

# DEMARCHE DE DIAGNOSTIC DE LA STRUCTURE DU SOL POUR MIEUX PILOTER LES INTERVENTIONS CULTURALES

Vincent Tomis<sup>1</sup>, Bertrand Deloste<sup>1</sup>, Damian Martin<sup>1</sup>, Annie Duparque<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Agro-Transfert-Ressources et Territoires

## Introduction

Le tassement des sols dans la région Hauts de France représente un risque majeur de détérioration des sols agricoles, en particulier dans les systèmes intégrant des cultures industrielles, du fait des chantiers lourds qui interviennent fréquemment en conditions humides (récoltes automnales de betteraves, de pommes de terre, de légumes). Une étude menée par Agro-Transfert de 2012 à 2016 sur 35 parcelles agricoles réparties dans la région (Turillon et al., 2018) a permis d'évaluer précisément l'étendue des problèmes de tassement des sols en Hauts de France.

Les observations de profils culturaux ont mis en évidence la présence de tassements profonds dans un tiers de ces parcelles, et dans la majorité des cas, les agriculteurs n'avaient pas conscience de l'état structural de leur sol en profondeur : ces tassements profonds sont rarement connus des agriculteurs, en raison de l'absence de méthode de diagnostic facile à mettre en œuvre. Les prises de décision concernant le travail du sol sont souvent appliquées par habitude, rarement en connaissance de cause sur les relations entre la structure présente et le potentiel de développement racinaire au sein de cette structure.

De même, peu d'actions préventives sont mises en œuvre pour limiter les risques de tassements profonds, puisqu'une minorité d'agriculteurs a conscience de ces potentiels problèmes en profondeur. Une série d'expérimentations menée en 2015 – 2016 (Tomis et al., 2017) a mis en évidence le rôle important de l'humidité du sol et de la charge par essieu dans l'apparition de tassements profonds. Cette étude a également permis d'évaluer les conséquences de ces tassements sur la croissance des cultures, démontrant les impacts sur l'enracinement et la productivité, en particulier en conditions climatiques très sèches ou très humides.

Dans ce contexte, pour maintenir le potentiel agronomique des sols à long terme, permettre aux agriculteurs de prendre conscience des risques de tassement, de les diagnostiquer, de les corriger et de les prévenir, est une priorité pour le conseil agricole en région.

Une démarche basée sur la mise en œuvre de méthodes de diagnostic simples de la structure du sol a été développée dans le cadre du projet régional Sol D'Phy (Gestion durable de la fertilité physique des sols ; <http://www.agro-transfert-rt.org/projets/sol-dphy/>), porté par Agro-Transfert-RT, avec pour objectifs de :

- Favoriser la prise de conscience et sensibiliser les agriculteurs aux problèmes de tassements, en leur montrant directement les problèmes sur leurs parcelles ;
- Aider à la décision sur la nécessité d'une intervention de restructuration mécanique, en tenant compte des conséquences sur les cultures suivantes et des possibilités de régénération naturelle ;
- Identifier les causes des détériorations constatées pour les prévenir, en tenant compte des connaissances actuelles sur les facteurs qui déterminent le risque de tassement, et des marges de manœuvre disponibles.

## Diagnostic de la structure du sol

La démarche repose sur l'utilisation combinée des différentes méthodes de diagnostic rapide, qui sont complémentaires pour effectuer un diagnostic agronomique complet :

- **La méthode bêche avec prise en compte de la bioturbation** (Turillon et al., 2018) :

La méthode consiste à prélever un bloc de sol à l'aide d'une bêche afin d'établir une évaluation rapide de l'état physique et biologique du sol. La notation de l'état structural de la bêchée s'effectue selon la méthode VESS développée par Ball et al (2007).

La possibilité de prendre en compte la bioturbation en observant une bêchée, permet d'évaluer rapidement l'action de restructuration naturelle exercée par les vers de terre sur les zones tassées du sol. Le couplage des notations structure et bioturbation permet ainsi d'accéder à une analyse plus fine de l'état physique du sol et donc une interprétation plus précise qui tient compte des possibilités de régénération naturelle des tassements à moyen terme.

- **Le mini-profil 3D**, proposé par Tomis et al. 2019 :

La méthode consiste à prélever et porter à hauteur des yeux des blocs de sol d'un mètre cube environ avec les palettes d'un chargeur télescopique, puis à observer les horizons de travail du sol, la structure et les traces d'activité biologique. La taille du bloc permet une description de la structure et de sa variabilité qui s'inspire de la méthode de description de l'état structural du profil cultural. Une fois l'observation réalisée, le bloc est reposé dans la fosse initiale, limitant les perturbations du sol. La méthode a été comparée avec celle du profil cultural : le mode de prélèvement n'occasionne pas de biais pour l'observation de l'état structural du sol. Cependant la taille de la surface à observer étant moindre, le prélèvement est répété trois fois.

- **La tige « pénétro »** (Tomis et al., 2018-b) :

La méthode consiste à enfoncer verticalement dans le sol une tige métallique : utilisée en sortie d'hiver, lorsque le sol est totalement humecté sur la profondeur analysée, elle permet, au travers de la résistance du sol ressentie à l'enfoncement vertical de la tige, de détecter d'éventuels problèmes de tassements plus profonds non repérés avec la bêche, et qui peuvent justifier une observation complémentaire avec un mini-profil 3D ou un profil cultural. Les points de mesure étant très rapides à réaliser, la tige permet également d'explorer facilement la variabilité spatiale de la structure du sol au sein de la parcelle et notamment de comparer des zones de sa surface exprimant des écarts visibles de fertilité traduits par exemple, par l'état de la culture en place ou par des problèmes d'infiltration de l'eau.

### Complémentarité des méthodes

Chaque méthode de diagnostic a un domaine d'utilisation propre, défini par ses intérêts et ses limites :

- La bêche permet un diagnostic rapide de la structure des 25 premiers cm du sol, mais n'autorise pas l'observation en profondeur.
- La tige « pénétro » permet de détecter des problèmes de tassements profonds non repérés avec la bêche, mais ne renseigne pas sur le type de porosité présente.
- Le mini-profil 3D offre un diagnostic plus approfondi en ce qui concerne le type de porosité sur les différents horizons (couche travaillée et non travaillée), mais la zone étudiée reste limitée en raison du faible nombre de prélèvements

Dans certains cas, une approche plus approfondie peut être utile pour compléter cette démarche : la méthode de description du **profil cultural complet** (Boizard et al., 2017) lève les limites du mini-profil 3D, mais elle reste très lourde à entreprendre et ne peut pas être répétée facilement, ni sur la surface d'une parcelle ni dans le temps. Il implique pour sa part l'intervention d'un praticien expérimenté et n'est pas un outil directement utilisé par les agriculteurs.

Chacune des trois méthodes de diagnostic simplifié apporte des informations spécifiques sur l'état structural du sol. Cependant, aucune de ces méthodes, utilisée individuellement, ne permet un diagnostic suffisamment complet à l'échelle d'une parcelle. L'utilisation combinée des différentes méthodes permet ainsi de bénéficier des avantages de chacune pour traiter les différentes problématiques de gestion de la structure du sol, ou répondre aux différentes questions courantes, telles qu'évaluer :

- la nécessité d'une restructuration mécanique avant implantation d'une culture, et à quelle profondeur (figure 1) ;
- la capacité de régénération naturelle de la structure du sol ;
- la profondeur atteinte par un tassement sous un passage de roue ;
- et déterminer si l'hétérogénéité dans le développement d'une culture provient d'un problème de structure du sol.

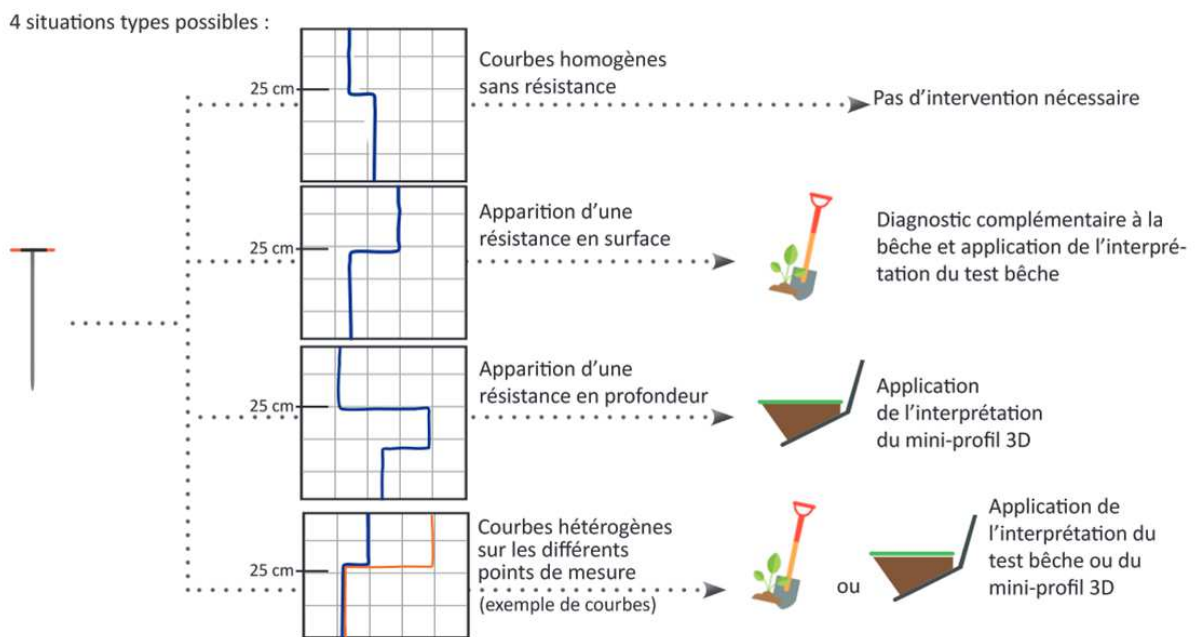


Figure 1 : Exemple d'utilisation complémentaire des méthodes de diagnostic simplifié pour évaluer la nécessité d'une intervention mécanique de restructuration (Tomis et al, 2018-a)

Ainsi, la démarche de diagnostic de la structure du sol repose sur :

- La formulation des questions de gestion de l'état structural du sol à traiter sur la parcelle à partir du témoignage de l'agriculteur,
- La localisation des zones d'observation et de réalisation des tests. Une cartographie de la végétation à l'aide d'un drone peut aider à identifier des zones dont le développement végétatif est plus faible, en lien avec l'état structural du sol.
- La combinaison des tests (figure 1) en commençant par la tige pénétrométrique pour préciser les questions et suspecter des problèmes de tassement, puis en utilisant la bêche ou le mini-profil 3D selon la profondeur de l'horizon pour lequel un diagnostic complémentaire est nécessaire.

Des mesures de propriétés physiques du sol (densité apparente, infiltration à l'eau, perméabilité à l'air) peuvent compléter ces observations visuelles pour mieux caractériser la structure du sol et permettre l'acquisition de références lors d'une comparaison de pratiques culturales. Il s'agit cependant de méthodes plus complexes à mettre en œuvre, qui impliquent l'intervention d'un conseiller spécialisé.

## Correction des problèmes de structure constatés

Une fois le diagnostic réalisé, l'étape suivante consiste à évaluer la nécessité d'une intervention de restructuration mécanique pour corriger les éventuels problèmes de tassement constatés, en tenant compte des conséquences sur les cultures suivantes.

Des grilles d'aide à l'interprétation des observations réalisées à partir du mini-profil 3D (figure 2) et du test bêche ont été proposées pour guider la décision d'intervention mécanique et en choisir la profondeur. Elles ont été établies à partir de connaissances sur :

- les conséquences des tassements sur l'enracinement des cultures (Tomis et al., 2017)
- l'effet des fissures et galeries de vers de terre sur l'enracinement (Tomis et al. 2017)
- les conséquences d'un mauvais enracinement sur la productivité des cultures (Tomis et al. 2019)







Apparence globale majoritaire du bloc et porosité des mottes	Horizon	Observations par horizon	Cause probable	Conseil
<b>État massif et continu</b>  <b>Zones tassées majoritaires</b> (plus des 2/3 du bloc), non fissurées et peu perforées par les vers de terre	Horizon habituellement travaillé	 Structure continue massive dans l'horizon labouré	Tassement récent non repris par un travail du sol	Intervention mécanique recommandée sur l'horizon tassé, quelles que soient les cultures
	Horizon plus profond et non travaillé récemment <sup>1</sup> (sous le labour actuel)	 Structure continue massive sous le labour	Tassement profond issu d'un chantier lourd en conditions humides	Décompactage recommandé sous la semelle, en particulier avant cultures sensibles, en conditions bien ressuyées  Identifier les causes du tassement pour les prévenir
<b>État continu ou en bloc</b>  <b>Alternance de mottes tassées</b> (1/3 à 2/3 du bloc) et de zones plus fragmentaires, ou Etat majoritairement tassé mais fissuré et/ou avec de nombreuses galeries de vers de terre	Horizon habituellement travaillé	 Structure en bloc, dans l'horizon labouré, 50 % de zones tassées	Ancien tassement repris par un labour ou un décompactage	Intervention mécanique recommandée avant cultures sensibles et avec une forte exigence de conformation racinaire
	Horizon plus profond et non travaillé récemment <sup>1</sup> (sous le labour actuel)	 Structure continue massive sous le labour, mais fissurée et perforée	Ancien tassement qui se restructure par le climat et/ou l'activité biologique	État structural à surveiller Pas d'intervention mécanique utile en profondeur
<b>État fragmentaire ou en bloc</b>  <b>Peu de zones tassées</b> (moins de 1/3 du bloc)  <b>NB : si sol trop meuble et creux</b> ➤ effet négatif sur le système racinaire	Horizon habituellement travaillé	 Structure fragmentaire dans l'horizon labouré	Pas ou peu de tassement	Pas d'intervention mécanique, sauf éventuel rappuyage, si le sol est trop meuble juste avant une implantation
	Horizon plus profond et non travaillé récemment <sup>1</sup> (sous le labour actuel)	 Structure en bloc, peu tassée, sous l'horizon labouré	Pas de tassement profond	Pas d'intervention mécanique utile en profondeur

Figure 2 : grille d'interprétation du mini-profil 3D : aide à la décision vers une éventuelle intervention mécanique (proposé par Tomis et al., 2019)

Dans le cas où une intervention mécanique est jugée nécessaire, les méthodes de diagnostic (la méthode bêche pour les interventions inférieures à 25 cm de profondeur et le mini-profil 3D ou le profil cultural pour les interventions supérieures à 25 cm de profondeur) sont mobilisées de nouveau après l'opération pour juger de l'efficacité de l'intervention mécanique, en termes de profondeur atteinte, de fragmentation de la zone tassée et d'absence de lissage de l'outil.

## **Identifier les causes des problèmes pour les prévenir**

Lorsqu'un problème de tassement est constaté et qu'il a été corrigé par un travail du sol, l'étape suivante consiste à prévenir le risque de retour du même problème en identifiant les causes.

Dans les sols labourés ou travaillés en profondeur récemment, la connaissance des facteurs qui déterminent le risque de tassement et l'observation de l'état structural en lien avec le dernier travail du sol, rend possible la déduction des causes des problèmes observés, en particulier dans les cas suivants :

- Présence de zones tassées continues dans l'horizon labouré :
  - Si l'observation est réalisée avant la récolte de la culture en place : tassement issu de l'implantation de la culture (un tassement plus ancien aurait été fragmenté par le labour).
  - Si l'observation est réalisée après la récolte : tassement récent post-labour, issu de l'implantation de la culture ou de la récolte de la culture (à déduire selon les conditions d'humidité du sol lors de l'implantation et de la récolte)
- Présence de zones tassées sous l'horizon labouré, avec horizon labouré fragmenté : tassement profond créé avant le labour, probablement lors de la récolte de la culture précédente (si les zones tassées ont peu évolué) ou de la récolte survenue quelques années auparavant (si les zones tassées en profondeur sont fissurées et/ou perforées par quelques galeries de vers de terre)

De plus, les principaux facteurs déterminant le risque de tassement (Tomis et al., 2017) sont les suivants :

- Importance des pneumatiques (type de pneu et pression de gonflage) vis-à-vis de l'apparition des tassements de surface (25 premiers cm)
- Effet du nombre de passages sur l'intensité du tassement, sans augmenter la profondeur atteinte par le tassement
- Rôle central du couple humidité du sol \* charge/essieu élevée dans l'apparition de tassements profonds

La connaissance de la cause du tassement et des facteurs qui déterminent le risque permet à l'agriculteur de retrouver le chantier à l'origine du tassement repéré et de prévenir les prochains tassements : il pourra ainsi adapter le chantier, par exemple en évitant d'intervenir dans les conditions d'humidité qui ont créé le tassement et/ou en modifiant la pression de gonflage des pneumatiques et/ou en limitant la charge par essieu (en modifiant le matériel ou en remplissant moins la trémie ou la cuve).

## Cas d'étude, illustrant la mobilisation de la démarche

Cette démarche est actuellement mobilisée pour le suivi du réseau de parcelles agricoles qui participe au projet SOL-D'Phy-2. L'exemple qui suit illustre les phases de diagnostic, de correction et de prévention.

Suite à une récolte de pommes de terre réalisée en conditions humides, l'agriculteur a observé une hétérogénéité sur le blé suivant, en sortie d'hiver (photo 1).

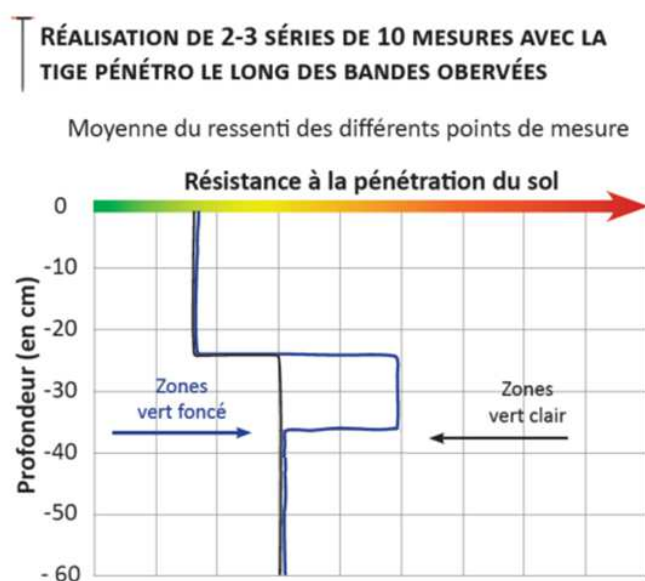


Photo 1 : Visualisation de l'hétérogénéité sur du blé en sortie d'hiver (crédit photo : V. Tomis, Agro-Transfert)

Le blé a été implanté après la récolte des pommes de terre, et un labour réalisé entre 20 et 25 cm de profondeur.

### **Diagnostic :**

Afin d'identifier si l'hétérogénéité de la culture provient d'un problème de tassement du sol, la tige pénétro a été mobilisée, avec la réalisation de 3 séries de 10 mesures le long des bandes observées. La moyenne du ressenti des différents points de mesure est représentée en figure 3.



En surface, sur la profondeur de labour (repérée à 22 cm), il n'y a pas de différence de ressenti selon les niveaux de développement du blé, sur la moyenne des points de mesures réalisés.

Cependant, la résistance à la pénétration en profondeur (entre 22 et 35 cm de profondeur) est plus importante dans les bandes vert clair, où le blé est moins vigoureux : un diagnostic complémentaire au mini-profil 3D est nécessaire pour apprécier la sévérité du tassement.

Figure 3 : moyenne du ressenti des différents points de mesure de la tige pénétro



2.a



2.b



2.c

Photo 2 a. : Prélèvement d'un mini-profil 3D sur les zones où le blé est vigoureux ;

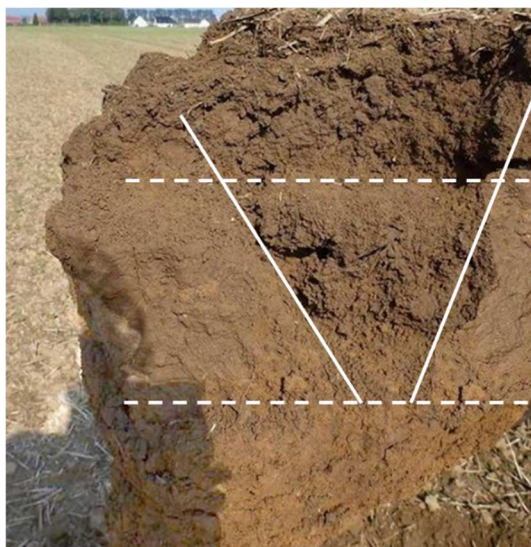
Photos 2.b et 2.c : Prélèvement de 2 mini-profils 3D sur les zones où le blé est moins vigoureux (crédits photos : V. Tomis, Agro-Transfert)

Les observations des mini-profils 3D bien ciblées selon l'hétérogénéité de la culture (photos 2) indiquent la présence d'une structure ouverte et peu tassée en surface et en profondeur dans les zones où le blé est vigoureux et la confirmation d'une structure compacte sous la profondeur de labour, entre 22 et 35 cm de profondeur, sur les zones où le blé est moins vigoureux.

#### ***Décision d'une éventuelle correction :***

Compte tenu de la sévérité du tassement observé en profondeur, avec très peu de galeries de vers de terre et de fissures (car tassement récent n'ayant pas évolué), un travail profond de fissuration jusqu'à 35 cm serait justifié après la récolte du blé, pour faciliter la restructuration de la zone tassée et éviter une perte de potentiel sur les prochaines cultures.

#### ***Vérification de l'efficacité du décompactage, après la récolte du blé :***



Zone tassée fragmentée

L'observation après le décompactage permet de visualiser le « V » de fissuration créé lors du passage de la dent, jusqu'à 35 cm de profondeur : l'efficacité du décompactage et la profondeur atteinte ont ainsi pu être vérifiées par le mini-profil 3D (photo 3).

Photo 3 : Mini profil 3D réalisé après le décompactage, après la moisson du blé (crédit photo : V. Tomis, Agro-Transfert)

### **Prévention :**

Les photos 2 des mini-profils 3D prélevés dans les bandes où le blé est peu vigoureux indiquent la présence de zones tassées sous l'horizon labouré, avec un horizon labouré fragmenté (photos 2b et 2c) : il s'agit ici d'un tassement profond créé avant le labour. Etant donné que les zones tassées ont peu évolué, il s'agit très probablement des passages de roues de la récolteuse automotrice lors de l'arrachage des pommes de terre (culture précédente, récoltée en conditions humides). Les bandes où le blé est moins vigoureux (bandes vert clair) correspondent donc aux passages de roues de l'automotrice de récolte des pommes de terre. En connaissant les conséquences de son chantier, l'agriculteur pourra mettre en place des mesures préventives pour éviter l'apparition de nouveaux tassements profonds à la prochaine récolte des pommes de terre. Sachant qu'il s'agit du couple humidité du sol et charge/essieu élevée qui détermine l'apparition de tassements profonds, l'agriculteur pourra essayer d'agir sur la charge par essieu (choix d'une arracheuse plus légère, diminution du remplissage de la trémie) et/ou sur les conditions d'humidité lors de ses prochaines interventions.

### **Conclusion**

Cette démarche de diagnostic et d'aide à la décision présentée, actuellement mise en œuvre dans le cadre du projet Sol-D'Phy2 d'Agro-Transfert, permet d'accompagner les agriculteurs dans la gestion de la structure de leur sol sur le court et le moyen terme. Elle donne les moyens au conseiller d'aider l'agriculteur à détecter et à comprendre l'impact de ses pratiques sur le fonctionnement de son sol, et à décider des adaptations nécessaires de ses pratiques de travail du sol, de gestion des intercultures et d'organisation de leurs chantiers culturaux.

La mobilisation de cette démarche a d'ores et déjà permis d'identifier les causes de problèmes de tassement (issu de récolte, d'épandage ou d'opérations de semis), pour y remédier avec un travail du sol à la profondeur adéquate, avant de mettre en œuvre des moyens agronomiques préventifs pour éviter que ces problèmes n'apparaissent de nouveau. Dans certaines situations où l'hétérogénéité sur les cultures pouvait laisser penser à des problèmes de tassement de sol liés à des passages d'engin, l'utilisation des méthodes de diagnostic a permis de révéler que la structure du sol n'était pas en cause, l'hétérogénéité observée sur la culture en place étant très probablement due plutôt à la mauvaise répartition des résidus du précédent cultural : la mise en œuvre de la démarche a donc permis d'éviter une opération de restructuration mécanique qui n'était pas nécessaire dans cette situation.

Cette démarche basée sur le diagnostic sensibilise les agriculteurs aux problèmes de tassements, en particulier de tassements profonds, et favorise le développement d'une approche préventive concrète des risques de tassements associés aux principaux chantiers lourds.

Le projet Sol-D'Phy-2 permet de poursuivre la diffusion des méthodes de diagnostic simplifié et de la démarche d'application combinée de ces méthodes présentée ici. L'objectif est bien à terme, d'amener les agriculteurs de la région à les mettre en œuvre régulièrement, et à prendre en main ainsi, de façon la plus autonome possible, la préservation de la fertilité physiques des sols de leurs exploitations.



## **Bibliographie citée :**

- Ball, B.C., Batey, T. & Munkholm, L.J. 2007. Field assessment of soil structural quality - a development of the Peerkamp test. *Soil Use and Management*, 23, 329–337.
- Boizard, H., Peigné, J., Sasal, M.C., de Fátima Guimarães, M., Piron, D., Tomis, V., Vian, J.-F., Cadoux, S., Ralisch, R., Tavares Filho, J., Heddadj, D., De Battista, J., Duparque, A., Franchini, J.C., Roger-Estrade, J., 2017. Developments in the “profil cultural” method for an improved assessment of soil structure under no-till. *Soil Tillage Res.* 173, 92–103.
- Tomis, V., Martin, M., Turillon, C., Hervieu, S., Duparque, A., 2017. Impact of Potato Planting and Harvesting on Soil Compaction and Soil Development for Potato and Next Crops, 20th EAPR Triennial Conference, Versailles, France, 9-17 July 2017.
- Tomis V., Duparque A., Boizard H., 2019. Development of the “Mini 3D soil profile” – a visual method derived from the “profil cultural”. *Soil and tillage research (194)* <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.06.002>
- Tomis V., Turillon C., Duparque A., 2018-a Guide « Complémentarité des méthodes de diagnostic de la structure du sol » - 12p. <http://www.agro-transfert-rt.org/publications/plaquettes-et-guides-techniques/>
- Tomis V., Turillon C., Duparque A., 2018-b. Guide méthodique de la tige pénétro - Diagnostiquer rapidement le tassement de vos sols avec une simple tige métallique – 8p. <http://www.agro-transfert-rt.org/publications/plaquettes-et-guides-techniques/>
- Turillon C., Tomis V., Duparque A., 2018. Guide méthodique du Test bêche Structure et Action des vers de terre - Diagnostiquer rapidement l'état structural de vos sols en prenant en compte les traces d'activité des vers de terre – 16p. <http://www.agro-transfert-rt.org/publications/plaquettes-et-guides-techniques/>
- Turillon C., Tomis V., 2018. Problématiques régionales de gestion de l'état structural des sols ; apports du projet Sol-D'Phy pour diagnostiquer les tassements, Colloque de clôture du projet Sol-D'Phy, Villequier-Aumont, 11/09/2018.