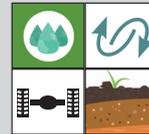
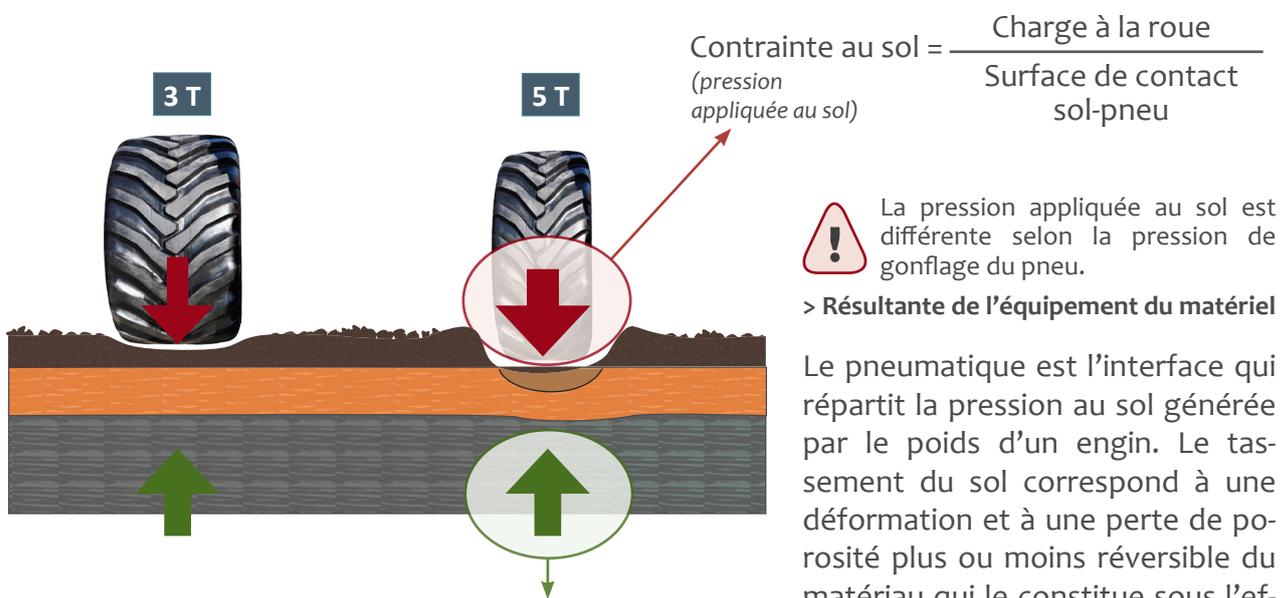


Facteurs déterminant le risque de tassement



DÉFINITION DU RISQUE DE TASSEMENT

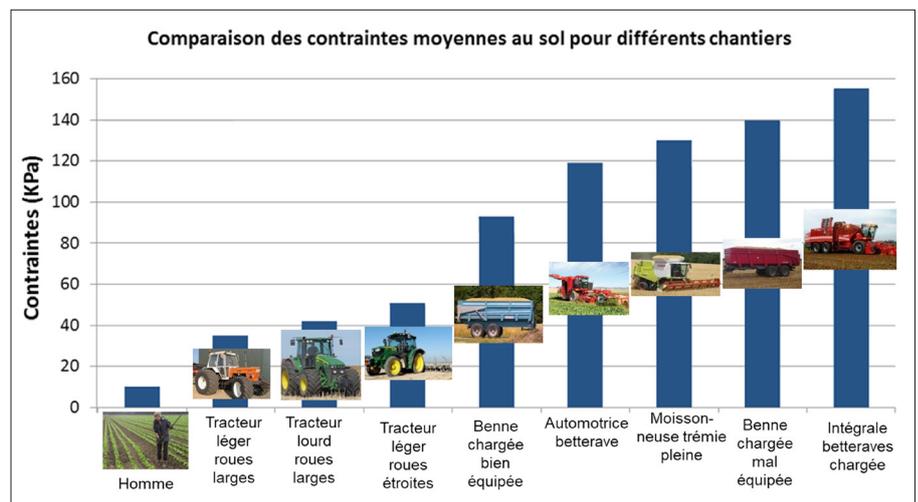


La résistance du sol dépend principalement de son humidité, sa texture et de sa résistance mécanique (type de porosité et stabilité structurale).

Le pneumatique est l'interface qui répartit la pression au sol générée par le poids d'un engin. Le tassement du sol correspond à une déformation et à une perte de porosité plus ou moins réversible du matériau qui le constitue sous l'effet d'une contrainte (pression sous les roues d'un engin) supérieure à sa résistance mécanique.

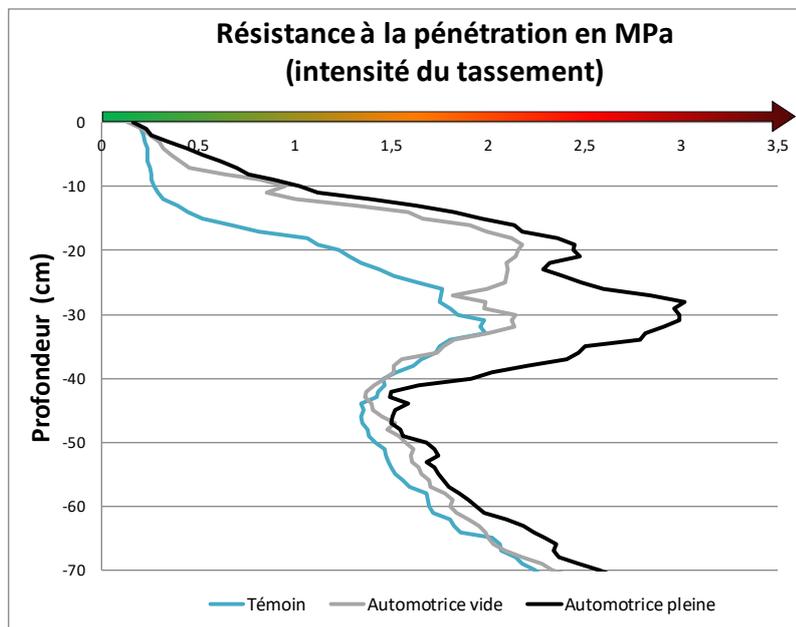
L'intensité du tassement dépend des contraintes appliquées et de la sensibilité du sol.

En parcelle agricole, les contraintes les plus élevées concernent les chantiers de récolte et le transport.



EFFET DE LA CHARGE PAR ESSIEU

Illustration : Essai Sol-D'Phy, octobre 2015, sur sol limoneux humide en profondeur - arracheuse automotrice à pommes de terre - comparaison trémie vide (17 t/essieu) et trémie pleine (24 t/essieu)



A propos de la courbe :

Mesures pénétrométriques réalisées sur le passage de la roue arrière de l'automotrice, après arrachage.

Chaque courbe est la moyenne de 24 points de mesure.

L'intensité du tassement peut être évaluée selon la valeur pénétrométrique : plus elle est élevée, plus le sol est résistant à la pénétration et risque de limiter l'enracinement des cultures.

La profondeur atteinte par le tassement a été définie en fonction de l'allure des courbes pénétrométriques entre le témoin non roulé et le passage de roue : profondeur à laquelle les courbes se rejoignent.

A vide (17 t/essieu), le tassement engendré par le passage de l'automotrice atteint 25 à 30 cm de profondeur, alors que lorsque la trémie est pleine (24 t/essieu), le tassement atteint 40 cm de profondeur. La semelle de labour préexistante a été accentuée par le passage de l'automotrice trémie pleine.

Profondeur atteinte par le tassement selon la charge par essieu dans 8 situations dont l'humidité du sol est proche

Site	Sensibilité du milieu		Caractéristiques des chantiers		Profondeur atteinte par le tassement
	Type de sol	Humidité du sol en profondeur lors de l'intervention	Modalité	Charge par essieu	
1	Limon	21,5 % d'humidité (proche de la capacité au champ)	Passage de la benne pleine	10 t	25 cm
2		22,5 % d'humidité (Capacité au champ)	Passage Intégrale à betterave de 12 m3 pleine	14 t	20 cm
3		21,5 % d'humidité (proche de la capacité au champ)	1 passage de roue automotrice PdT vide (roue arrière)	17 t	25 cm
4		21,3 % d'humidité (proche de la capacité au champ)	1 passage de roue automotrice PdT vide (roue arrière)	17 t	28 cm
5		22,5 % d'humidité (Capacité au champ)	Passage de roue débardeuse à betterave de 22 m3 pleine	19,5 t	35 cm
6		21,5 % d'humidité (proche de la capacité au champ)	1 passage de roue automotrice PdT pleine (roue arrière)	24 t	35 cm
7		21,3 % d'humidité (proche de la capacité au champ)	1 passage de roue automotrice PdT pleine (roue arrière)	24 t	40 cm
8		22,8 % d'humidité (proche de la capacité au champ)	1 passage de roue intégrale à betterave pleine (roue arrière)	27 t	45 cm

Sur les sites en sols de limons, étudiés dans le projet Sol-D'Phy dont l'humidité du sol en profondeur était proche de la capacité au champ (sol humide mais ressuyé), l'augmentation de la charge par essieu augmente la profondeur atteinte par le tassement, en modifiant les propriétés physiques mesurées (résistance à la pénétration et densité apparente principalement).

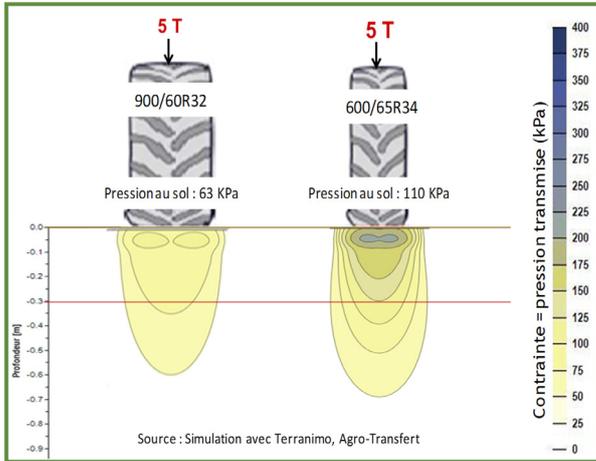
Ne pas dépasser 17 t/essieu en cas d'intervention sur des sols limoneux et humides, pour éviter les tassements profonds, au-delà de 30 cm.

L'augmentation de la charge par essieu augmente la profondeur atteinte par le tassement lorsque le sol est humide.

EFFET DES PNEUMATIQUES

Dimension des pneumatiques

Impact du type de pneumatique sur les propagations des contraintes dans le sol



Impact du type de pneumatique :

- Il détermine la pression au sol et l'intensité du tassement en surface. Ainsi, un pneumatique à grand volume d'air permet de diminuer la contrainte en surface via l'augmentation de la surface d'empreinte au sol.
- Il influence peu la propagation des contraintes en profondeur.

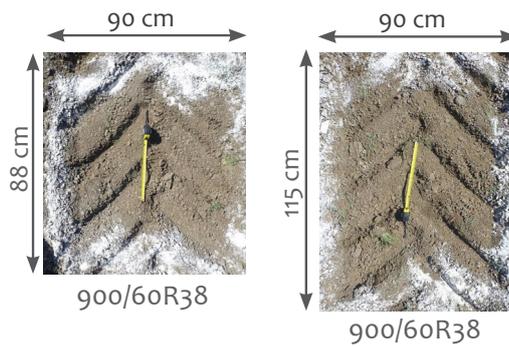
La combinaison type de pneumatique x pression de gonflage détermine la surface d'empreinte. Elle influence donc directement la contrainte au sol et détermine en grande partie le risque de tassement en surface.

Pression de gonflage

Impact de la pression de gonflage sur la surface d'empreinte et le tassement du sol - Essai Sol-D'Phy, mai 2016

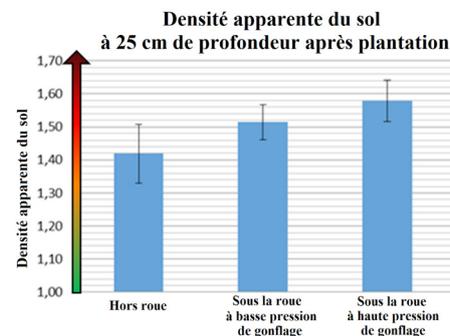


La diminution de la pression de gonflage augmente la surface d'empreinte du fait de l'écrasement du pneumatique.



Pression de gonflage 1,5 bar → 0,8 bar
Pression au sol 670g/cm² → 580g/cm²

Pour un pneumatique donné, c'est alors principalement la longueur de l'empreinte qui varie. L'augmentation de la surface d'empreinte se traduit par une diminution de la pression exercée sur le sol et par une diminution du risque de tassement dans les 25 premiers cm du sol.

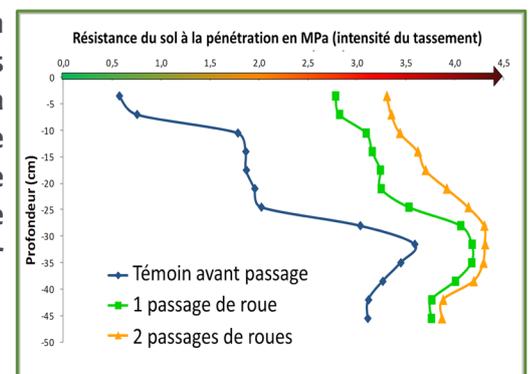


EFFET DU NOMBRE DE PASSAGES

Les passages de roues successifs sur une même surface de sol augmentent l'intensité du tassement, principalement en surface, sans augmenter la profondeur atteinte par les tassements sévères.

Le 1^{er} passage est celui qui a le plus d'impact sur la structure du sol.

Illustration de l'impact d'un ou de deux passages de roues d'une arracheuse intégrale à betterave
Essai Sol-D'Phy, novembre 2014, sur sol limoneux humide en profondeur

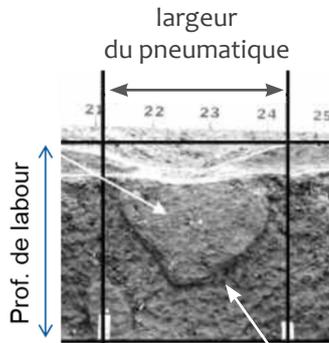


Les passages répétés de roues accentuent l'intensité du tassement créé par les passages précédents les plus lourds sans augmenter la profondeur de compactage atteinte sous le passage de roue comportant la charge par essieu la plus élevée. Cependant, ils n'affectent pas la profondeur atteinte par le tassement.

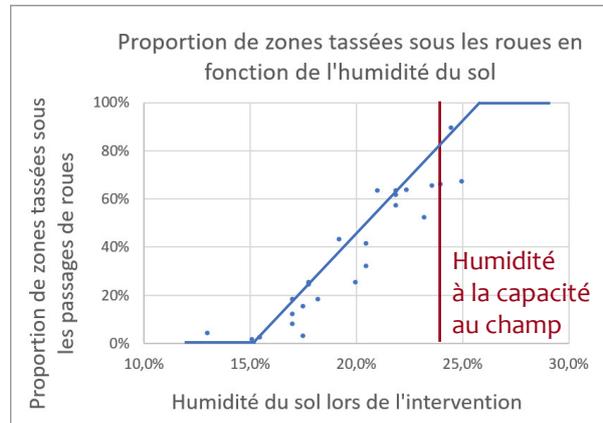
EFFET DE L'HUMIDITÉ DU SOL

Illustration de l'effet de l'humidité du sol en surface (25 premiers cm) sur l'intensité du tassement dans l'horizon labouré lors d'un chantier de récolte de maïs (moissonneuse)

Essai pluriannuel INRA, sur sol limoneux (Boizard et al., 2002)



Détermination de la proportion de zone tassée sous la roue de la moissonneuse en fonction de l'humidité

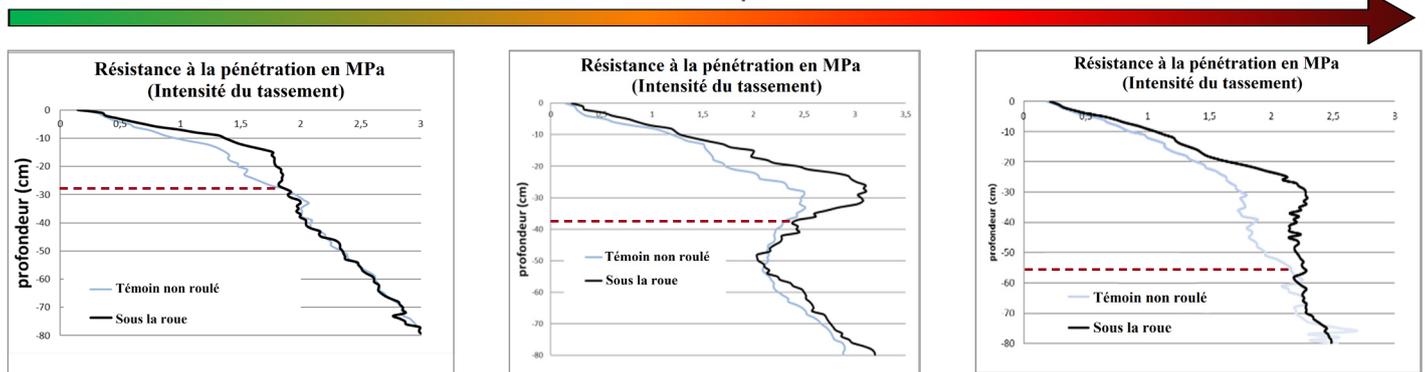


Lors d'un passage d'engin, l'intensité du tassement s'accroît en fonction de l'humidité du sol.

Pour des chantiers lourds, le tassement du sol dans les 25 premiers cm devient très élevé pour des humidités proches de la capacité au champ (sol humide mais ressuyé, une fois que l'eau en excès s'est infiltrée). Les ornières interviennent généralement lorsque le sol est détrempe, avec une humidité au-delà de la capacité au champ. Néanmoins, les tassements peuvent apparaître dans des gammes d'humidité bien plus larges autour de la capacité au champ, sans qu'il n'y ait présence d'ornières.

Illustration de l'effet de l'humidité du sol en profondeur sur 3 sites avec des charges par essieu identiques

Humidité du sol en profondeur



20,7 t/essieu
20 % d'humidité en prof.
 Prof. de tassement \approx 25 cm

19,8 t/essieu
22,5 % d'humidité en prof.
 Prof. de tassement \approx 35 cm

20 t/essieu
37 % d'humidité en prof.
 Prof. de tassement \approx 55 cm

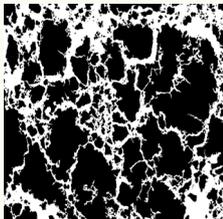
L'augmentation de l'humidité du sol en profondeur accroît le risque de tassement profond lors des chantiers lourds.

L'augmentation de l'humidité du sol accroît la sensibilité du sol au tassement en surface et en profondeur. Les tassements deviennent sévères dès lors que l'humidité atteint la capacité au champ (sol humide mais ressuyé, 2-3 jours après une forte pluie).

EFFET DU TYPE DE POROSITÉ INITIALE

Trois types de porosité dans le sol, classées selon leur origine :

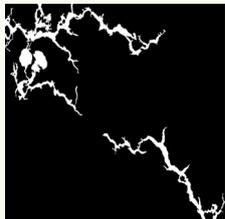
Porosité
d'assemblage



Porosité interstitielle entre les agrégats, issue principalement du travail du sol



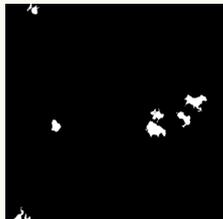
Porosité
fissurale



Porosité issue de l'alternance humectation – dessiccation du sol



Porosité
tubulaire



Porosité issue de la biologie du sol (galeries de vers de terre, racines)



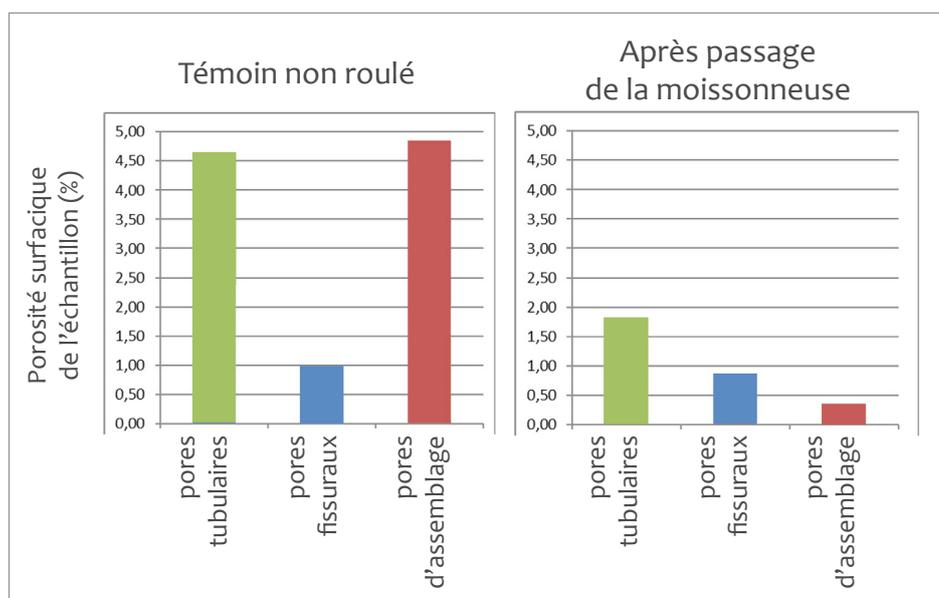
Le type de porosité présente dans un sol peut être caractérisé en établissant une classification morphologique des macropores par analyse d'image.



Source : V. Hallaire UMR SAS INRA Rennes

Effet d'un passage d'une moissonneuse sur le type de porosité présente dans le sol, entre 5 et 15 cm de profondeur - Essai Sol-D'Phy, sur sol limoneux, novembre 2015

Avec la participation de la Chambre d'Agriculture de Bretagne et l'INRA de Rennes



Galerie de ver de terre verticale ayant résisté au tassement

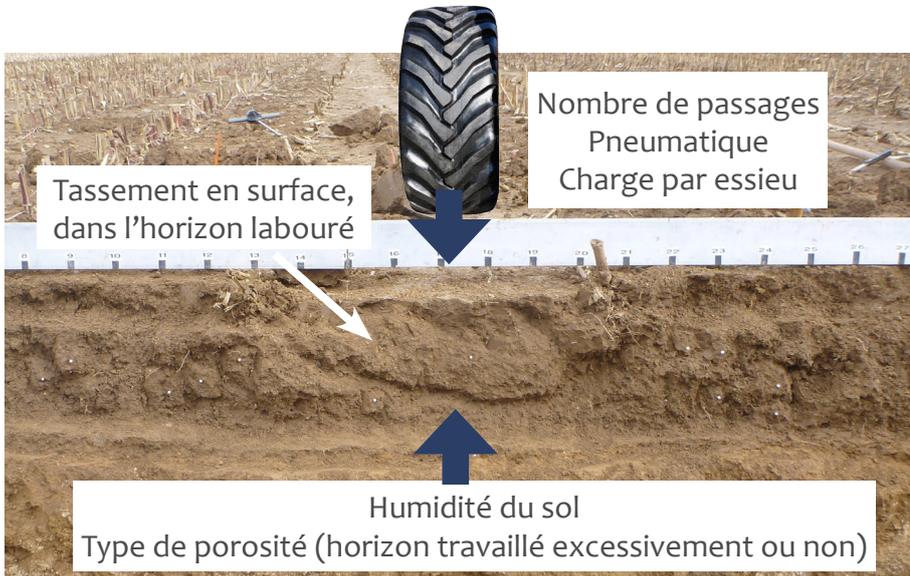
Le passage de la moissonneuse, lors de la récolte du maïs, a affecté essentiellement la porosité d'assemblage, issue principalement du travail du sol.

La porosité verticale (fissures, galeries) résiste mieux au tassement par les engins que la porosité issue du travail du sol, qui est généralement plus sensible au tassement.

SYNTHÈSE

Tassement en surface

Facteurs déterminant le tassement en surface :



Le tassement de surface est directement lié à la pression exercée sur le sol et à la résistance du sol.

Les pneumatiques à grands volume d'air, qui permettent d'augmenter la surface d'empreinte au sol, ont un impact majeur pour limiter le risque de tassement en surface.

Tassement en profondeur

Facteurs déterminant le tassement en profondeur :



Le tassement en profondeur, sous l'horizon habituellement travaillé (au-delà de 25 cm) dépend principalement de la charge par essieu et de l'humidité du sol lors de l'intervention.

L'horizon pédologique (horizon jamais travaillé) est souvent plus résistant au tassement par le type de porosité présente (galerie de vers de terre, fissures, microporosité d'enchytréides).

L'horizon pédologique plus argileux des limons loessiques, structurés verticalement (structure prismatique) est moins sensible au tassement que les horizons travaillés mécaniquement.

