

# Guide méthodique de la tige «pénétré»

Diagnostiquer rapidement le tassement de vos sols  
avec une simple tige métallique



Méthode élaborée dans le cadre du projet de transfert Sol-D'Phy

porté par Agro-Transfert Ressources et Territoires en région Hauts-de-France, avec le concours de :

Partenaires financiers



Ce projet est co-financé par l'Union européenne avec le Fonds européen de développement régional (FEDER)



Partenaires scientifiques et techniques



# Principes

## Objectif de la méthode

La méthode consiste à évaluer la résistance à la pénétration d'une tige enfoncée verticalement dans le sol.

Il s'agit d'un moyen simple et très rapide, complémentaire du test bêche et du mini-profil 3D, permettant d'apprécier l'état de compacité du sol dans les différents horizons, pour suspecter des problèmes de tassement, ou pour évaluer la résistance du sol au passage des engins.

Le test bêche permet l'observation de la structure du sol sur les 25 premiers centimètres.

La tige pénétrométrique permet, via la résistance du sol ressentie, de détecter d'éventuels problèmes de tassements plus profonds non repérés avec la bêche, qui peuvent justifier une observation complémentaire avec un mini-profil 3D ou un profil cultural complet. La tige permet également d'explorer facilement la variabilité de la structure du sol de la parcelle avec les points de mesure très rapides à réaliser (15 minutes par parcelle).



## VOCATION DU GUIDE

### ► POUR QUI ?

- Les agriculteurs, conseillers de terrain et expérimentateurs

### ► POURQUOI ?

- Diagnostiquer l'état structural pour décider de la profondeur de travail du sol avant implantation d'une culture
- Apprécier la profondeur d'un tassement sous un passage de roue
- Explorer les causes d'une hétérogénéité observée sur les cultures potentiellement liée à un problème de structure du sol
- Estimer la résistance du sol au tassement avant passage d'engins lourds

## SOMMAIRE

### ► Principes

### ► Méthode pour évaluer l'état de compacité du sol

### ► Cas particulier : évaluer la résistance du sol au tassement avec la tige

### ► Matériel nécessaire

# Méthode pour évaluer l'état de compacité du sol

## Principes...

La résistance à la pénétration est une propriété physique du sol qui dépend de trois principaux paramètres :

- son état d'humidité : la résistance est plus importante en sol sec
- sa texture : à état hydrique comparable, un sol argileux est plus résistant qu'un sol limoneux ou sableux
- sa compacité : plus la résistance à la pénétration est élevée, plus le sol est compact et plus le passage des racines sera affecté.

Pour pouvoir interpréter une variation de résistance à la pénétration comme une différence d'état de compacité du sol, il faut avoir connaissance *a priori* des changements de texture en profondeur et s'assurer que l'humidité du sol est homogène sur toute la profondeur analysée.

## Comment s'en servir ?

- Enfoncer la tige lentement dans le sol, à vitesse constante, jusqu'à ressentir un changement de résistance
- Relever la profondeur du changement de résistance puis continuer à enfoncer jusqu'à sentir une résistance plus importante ou moins importante
- Noter de nouveau la profondeur et ainsi de suite
- Réaliser plusieurs pénétrations (points de mesure) pour tenir compte de la variabilité de la structure (*voir en page suivante*).

Il est recommandé que la même personne manipule sur une même parcelle ou lors de comparaison de parcelles, et réalise le graphique correspondant. En effet, selon le gabarit et la force des utilisateurs, le ressenti peut être différent. L'utilisateur se crée en effet ses propres repères en pratiquant et en s'étalonnant au départ. Une courte formation est utile, puis la maîtrise s'acquiert facilement en pratiquant.

## Interprétation

Pour un point de mesure, identifier les différents **paliers de résistance**, caractérisés par leur **intensité** et leur **profondeur**. La **variation de l'intensité de la résistance** permet de suspecter un problème de tassement. Pour l'ensemble des points de mesure, comparer les caractéristiques (profondeurs et intensités) des différents paliers de résistance. Si une mesure précise de la résistance du sol est recherchée, un pénétromètre à manomètre est nécessaire (*voir en page 7*).

Un horizon plus résistant n'est pas forcément «sévèrement tassé» ou impénétrable par les racines. En effet, des fissures et/ou galeries de vers de terre peuvent offrir des voies préférentielles pour le passage des racines à travers une zone tassée. Le pénétromètre ne peut pas en rendre compte. Une observation complémentaire de la fonctionnalité de la porosité, via un profil cultural, un mini-profil 3D ou un test bêche, est donc importante pour justifier une éventuelle intervention de restructuration mécanique.

## ...et conditions d'utilisation

- **Sol réhumecté** « à la **capacité au champ** » sur la **profondeur analysée**, c'est-à-dire sol qui est revenu à sa capacité maximale de rétention en eau, mais après 3 jours de ressuyage suite à une forte pluie. Ne pas intervenir en sol saturé.

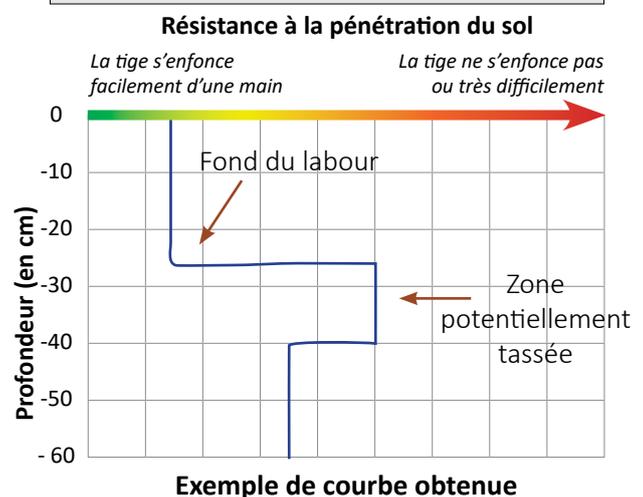
→ **Période recommandée : sortie d'hiver, de janvier jusqu'à la mi-avril, sur labour ou sur culture suivante.**

- Texture de sol plutôt homogène sur la profondeur analysée

- Non adaptée aux sols caillouteux, sols très argileux et plastiques

### Un plus...

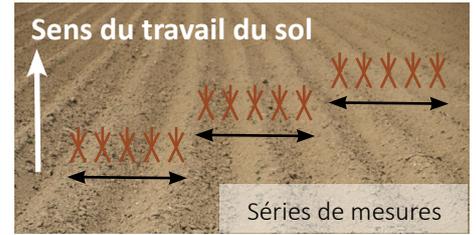
Effectuer à la main la courbe de la résistance ressentie selon la profondeur obtenue à chaque palier détecté



# Applications en situations réelles

## DIAGNOSTIC POUR DÉCISION D'UN TRAVAIL DE SOL

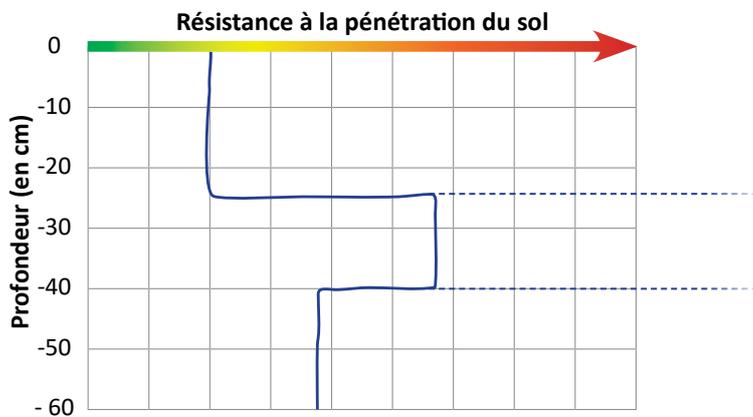
Effectuer 2 à 3 séries de points de mesure alignés perpendiculairement au sens de travail du sol, disposés en diagonal dans la zone de la parcelle à étudier : au moins 5 points de mesure  $\times$  espacés d'environ 50 cm sur chacune des séries de mesures puis comparaison des différentes courbes obtenues entre elles.



### Cas 1 PARCELLE EN ORGE AVEC BETTERAVE PRÉVUE L'ANNÉE SUIVANTE

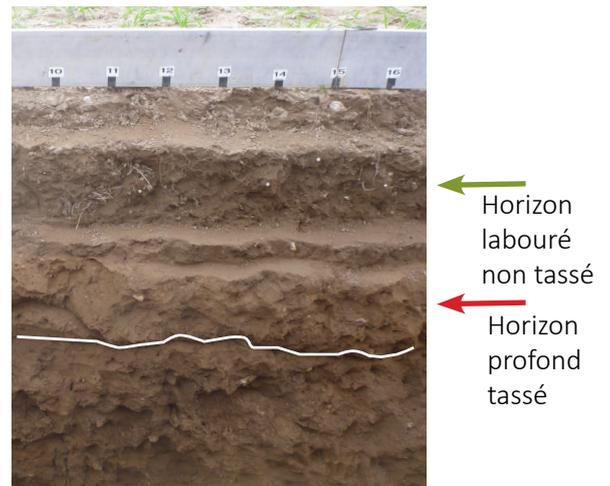
Points de mesure homogènes

Moyenne du ressenti des différents points de mesure :



Profil de sol

correspondant à la situation :



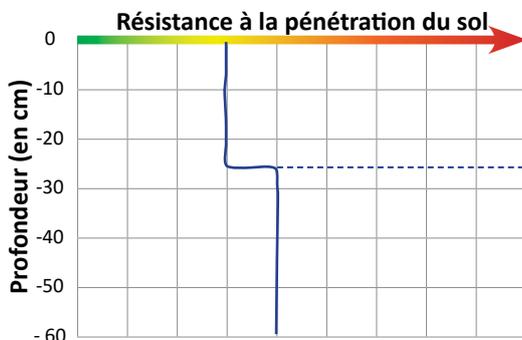
L'utilisation de la tige pénétrométrique indique une résistance entre 25 et 40 cm, laissant suspecter un problème de tassement profond. Une observation complémentaire par un profil ou mini-profil 3D serait justifiée.

L'observation du profil de sol confirme la présence d'une zone tassée, repérée avec la tige pénétrométrique. L'absence de fissures et de galeries observée sur le profil dans ce sol sablo-limoneux justifie une correction mécanique en profondeur.

### Cas 2 PARCELLE EN BLÉ AVEC COLZA PRÉVU L'ANNÉE SUIVANTE

Points de mesure homogènes

Moyenne du ressenti des différents points de mesure :



Profil de sol

correspondant à la situation :



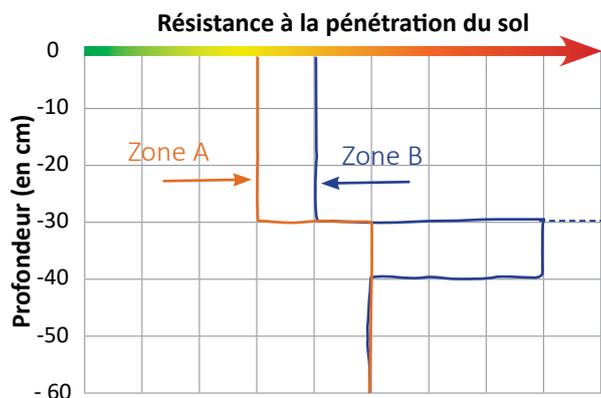
La résistance est homogène et faible sur l'ensemble de la profondeur analysée, excepté une légère résistance repérée à 25 cm de profondeur correspondant à la transition entre l'horizon de travail du sol et les couches pédologiques non travaillées. Aucune intervention mécanique ne semble être justifiée vis-à-vis de la structure du sol.

L'observation du profil de sol confirme le fond du labour repéré à 25 cm de profondeur. La structure du sol est favorable, pas de tassement repéré. Aucune intervention mécanique n'est justifiée vis-à-vis de la structure du sol.

### Cas 3 PARCELLE EN BLÉ AVEC BETTERAVE PRÉVUE L'ANNÉE SUIVANTE

Points de mesure hétérogènes

Moyenne du ressenti des différents points de mesure :



L'utilisation de la tige pénétrométrique indique une résistance à 30 cm de profondeur, avec une résistance très importante jusqu'à 40 cm sur la zone B de la parcelle, laissant suspecter un problème de tassement profond. Une observation complémentaire par un profil ou mini-profil 3D serait justifiée.

Profil de sol - zone A :



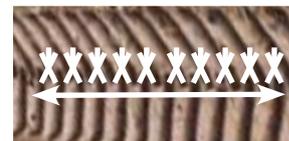
Profil de sol - zone B :



L'observation des profils de sol confirme la zone tassée à 30 cm de profondeur, avec une intensité de tassement sous l'horizon labouré plus importante dans la zone B de la parcelle. L'absence de porosité visible sur le profil justifie une correction mécanique en profondeur, ciblée sur la zone B de la parcelle.

### APPRÉCIER LA PROFONDEUR D'UN TASSEMENT SOUS UN PASSAGE DE ROUE

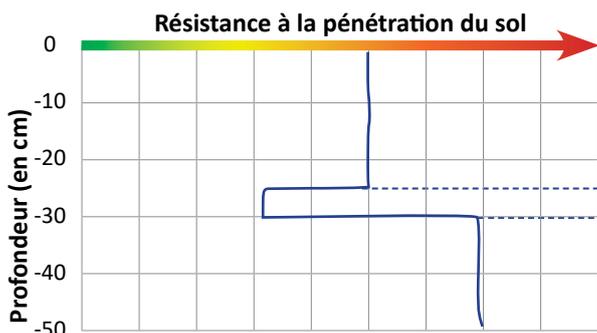
Effectuer une série de mesures d'environ 10 points le long du passage de roue (à répéter sur 2 ou 3 passages de roues) pour obtenir une tendance sur l'ensemble des points de mesure à l'aplomb du passage.



### PARCELLE APRÈS RÉCOLTE DE MAÏS ENSILAGE

Points de mesure homogènes

Moyenne du ressenti des différents points de mesure :



L'utilisation de la tige pénétrométrique indique une certaine résistance jusqu'à 25 cm, puis transitoirement une résistance plus faible, et enfin une résistance plus importante en sous sol, au-delà de 30 cm. Le passage successif de l'ensileuse et de la benne semble avoir tassé jusqu'à 25 cm de profondeur.

Profil de sol correspondant à la situation :



L'observation du profil de sol confirme le tassement de la couche labourée sous les roues, repéré jusqu'à 25 cm de profondeur, puis, au-delà de 30 cm de profondeur, la présence d'une zone tassée mais fissurée sur le fond du labour, correspondant à un tassement ancien en cours de régénération.



**Comparaison de différentes parcelles :** Selon le type de sol, la pluviométrie reçue et les cultures en place, l'humidité du sol est généralement différente d'une parcelle à une autre : la résistance du sol étant très dépendante de son état d'humidité, les comparaisons entre parcelles sont déconseillées, à moins d'intervenir le même jour dans le même secteur (en lien avec les précipitations récentes), sur des parcelles comparables quant au type de sol, au précédent cultural et à la culture en place.

# Cas particulier : évaluer la résistance du sol au tassement avec la tige

## Principes...

## ...et conditions d'utilisation

La résistance à la pénétration du sol peut renseigner également sur sa capacité à supporter les passages d'engins lourds. Dans ce cas, il s'agit de tenir compte de l'humidité du sol : en effet, lorsque le sol devient plus sec, sa résistance mécanique au tassement augmente et cela se traduit aussi par une résistance à la pénétration plus élevée.



Pas de contraintes particulières à effectuer le diagnostic avec la tige, hormis la non compatibilité avec les sols caillouteux et les sols très argileux et plastiques.

**Période recommandée** : juste avant la réalisation d'un chantier contraignant, en particulier à l'automne lors de la réhumectation du profil (sol humide en surface, mais pouvant être encore sec en profondeur) ou en sortie d'hiver lors du ressuyage (sol sec en surface mais pouvant être encore humide en profondeur).

## Comment s'en servir ?

Le protocole de réalisation d'un point de mesure est identique à la méthode pour évaluer l'état de compacité du sol. Effectuer aléatoirement sur la parcelle 5 à 10 points de mesure.

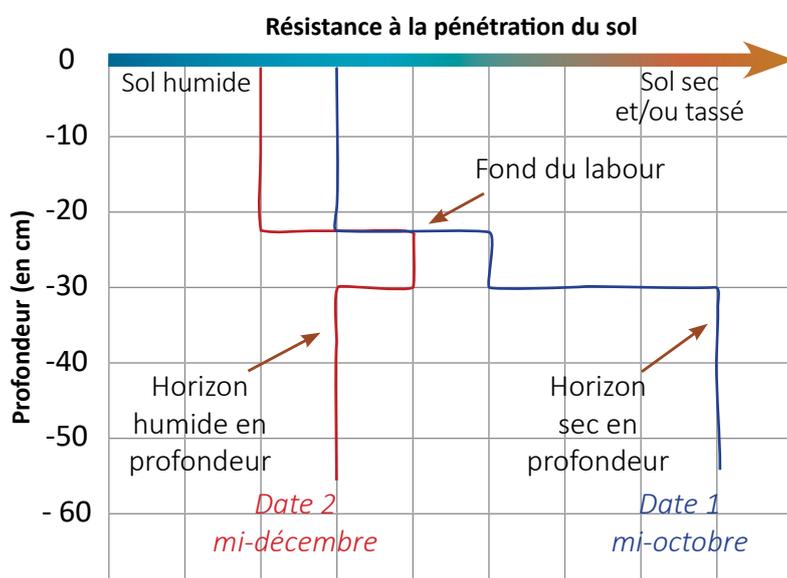
## Interprétation

Pour un point de mesure, identifier les différents **paliers de résistance**, caractérisés par leur **intensité** et leur **profondeur**. La **variation de l'intensité de la résistance** permet de repérer la sensibilité du sol au tassement : plus la résistance à la pénétration sera élevée, moins le sol sera sensible au tassement. Dès lors que la tige rentre très difficilement dans le sol, cela signifie que le sol est sec et peu sensible au tassement.

Note : le prélèvement d'un échantillon de sol en profondeur, à l'aide d'une tarière, reste le meilleur moyen pour apprécier l'humidité du sol et sa sensibilité au tassement, et se donner des repères pour ensuite mieux interpréter la résistance à la pénétration ressentie en fonction de l'humidité du sol et donc de sa capacité à supporter les charges. Un travail spécifique sur l'évaluation de l'humidité du sol sera mené dans la suite du projet Sol-D'Phy, à partir de 2019.

## Exemple d'application

Évaluation de la résistance du sol sur une parcelle de betteraves à 2 dates différentes d'arrachage.



A la 1<sup>ère</sup> date d'arrachage des betteraves, mi-octobre, le sol est peu résistant à l'enfoncement de la tige, et donc humide, uniquement sur les 25 premiers cm. L'horizon est résistant et donc sec en profondeur. -> Peu de risque de tassement en profondeur.

A la 2<sup>ème</sup> date d'arrachage, mi-décembre, le sol est peu résistant, et donc humide, sur l'ensemble du profil. Le fond du labour, entre 25 et 30 cm, est plus résistant, probablement lié à la présence d'un tassement. -> Risque a priori élevé de tassement profond avec un chantier lourd.

# Matériel nécessaire

## Fabrication d'une tige



- **Matériel nécessaire :**

Tige de préférence en inox, d'environ 1 m de longueur et 1 cm de diamètre  
Tige d'environ 20 cm de longueur pour la poignée.

- **Assemblage :**

- Souder la poignée sur une extrémité de la tige, transversalement, pour permettre l'introduction et l'extraction de la tige dans le sol.
- Meuler l'autre extrémité de la tige pour créer un embout sous forme d'ogive pointue.
- Grader tous les 10 cm la tige pour repérer les profondeurs lors de l'enfoncement.
- Coller des rubans adhésifs de couleurs différentes aux 4 graduations clés (20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm) pour repérer plus facilement les profondeurs.

**Prix indicatif :** 20 à 30 €

## Tige pénétrométrique avec manomètre

**Intérêt :** Il permet d'apprécier plus précisément la résistance du sol et de la chiffrer, pour la réalisation de courbes de résistance à la pénétration en fonction de la profondeur. La comparaison de situations, à humidité et texture de sol homogènes est facilitée.

**Caractéristiques :** Tige avec manomètre à lecture directe, sans enregistrement des données.

Le diamètre du cône, légèrement supérieur à celui de la tige, permet d'éviter que la tige ne frotte sur les parois du « canal » circulaire ouvert par l'ogive.

**Prix indicatif :** 200 à 300 €

### Méthodologie d'application

Choix de l'ogive :

- Utiliser une ogive petite lorsque la résistance est élevée (sol argileux et/ou tassé)
- Utiliser une grosse ogive lorsque la résistance est faible (sol limoneux, sableux ou meuble)

Réalisation de la mesure :

- Effectuer une poussée la plus régulière possible
- Relever la pression du manomètre à chaque graduation (via enregistrement vocal ou en étant accompagné pour la notation des valeurs)
- Tracer la courbe de la résistance en fonction de la profondeur pour chaque point de mesure

La valeur de 2 MPa (300 psi) est souvent retenue comme valeur critique à ne pas dépasser pour permettre le bon enracinement des cultures (Gubiani, 2010).

## Pénétrömètre électronique

**Caractéristiques :** Enregistrement de la résistance à la pénétration en fonction de la profondeur. Nécessite la mesure du profil d'humidité pour interpréter l'allure des courbes.

**Prix indicatif :** 3000 à 6000 €

**Usages :** Pour les besoins d'expérimentations (conseillers, expérimentateurs, chercheurs)



**Matériel  
recommandé**





**Document réalisé dans le cadre du projet Sol-D'Phy,**  
«Gestion Durable de la fertilité Physique des Sols  
cultivés».

Ce projet a pour objectif d'aider les agriculteurs à mieux  
gérer la structure de leur sol, en particulier à :

- Prévenir les risques de tassement
- Diagnostiquer facilement la structure du sol
- Prendre conscience des conséquences des tassements
- Identifier les mécanismes de régénération naturelle  
du tassement

## AUTEURS

**Vincent Tomis**

[v.tomis@agro-transfert-rt.org](mailto:v.tomis@agro-transfert-rt.org)

**Claire Turillon**

[c.turillon@agro-transfert-rt.org](mailto:c.turillon@agro-transfert-rt.org)

**Annie Duparque**

[a.duparque@agro-transfert-rt.org](mailto:a.duparque@agro-transfert-rt.org)

## APPUI SCIENTIFIQUE

**Hubert Boizard, INRA**

Accédez à la version numérique de ce guide sur le site [agro-transfert-rt.org](http://www.agro-transfert-rt.org) :  
<http://www.agro-transfert-rt.org/sorties-du-projet-sol-dphy/>

### Référence citée

GUBIANI, P. I. et al. Identificação de camadas com diferentes estados de compactação pela análise fatorial da resistência do solo à penetração. In: Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo, 2010, 8, Santa Maria-RS. SBCS-Núcleo Regional Sul, 2010.

Document distribué par :

