduction du tassement de surface → Pneumatiques

Adapter la pression de gonflage

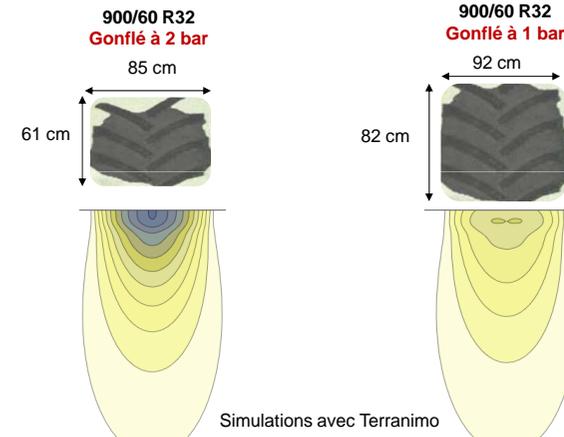
- Pour augmenter la surface de contact sol-pneu
- Pour améliorer la répartition des pressions au sol



Réduction du tassement de surface → Pneumatiques

Adapter la pression de gonflage

- Pour augmenter la surface de contact sol-pneu en longueur
- Pour améliorer la répartition des pressions au sol

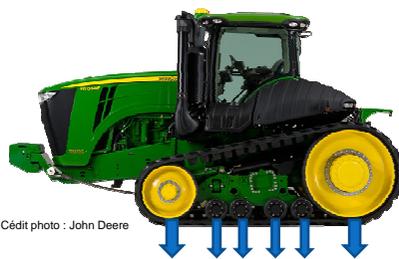


- Meilleure répartition de la pression au sol
- Réduction du tassement en surface

Utilisation de pneumatiques à **carcasse plus souple** pour favoriser leur **écrasement** : technologie **IF et VF** permettent d'augmenter de **20 à 30 % la surface d'empreinte**

Réduction du tassement de surface → Pneumatiques

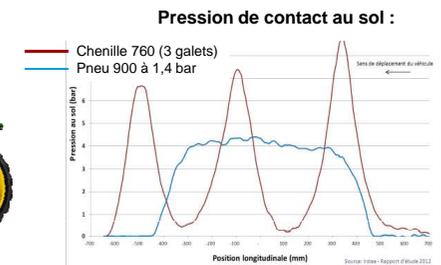
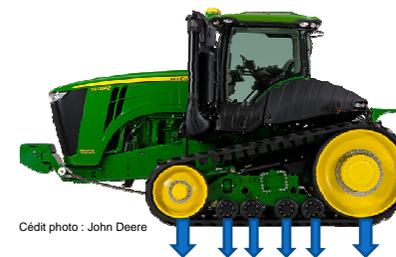
Utilisation de train de chenilles :



Effet globalement positif des chenilles pour réduire le tassement, via l'augmentation de la surface d'empreinte au sol, mais répartition non homogène de la pression au sol

Réduction du tassement de surface → Pneumatiques

Pneumatiques vs chenilles :



- Pic de pression au niveau des galets
- Effet globalement positif des chenilles sur le tassement, mais très dépendant de l'architecture de la chenille
- Préférer une chenille avec de nombreux galets, pour une meilleure répartition du poids :



Quelles solutions pour limiter le tassement ?

Prévention des tassements :

Réduction du tassement en profondeur
→ Charge à l'essieu

Réduction du tassement en profondeur
→ Charge à l'essieu

Limitation du poids des machines :

- Utilisation de matériel léger : doit être un critère lors de l'achat d'un matériel
- Techniques innovantes pour limiter les charges inutiles au champ

Exemple : Epandage de lisier ou boues de STEP sans tonne pour supprimer le passage de la tonne dans le champ



Crédit photo : LoirAgri

Réduction du tassement en profondeur
→ Charge à l'essieu

- Limitation des charges
- Répartition / décomposition des charges pour diminuer la contrainte max
 - Contrainte maximale déterminante pour le tassement : préférer plusieurs passages avec de faibles charges plutôt qu'un seul passage avec des charges lourdes
 - Pour un même poids total, préférer un nombre important d'essieux pour limiter le poids /essieu :

Trois transbordeurs de 30 m³ :



Crédit photo : Terre Net



Crédit photo : PleinChamp



Crédit photo : Farm forum

Réduction du tassement en profondeur
→ Charge à l'essieu

- Limitation des charges
- Réflexion sur la répartition / décomposition des charges
 - Trémie annexe (avec essieu) sur moissonneuse pour limiter le poids sur l'essieu avant et répartir le poids du grain sur un autre essieu (équilibre des charges) :



Pression de contact au sol : 120 KPa 90 KPa

Trémie pleine



80 KPa 75 KPa 65 KPa

Trémie annexe pleine

Crédit photos : B. Dillon

→ Solution par rapport au poids des moissonneuses qui augmente constamment ?

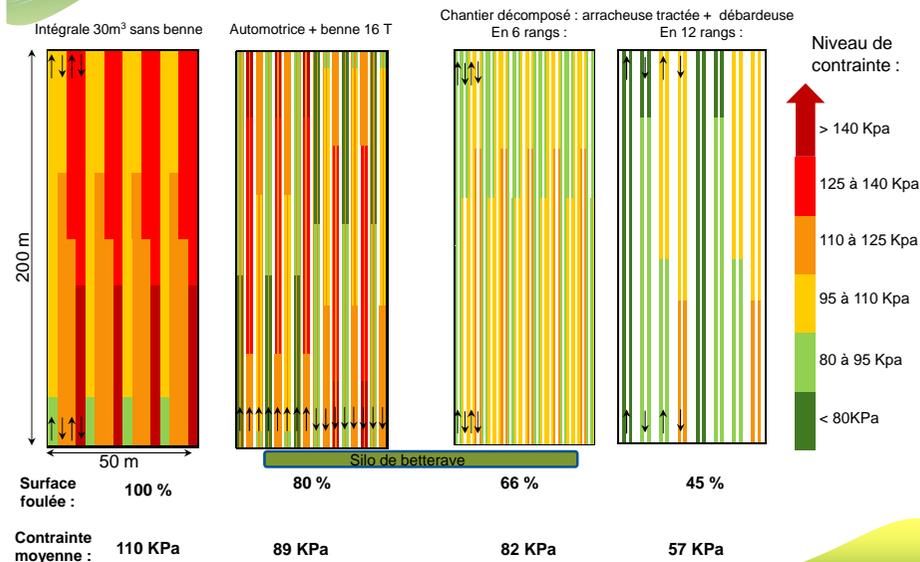
Réduction du tassement en profondeur → Charge à l'essieu

Comparaison des contraintes au sol pour différents chantiers d'arrachage de betterave :

Intégrale : Automotrice + benne 16 T Chantiers décomposés : arracheuse tractée + débardeuse



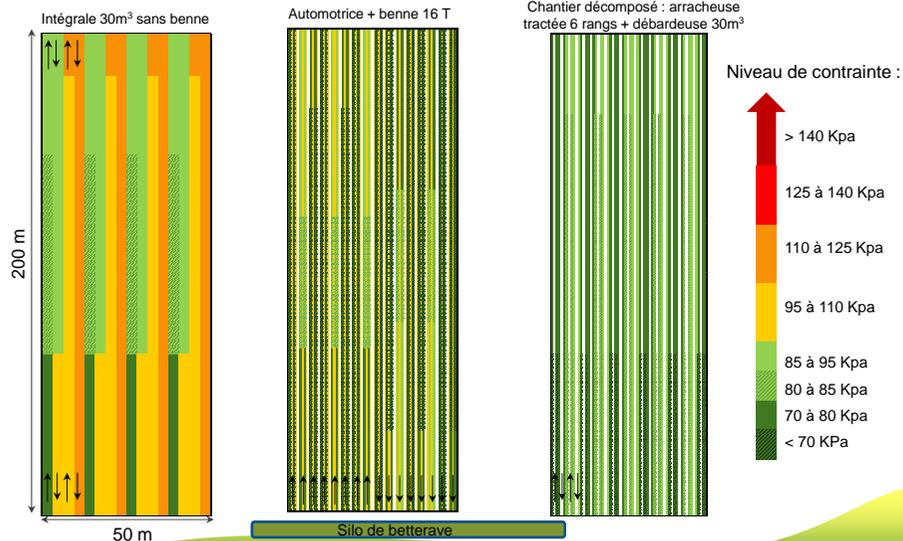
Cartographie des contraintes maximales au sol pour 4 types de chantiers d'arrachage betteraves



Source : Projet Sol-DPhy, Agro-transfert

Cartographie des contraintes maximales au sol pour 3 types de chantiers d'arrachage betteraves

Estimation des pressions à 50 cm de profondeur, avec le modèle Compoil (O'Sullivan et al., 1999)



Source : Projet Sol-DPhy, Agro-transfert

Quelles solutions pour limiter le tassement ?

Prévention des tassements :

Réduction de la surface affectée par les tassements

Réduction de la surface affectée par les tassements

Adoption du CTF (Controlled Traffic Farming) :

- Utilisation du GPS pour localiser les passages de roues au même endroit
- Adaptation de la voie des tracteurs et de la largeur des outils

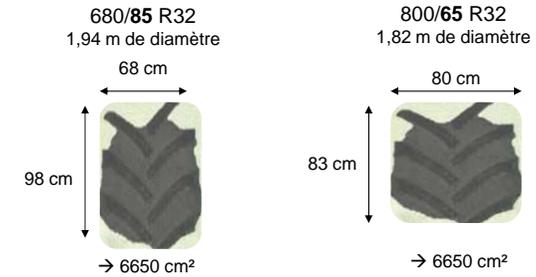


Crédit photos : H. Boizard

Réduction de la surface affectée par les tassements

→ Choix des pneumatiques

A surface de contact identique, préférer un pneu qui permet une empreinte en longueur, pour limiter la surface d'empreinte du tassement :



- Surface de contact identique mais 18 % de surface impactée en plus avec le pneu de 800 : intérêt des pneus de grand diamètre avec hauteur de flanc importante
- Intérêt aussi pour limiter la largeur et rester dans le gabarit routier (moissonneuses)

L'observation du sol reste indispensable

- Observer l'état structural en profondeur après chaque chantier lourd pour se sensibiliser aux risques de tassements
- Accompagner le changement des pratiques de travail du sol



Méthodes d'observation simplifiées de l'état structural

Exemple de méthode :

« La méthode bêche », adaptée de la méthode Bruce Ball :

Extraction d'un bloc :



Observation de l'état structural sur la bêche :



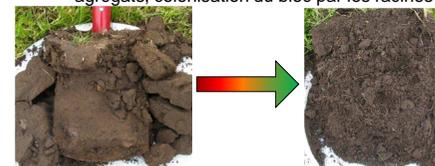
Repérer les différents horizons :



Critères utilisés pour l'évaluation de l'état structural :

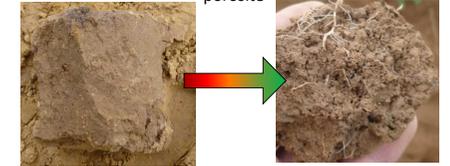
Apparence du bloc sur la bêche :

Mode d'assemblage des mottes, taille des agrégats, colonisation du bloc par les racines



Porosité interne des mottes :

Facilité de rupture des mottes, face de rupture, porosité



Exemples de méthodes :

Le mini-Profil au « télescopique »

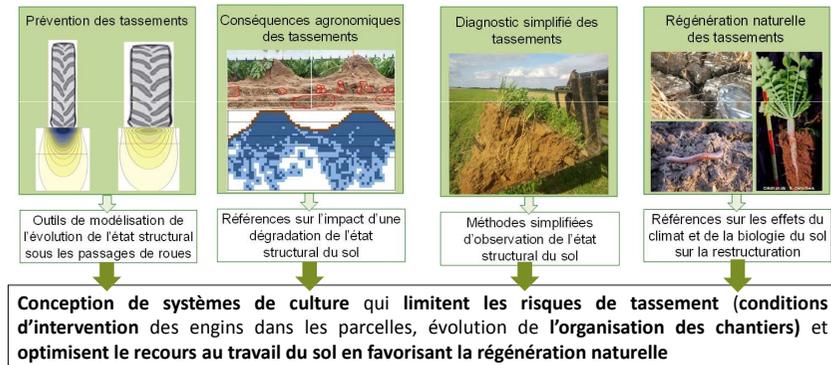
Extraction d'un bloc avec les palettes d'un télescopique :



Possibilité de compter les galeries sur un plan horizontal →

→ Aider les agriculteurs à mieux gérer leurs modalités de travail du sol, de gestion de l'interculture, l'organisation de leurs chantiers, pour préserver l'état structural de leur sol et développer leur fertilité biologique

Des outils et méthodes complémentaires pour l'aide à la décision, développés dans le cadre du projet :



Projet conduit en partenariat avec :



Conclusion :

- Ne pas se fier uniquement aux ornières pour porter un jugement sur l'état structural du sol : utiliser la bêche ou le chargeur frontal pour observer les éventuels tassements, notamment en profondeur
- Il est possible d'éviter les tassements à la préparation des semis en limitant le poids des tracteurs, avec un bon équipement pneumatique et une pression adaptée
- A la récolte, il est difficile de supprimer tout tassement et l'objectif est plutôt : comment les réduire ?
 - Attention à la répétition des tassements en profondeur : limiter le poids par essieu pour réduire ces tassements profonds, qui sont peu réversibles / \ au développement des intégrales à betterave
 - Attention au plan de charge des machines : veiller à ce qu'il ne soit pas trop élevé pour éviter les interventions en conditions humides
- En cas de réduction du travail du sol :
 - Prévenir les tassements
 - Favoriser la régénération biologique (vers de terre)

Merci de votre attention



<http://www.agro-transfert-rt.org>

v.tomis@agro-transfert-rt.org