



Enseignements pour le conseil et aide à la décision préventive



Vincent TOMIS et Claire TURILLON
Agro-Transfert-RT

Partenaires financiers



Partenaires scientifiques et techniques



ENSEIGNEMENTS SUR LES CONSÉQUENCES



Résultats des expés variables selon l'année climatique et le type de tassement



Tassements dans l'horizon labouré préjudiciables principalement en **années humides** (2012, 2016)

→ Asphyxie racinaire

Sur blé, jusqu'à 20 % de rendement en moins en 2016
Sur PdT et maïs, jusqu'à 30 % de rendement en moins en 2016 en présence de tassement dans l'horizon labouré

Les tassements profonds limitent l'enracinement :

État structural favorable



Bonnes conditions de récolte



Mauvaises conditions de récolte

État structural dégradé



Bonne colonisation racinaire en profondeur



Mauvaise colonisation racinaire en profondeur

Tassements profonds sous l'horizon labouré : préjudiciables principalement en **années sèches** (2011, 2017, 2018)

→ Enracinement en profondeur

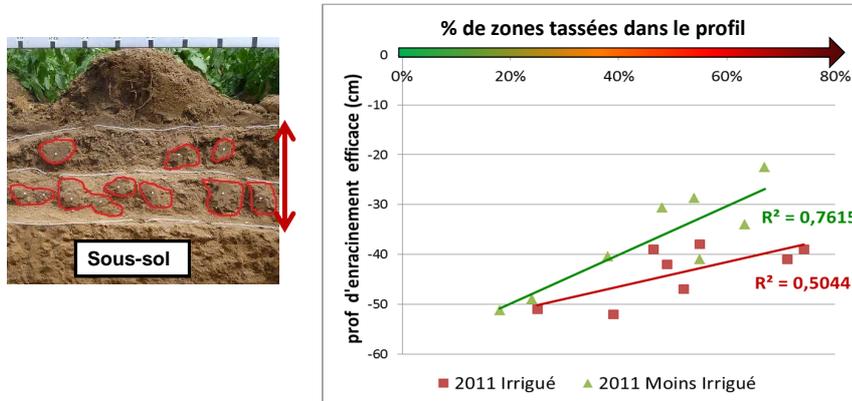
Sur PdT et maïs, jusqu'à 30 % de rendement en moins les années sèches par l'effet du tassement profond

ENSEIGNEMENTS SUR LES CONSÉQUENCES

Effet humidité du sol sur l'enracinement

Réseau de parcelles en PdT en 2011

Impact du tassement sur l'enracinement des PdT :



- La profondeur d'enracinement diminue sous les zones tassées
- Effet de l'humidité sur la réponse au tassement : enracinement plus limité en sol tassé en non irrigué
- ➔ Une zone tassée est plus facilement franchissable par les racines si elle est humide
- ➔ Revoir stratégies d'irrigation

ENSEIGNEMENTS SUR LES CONSÉQUENCES

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

Tassements profonds

Mauvaise exploration racinaire en profondeur

Tassement profond mais de nombreuses galeries de vdt

Voies préférentielles pour le passage des racines (galeries) : colonisation en profondeur

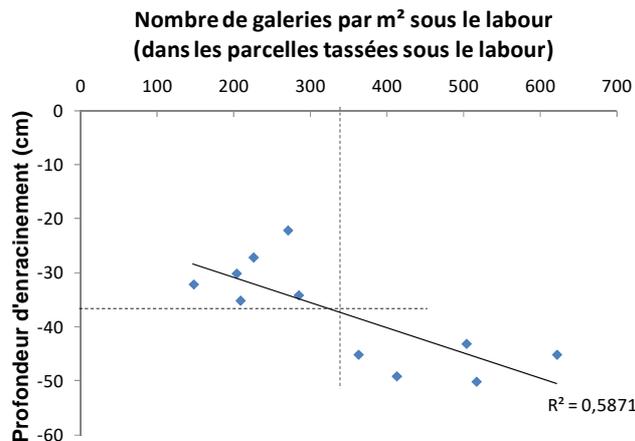
Photos : Agro-Transfert-RT

- ➔ Passage des racines dans les galeries ou fissures pour coloniser les horizons profonds
- ➔ Apport d'éléments de connaissance pour mieux raisonner le travail du sol

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



Photos : Agro-Transfert-RT



- Dans les situations tassées, le nombre de galeries peut expliquer l'exploitation du sous sol par les racines
- Importance de la porosité verticale (galeries) pour permettre l'enracinement en profondeur

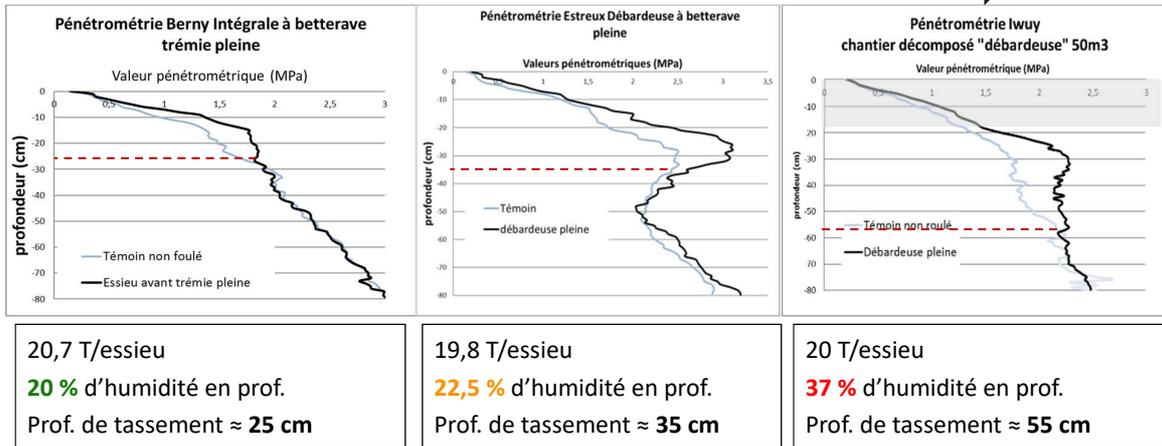
ENSEIGNEMENTS SUR LES FACTEURS
QUI DÉTERMINENT LE RISQUE DE
TASSEMENT

FACTEURS QUI DÉTERMINENT LE TASSEMENT

Effet humidité du sol

Courbes pénétrométriques sur 3 sites avec des charges /essieu identiques et des conditions d'humidité contrastées :

Humidité du sol en profondeur



→ L'augmentation de l'humidité du sol en profondeur accroît la profondeur atteinte par le tassement

FACTEURS QUI DÉTERMINENT LE TASSEMENT

Type de porosité initiale

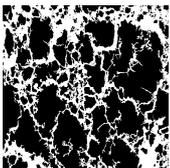
Analyse d'image du sol

Classification morphologique des macropores

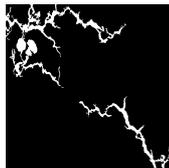


Source : essais CA Bretagne, Agro-Transfert, INRA Rennes

Porosité d'assemblage



Porosité fissurale

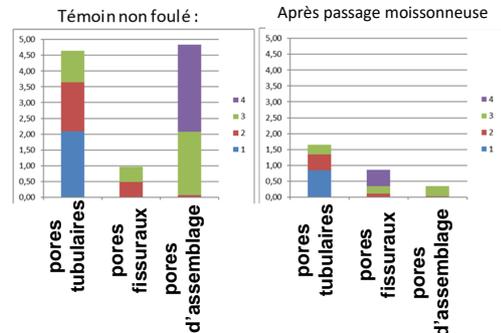


Porosité tubulaire



Passage d'une moissonneuse lors de la récolte du maïs

Classe typologique de pores entre 5 et 15 cm de profondeur :



→ Le tassement a affecté principalement la porosité d'assemblage (issue principalement du travail du sol)

→ Meilleure résistance au tassement de la porosité verticale

FACTEURS QUI DÉTERMINENT LE TASSEMENT

Effet charge par essieu

Sélection des sites d'expérimentation dont l'humidité en profondeur est proche de la capacité au champ (23 % d'humidité) en sol limoneux

Profondeur atteinte par le tassement selon la charge par essieu :

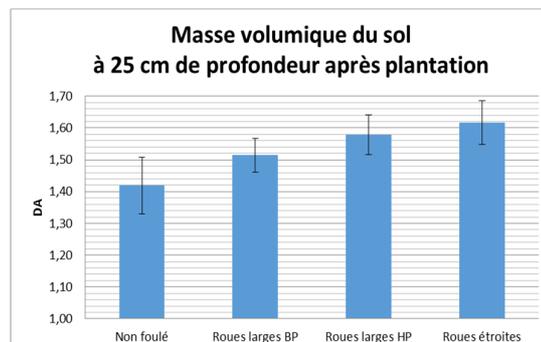
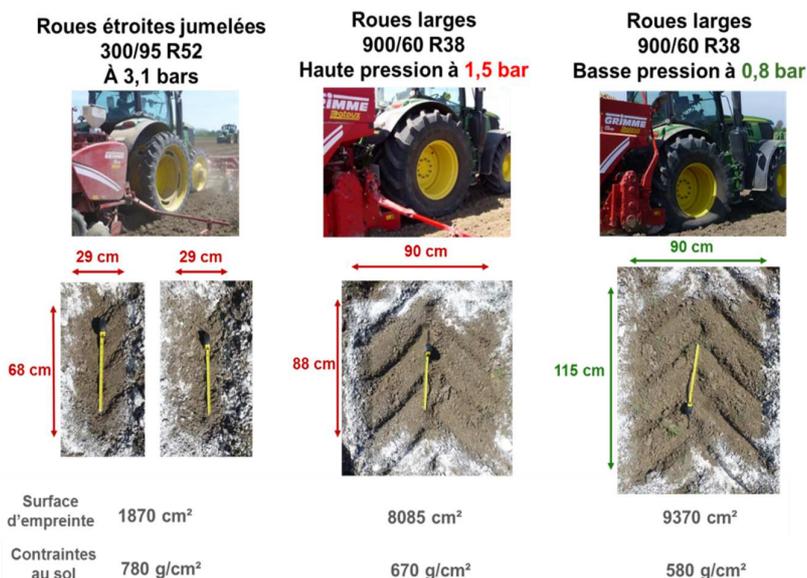
Caractéristiques des chantiers			Profondeur atteinte par le tassement
Modalité	Charge par essieu		
Site 1	Passage de la benne à plein	10 T	≈ 25 cm
Site 2	Passage Intégrale à betterave de 12 m3 pleine	14 T	≈ 20 cm
Site 3	1 passage de roue automotrice PdT vide (roue arrière)	17 T	≈ 25 cm
Site 4	1 passage de roue automotrice PdT vide (roue arrière)	17 T	≈ 30 cm
Site 5	Passage de roue débardeuse à betterave de 22 m3 pleine	19,5 T	≈ 35 cm
Site 6	1 passage de roue automotrice PdT pleine (roue arrière)	24 T	≈ 35 cm
Site 7	1 passage de roue automotrice PdT pleine (roue arrière)	24 T	≈ 40 cm
Site 8	1 passage de roue Intégrale à betterave pleine (roue arrière)	27 T	≈ 45 cm

→ L'augmentation de la charge par essieu augmente la profondeur atteinte par le tassement

FACTEURS QUI DÉTERMINENT LE TASSEMENT

Effet pneumatique

Chantier implantation PdT

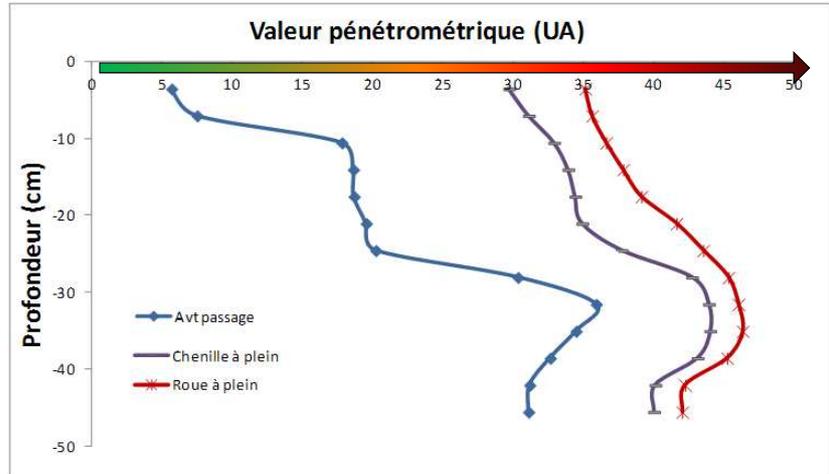


→ Augmentation de la densité de l'horizon labouré suit le gradient des contraintes au sol
 → Le tassement en surface est directement lié aux contraintes exercées au sol

FACTEURS QUI DÉTERMINENT LE TASSEMENT

Effet pneumatique

Comparaison chenille / pneu sur intégrales équivalentes



- Effet bénéfique des chenilles, principalement en surface
- Peu d'effet en profondeur



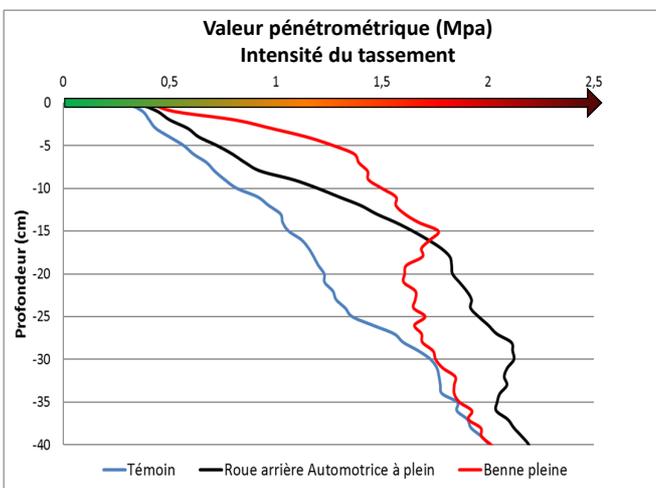
Résultats variables selon le type de chenille et de pneumatique

FACTEURS QUI DÉTERMINENT LE TASSEMENT

Effet répétition des passages de roues

Comparaison benne / automotrice - intégrale

Automotrice PdT + benne



En surface :

Tassement supérieur de la benne (5 passages de roues à 9 T/essieu)



En profondeur :

Tassement supérieur de l'automotrice (1 passage de roue mais 24 T/essieu)



- Effet du nombre de passages en surface
- Effet du poids/essieu en profondeur

ENSEIGNEMENTS POUR LE CONSEIL

→ Répartition / décomposition des charges pour diminuer le tassement profond

Prévoir une meilleure distribution du poids entre le matériel de récolte et le matériel de débardage

2 chantiers d'arrachage betterave de 50 T au total :

Arrachage de betterave en chantier décomposé :



Poids réparti sur 8 essieux

Arrachage de betteraves en chantier Intégrale :



Poids concentré sur 2 essieux

OUTILS POUR L'AIDE À LA DÉCISION PRÉVENTIVE

Les expérimentations en parcelles agricoles apportent des références précieuses.

Elles demeurent indispensables pour étudier et représenter concrètement les principales situations à risques de tassement dans une région

Cependant,

- Elles sont lourdes et coûteuses à mettre en place et à conduire
→ expérimentations menées sur un nombre restreint de chantiers et de contextes pédoclimatiques
- On ne maîtrise pas toutes les conditions de mise en œuvre (météo)

L'utilisation de modèles permet :

- D'évaluer *a priori* le risque de tassement pour un chantier donné et les leviers possibles pour réduire ce risque
- De simuler un grand nombre de chantiers et d'en faire varier les paramètres dans des conditions pédoclimatiques larges

Outil développé par des équipes de recherche de l'Université d'Aarhus (Danemark) et d'Agroscope (Suisse).

Développement d'une version régionale Hauts-de-France dans le cadre du projet Sol D'Phy.

Outil gratuit accessible sur internet :
<https://www.terranimodk>

Welcome to Terranimo® International

Terranimo® Global

Terranimo® Denmark Terranimo® Norway

Terranimo® United Kingdom Terranimo® France

Terranimo® Belgium-Flanders Terranimo® Finland

Terranimo® is a model for prediction of the risk of soil compaction due to agricultural field traffic

Start Terranimo® by clicking one of the buttons to the right

The different versions provide country-specific soil types

An introduction to Terranimo®

Vejledning på dansk

Web site provided by Aarhus University, Faculty of Science and Technology, Department of Agroecology.
Photo: H.C. Thomsen. Report technical problems to webmaster: Eouil.Lasse@agroscope.admin.ch
Version 2.0, Build: 6509, Release date: 23 August 2016.

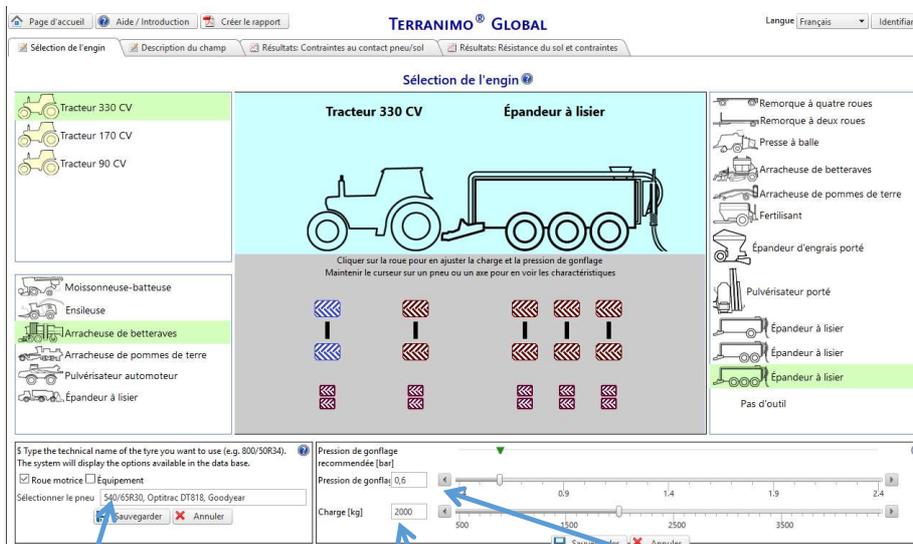
PRÉSENTATION DE TERRANIMO® :

Pour déterminer le risque de tassement, Terranimo® compare :



DONNÉES D'ENTRÉE DE TERRANIMO® :

Caractéristiques de la machine :



Liste de machines paramétrées
Ou personnalisation possible des caractéristiques

Dimension du pneu

Charge à la roue

Pression de gonflage

DONNÉES D'ENTRÉE DE TERRANIMO® :

Caractéristiques du sol :

Liste de sols et profils d'humidité paramétrés
Ou personnalisation possible des caractéristiques

TERRANIMO® GLOBAL

Page d'accueil Aide / Introduction Créer le rapport

Sélection de l'engin Description du champ Résultats: Contraintes au contact pneu/sol Résultats: Résistance du sol et contraintes

Langue Français Identifiant

Travail du sol Oui (only if recently ploughed) Non

Texture du sol

Type de sol prédefini Choix manuel de la texture

Sélectionner le type de sol Silt

Nbre	Limite inférieure (cm)	Argile [%]	Silt [%]	Sable [%]	Matière organique [%]	Densité apparente [g/cm ³]
1	10	13,0	82,0	5,0	2,0	1,28
2	20	13,0	82,0	5,0	2,0	1,28
3	30	12,0	84,0	4,0	0,0	1,35
4	40	12,0	84,0	4,0	0,0	1,35
5	50	12,0	84,0	4,0	0,0	1,35
6	60	22,0	75,0	3,0	0,0	1,40
7	70	22,0	75,0	3,0	0,0	1,40
8	80	22,0	75,0	3,0	0,0	1,40
9	90	21,0	77,0	2,0	0,0	1,40
10	100	21,0	77,0	2,0	0,0	1,40
11	110	21,0	77,0	2,0	0,0	1,40
12	120	18,0	78,0	4,0	0,0	1,42
13	130	18,0	78,0	4,0	0,0	1,42
14	140	18,0	79,0	3,0	0,0	1,40
15	150	18,0	79,0	3,0	0,0	1,40

Eau du sol

Teneur en eau prédefini Choix manuel du potentiel matriciel

Sélectionner la teneur en eau Frais

Nbre	Limite inférieure (cm)	Potential matriciel [hPa]
1	10	100
2	20	100
3	30	100
4	40	100
5	50	100
6	60	100
7	70	100
8	80	100
9	90	100
10	100	100
11	110	90
12	120	80
13	130	70
14	140	60
15	150	50

Par horizon :

Texture

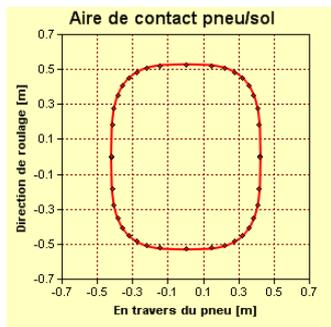
Teneur en matière organique

Densité apparente

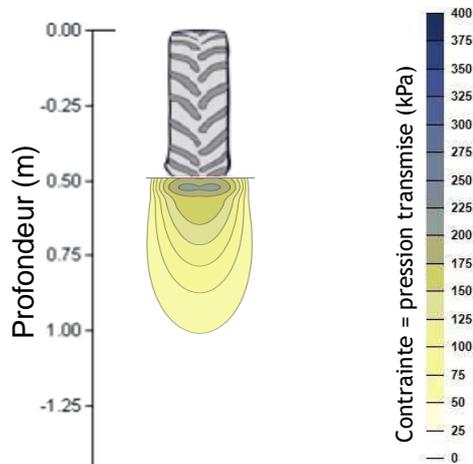
Humidité le jour du passage

SORTIES DE TERRANIMO® :

Surface d'empreinte :

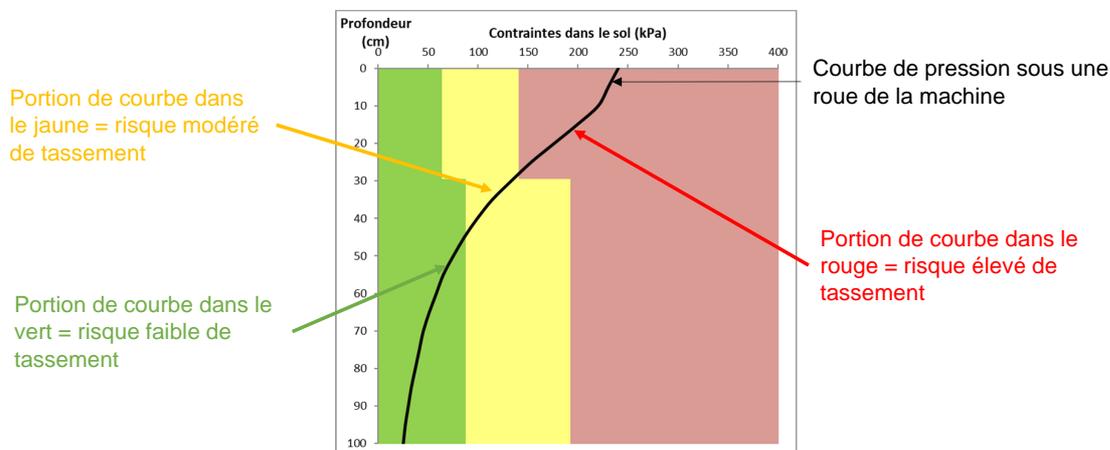


Pression au sol et propagation de la pression dans le sol :



SORTIES DE TERRANIMO® :

Niveau de risque de tassement :



Colloque de clôture du projet Sol D'Phy, gestion durable de la fertilité physique des sols cultivés – 11 septembre 2018 – Villequier-Aumont

USAGES DE TERRANIMO® :

Réfléchir l'organisation d'un chantier pour limiter le risque de tassement

Exemple :

un agriculteur envisage l'arrachage de betteraves dans une parcelle de limons au 20 novembre (conditions très humides), avec une intégrale 2 essieux

→ Quel risque de tassement (profond) ?

Intégrale 2 essieux	
Pneumatiques	1050/50R32
Charge à vide	7 T / roue
Mi charge	10,2 T / roue
Charge à plein	12 T / roue

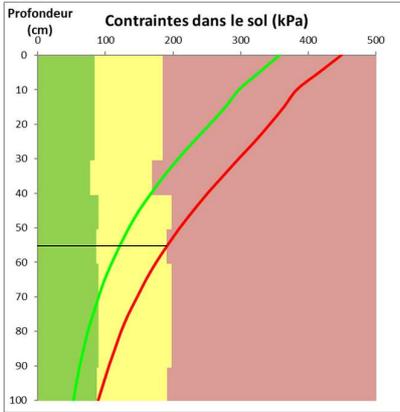
→ Quels sont les leviers disponibles pour limiter le risque ? :
 Limiter le remplissage de la trémie ? Avancer la date de récolte ?

Colloque de clôture du projet Sol D'Phy, gestion durable de la fertilité physique des sols cultivés – 11 septembre 2018 – Villequier-Aumont

USAGES DE TERRANIMO® :

Réfléchir l'organisation d'un chantier pour limiter le risque de tassement

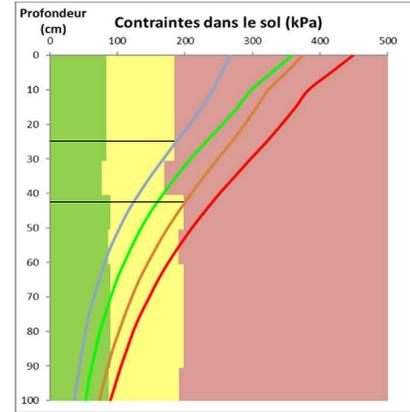
Situation prévue par l'agriculteur
(arrachage 20/11, conditions humides) :



- Intégrale trémie vide
- Intégrale trémie pleine
- Intégrale mi-charge
- Benne

Risque de tassement à 55 cm quand la trémie est pleine
→ Comment reprendre un tassement si profond ?

Si l'agriculteur ne remplit la trémie qu'à moitié :
Nécessité d'une benne à côté (pneu 600/55R26,5, charge 4,5 T / roue)



Risque de tassement à 42 cm quand la trémie est à mi charge
Risque de tassement à 25 cm sous la benne

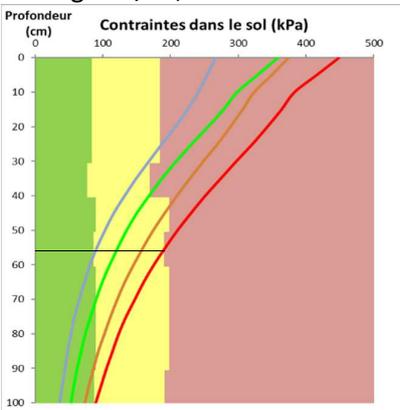
Réduction remplissage trémie = réduction profondeur atteinte par le tassement

→ Le risque de tassement reste élevé en profondeur → levier charge pas suffisant dans les conditions du chantier

USAGES DE TERRANIMO® :

Réfléchir l'organisation d'un chantier pour limiter le risque de tassement

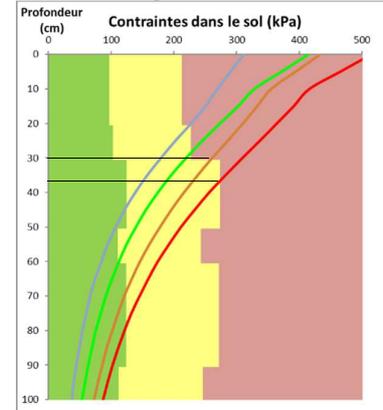
Situation prévue par l'agriculteur
(arrachage 20/11, conditions humides) :



- Intégrale trémie vide
- Intégrale trémie pleine
- Intégrale mi-charge
- Benne

→ **Intervenir en conditions moins humides permet de réduire la profondeur atteinte par le tassement**

Si l'agriculteur anticipe sa date d'arrachage de 3 semaines :



Quand la trémie est pleine : profondeur atteinte par le tassement passe de 55 cm à 38 cm

Trémie à mi-charge : il y a risque de tassement jusqu'à 30 cm (zone où une reprise mécanique peut être envisageable)

Réfléchir l'organisation d'un chantier pour limiter le risque de tassement

Conclusion de l'exemple :

- Levier « charge à la roue », en limitant le remplissage de la trémie : pas suffisant dans des conditions d'arrachage tardif, en sol humide : tassement encore profond
De plus, nécessité d'une benne → risque de tassement superficiel
réflexion circulation des bennes dans la parcelle
→ question de gestion de la main d'œuvre
 - Levier « humidité du sol », en anticipant la date d'arrachage : **efficace**, permet d'**éviter les tassements profonds** (< 30 cm) dans le cas où la trémie n'est pas remplie complètement
- Si des arrachages tardifs en conditions humides sont amenés à se répéter souvent, envisager de **réduire fortement les charges** (intégrale plus petite, automotrice, chantier décomposé...)

Aide à la décision tactique, à court terme

- Estimer *a posteriori* la profondeur potentiellement atteinte par un tassement,
↔ une aide à la décision, à associer à une observation de terrain, quant à la nécessité d'une restructuration mécanique et pour en déterminer la profondeur (*agriculteurs*)
- Choix des parcelles selon les cultures et leurs chantiers contraignants (*agriculteurs*)
- Déterminer les « Jours disponibles » pour optimiser les conditions d'intervention des engins en temps réel ou en prévision à court terme (*agriculteurs*)

Aide à la décision stratégique, à plus long terme

- Choix de matériel lors d'un renouvellement : choisir la machine qui répond le mieux aux attentes tout en évitant les tassements (*agriculteurs, CUMA, ETA*)
- Planification des tours de grue (betteraves) ou des dates de semis de semis de cultures légumières selon le risque de tassement (*acteurs des filières, industriels*)

Plutôt Oui

Mise en œuvre assez simple (matériels et sols par défaut, sorties graphiques)

Nécessité d'une **adaptation du paramétrage** de la version internationale aux types de chantiers et conditions pédoclimatiques des Hauts de France :

Travaux en cours, nouveau paramétrage en test

Les conseillers peuvent produire **facilement des simulations sur des cas précis**, bien définis, si toutes les données d'entrée sont réunies

⇒ **Utilisation pédagogique pour la sensibilisation à la prévention des risques de tassements : OK**

Plutôt Non

Nécessité de données d'humidité du sol précises en entrée : **Quels moyens d'acquisition de ces données selon les types d'application (tactiques à CT ; stratégiques sur la base de données fréquentielles) ?**

En réflexion

Actuellement **l'aide à la décision**, fondée sur les résultats des simulations, en particulier pour les usages « Jours disponibles », tant à CT (tactiques) que LT (stratégiques) : **Reste développer**

CONCLUSION GÉNÉRALE

Facteurs déterminant le risque de tassement :

- Effet des **pneumatiques** et du **nombre de passages** sur le **tassement en surface**
- Importance de la **charge /essieu** et de **l'humidité du sol** vis-à-vis du **tassement en profondeur**
- Effet des **tassements de surface** principalement en **années humides**
- Effet des **tassements profonds** principalement en **années sèches**

Terranimo® :

- Bon outil d'évaluation du risque de tassement
- A coupler avec des méthodes d'évaluation de l'humidité du sol
- Développer l'aide à la décision associée aux résultats des simulations