



Résumé analytique à l'intention des groupes cibles

Numéro de projet	406840_143061
Titre	Restauration naturelle de la structure des sols tassés
Responsable de projet	Thomas Keller, Agroscope
Autres responsables	Dani Or, EPF Zurich Stanislaus Schymanski, EPF Zurich Peter Weisskopf, Agroscope Achim Walter, EPF Zurich

Contribution à la synthèse thématique :

<input checked="" type="checkbox"/> Sol et production alimentaire	<input checked="" type="checkbox"/> Sol et environnement	<input type="checkbox"/> Ressource sol et développement territorial	<input type="checkbox"/> Informations du sol, méthodes et instruments	<input type="checkbox"/> Vers une politique durable des sols
---	--	---	---	--

Lieu, date : Zurich, le 22 décembre 2016

Contexte

Si la charge exercée par les machines agricoles dépasse la portance du sol, il en résulte un tassement. Cela signifie que le volume des pores se réduit et que la structure du sol – l'organisation spatiale des composants et des espaces vides (pores) et la stabilité de cette architecture complexe et délicate – s'en trouve modifiée. Le tassement entrave d'importantes fonctions du sol, comme le transport de l'eau et des gaz, et affecte le biotope qu'il constitue pour les microorganismes, ce qui a des répercussions sur la croissance des plantes. L'agriculture moderne privilégiant des machines toujours plus grosses et toujours plus lourdes, le sol subit une pression de plus en plus forte. Les coûts économiques et écologiques qui en découlent dépendent directement du temps nécessaire à un sol pour se régénérer. Les coûts écologiques sont en lien avec la baisse des performances écosystémiques, tandis que les coûts économiques résultent directement de la diminution des rendements ou de la hausse de la consommation d'énergie nécessaire pour labourer ou fertiliser le sol. Dans ce contexte, il est important de mentionner que les dégâts occasionnés par un tassement sont immédiats alors que les coûts qui en découlent s'accumulent tant que le sol ne s'est pas entièrement régénéré. Afin de pouvoir les estimer, des connaissances doivent être recueillies sur l'intensité, la durée et l'efficacité des différents processus de régénération. Si le tassement constitue un processus relativement bien cerné, les informations font encore défaut sur la vitesse de régénération de la structure du sol et les mécanismes qui l'influencent. Il est évident que les deux processus impliqués se rapportent à des échelles de temps radicalement différentes. Si un sol peut se tasser en l'espace de quelques secondes, il lui faut beaucoup plus longtemps pour se régénérer : des années, des décennies voire des siècles.

But

Le projet « Tassement des sols » visait principalement à étudier la régénération de la structure des sols tassés et les principaux mécanismes biophysiques y contribuant. Pour ce faire, l'Agroscope Reckenholz/Zurich a mis en place un essai de terrain à long terme baptisé « Soil Structure Observatory (SSO) ». A des échelles spatiales qui s'échelonnent du fragment (mm) à la parcelle (ha), celui-ci permet d'observer et de mesurer sur plusieurs années comment la structure et les fonctions du sol évoluent après un tassement. Les données collectées sur le terrain ont été complétées par des expériences de laboratoire afin d'analyser en détail les mécanismes qui améliorent la structure du sol et, en particulier, les interactions plantes-sol et l'aération du sol (bioturbation) par les vers de terre. Des modèles ont par ailleurs été développés afin de décrire les paramètres et les mécanismes qui participent de l'évolution de la structure du sol (p. ex., la bioturbation).

Résultats

Les données récoltées jusqu'à présent dans le cadre cet essai à long terme confirment que la régénération des sols tassés est un processus long. En mars 2014, le dispositif expérimental avait produit un tassement initial sur près de 50 cm de profondeur. Ce sol tassé se caractérise par une réduction de la porosité, une diminution des capacités de transport de l'eau et des gaz et une résistance mécanique accrue à la pénétration. Ces dégradations physiques influent directement sur le développement racinaire et le rendement des plantes. Nous avons pu mettre en évidence que les plantes des sols tassés développent moins de racines et que celles-ci pénètrent moins profondément dans le sol. En effet, la modification des conditions physiques induit une

modification de l'anatomie racinaire : les racines sont généralement plus grosses et les aerenchymes – les structures tissulaires qui permettent les échanges gazeux à l'intérieur des végétaux – sont plus gros et plus nombreux. Au cours des deux années ayant suivi le tassement, les fonctions du sol en lien avec la conductivité hydraulique, la diffusivité des gaz ou la résistance mécanique à la pénétration ne se sont que peu améliorées. Du fait de la durée relativement courte de l'expérimentation, il est encore trop tôt pour estimer les temps de régénération. De manière générale, le taux de régénération décroît avec la profondeur parce que les variations de température et d'humidité et l'activité biologique exercent une influence notable sur la restauration des fonctions du sol. Travailler le sol accélère certes sa régénération, mais les effets du tassement ne s'en trouvent pas pour autant définitivement éliminés. La profondeur à laquelle le sol peut être travaillé est par ailleurs limitée alors que le tassement s'étend souvent – comme dans le cas du SSO – jusqu'au sous-sol. Le SSO permet parallèlement de tester différents procédés d'exploitation – jachère, prairie permanente, rotation des cultures avec et sans travail du sol – qui ont un impact variable sur la régénération de la structure du sol. A l'exception des effets exercés par le travail du sol, peu de différences ont néanmoins été mesurées en ce qui concerne la restauration des fonctions pédologiques en raison de la durée d'expérimentation relativement restreinte. Conçu comme un essai à long terme, le SSO fournira néanmoins au cours des années à venir des données précieuses sur le déroulement ultérieur de ce processus de régénération.

Les expériences menées en laboratoire et en chambre climatique ont livré de nouvelles données utiles sur les interactions racines-sol pour différentes plantes cultivées. Lors des essais en pot, nos études ont ainsi démontré que plantes et racines réagissaient au tassement de la même manière qu'en plein champ. Cette information est particulièrement importante dans la mesure où les essais de laboratoire peuvent être réalisés dans des conditions contrôlées et permettent d'étudier plus rapidement des paramètres beaucoup plus nombreux (conditions du sol, plantes, espèces), ce qui représente un avantage, par exemple, pour la sélection. Nous avons pu établir que la quantité de racines constitue une grandeur décisive pour le développement aérien des végétaux et que le taux de croissance racinaire dépend fortement de la géométrie de l'extrémité des racines. Des espèces de plantes cultivées résistantes au tassement – qui offriraient la possibilité d'accélérer la régénération des sols tassés parce qu'elles peuvent croître plus facilement et plus rapidement dans ce milieu – pourraient à l'avenir être sélectionnées. Nous avons également démontré que des macropores artificiels pouvaient activement être utilisés par les plantes. Les racines poussent en direction de ces pores et les utilisent, car elles peuvent pousser plus rapidement dans ces espaces où l'oxygène est par ailleurs plus disponible. Ces pores ont exercé un effet positif sur la production de biomasse en laboratoire, comme sur le terrain.

Les racines et les vers de terre apportent une contribution importante au développement de la structure poreuse du sol, en particulier en ce qui concerne la régénération intervenant après un (fort) tassement. Des études intensives et le développement de modèles reproduisant la mécanique de la bioturbation due aux racines et aux vers de terre ont fourni de nouvelles informations sur les dépenses énergétiques nécessaires à la croissance des racines et au déplacement des vers de terre. Ces dépenses énergétiques constituent une fonction des propriétés physiques et mécaniques du sol et de la vitesse de croissance ou de déplacement respective. Les racines peuvent exercer une pression près de dix fois supérieure à celle des vers de terre, mais leur vitesse de croissance est près de dix fois inférieure à la vitesse de déplacement de ces derniers. Les modèles développés permettent de calculer les dépenses énergétiques nécessaires à la bioturbation. Les modèles ont été vérifiés à l'aide de tests de pénétration expérimentaux : à diamètre égal, les vers de terre ont besoin de plus d'énergie que les racines pour s'enfoncer dans le sol, car ils se déplacent plus rapidement. Du fait de la pression plus élevée qu'elles exercent, les racines peuvent par ailleurs se

frayer un passage dans un sol plus sec que les vers de terre. Pour se déplacer, les vers de terre utilisent une proportion considérable du carbone organiquement lié stocké annuellement dans le sol comme source d'énergie.

Les résultats obtenus contribuent à une meilleure compréhension des processus biophysiques qui se déroulent dans le sol et participent à l'estimation de la vitesse à laquelle un sol peut se régénérer après un tassement.

Implication pour la recherche

Le SSO offre sous sa forme actuelle une possibilité unique d'observer comment la structure et les fonctions du sol évoluent dans le temps après un tassement. Cet essai de terrain à long terme permet ainsi d'évaluer l'influence de différents modes d'exploitation et de déterminer les taux de régénération. Les données issues du SSO contribuent, en général, à une meilleure compréhension de l'évolution de la structure du sol et, en particulier, à une estimation plus précise de sa capacité de régénération. Ces informations sont indispensables pour pouvoir quantifier les dommages induits par le tassement.

Nous avons acquis de nouvelles connaissances sur la manière dont les racines et les systèmes racinaires réagissent au tassement, sur la façon dont les racines interagissent avec le sol, sur les propriétés qui influent sur la croissance des racines et sur le lien existant entre ces paramètres et la croissance aérienne des plantes. Nous avons développé des modèles qui décrivent la mécanique de la bioturbation produite par les racines et les vers de terre et qui nous permettent de calculer les besoins énergétiques liés à la croissance des racines et au déplacement des vers de terre en fonction des propriétés mécaniques du sol et de la vitesse de pénétration. Ceci nous permet, par exemple, d'estimer la capacité de bioturbation d'une population de vers de terre sur la base de l'énergie disponible (carbone organiquement lié stocké dans le sol).

Implication pour la pratique

Le tassement des sols constitue l'un des principaux problèmes auxquels est confrontée l'agriculture moderne et représente une menace pour la fertilité des sols. Nos études démontrent que la structure du sol ne se régénère que lentement après un tassement. Bien que l'essai de terrain à long terme « Soil Structure Observatory » (SSO) ne permette pas encore de tirer de conclusions précises sur la durée de régénération, les données obtenues jusqu'à présent montrent que la régénération exige des années voire des décennies. Si le tassement intervient en l'espace de quelques secondes, la régénération qui lui fait suite exige beaucoup plus de temps et s'étend, dans certains cas, sur plusieurs générations. Il est important de prendre conscience que les coûts inhérents à un tassement s'accumulent tant que le sol ne s'est pas entièrement régénéré. Les différentes formes d'exploitation étudiées dans le cadre du SSO (jachère, prairie permanente, rotation des cultures avec et sans travail du sol) livreront des indications sur la manière dont la régénération de la structure et des fonctions du sol peut éventuellement être améliorée. Le SSO démontre que le travail du sol accélère la régénération, mais qu'il ne permet pas de compenser complètement un tassement. Les études de détail menées sur les interactions racines-sol et la bioturbation des racines et des vers de terre montrent que ce sont des propriétés racinaires génotypiques qui sont responsables du développement du système racinaire et de la vitesse à laquelle les racines peuvent pousser dans un sol tassé. Ceci ouvre de nouvelles perspectives quant à la sélection de plantes tolérantes au tassement, qui pourraient non seulement pousser plus facilement dans les sols tassés, mais aussi accélérer leur régénération. Les modèles développés

permettent d'estimer la bioturbation qui peut être produite par les racines et les vers de terre en fonction des propriétés mécaniques du sol. Cette estimation permet à son tour de déduire le temps de régénération d'un sol tassé.

Recommandations

Nos études confirment que l'on devrait dans la mesure du possible éviter de tasser les sols étant donné la rapidité des tassements (secondes) par rapport à la durée considérable de la régénération des sols tassés (des années voire des décennies). Le travail du sol contribue certes à accélérer la régénération, en particulier en ce qui concerne le rendement, mais ne remédie pas immédiatement aux répercussions qui en résultent pour différentes fonctions du sol. Le sol peut par ailleurs être tassé en dessous de la profondeur de travail (tassement du sous-sol).

Des pores artificiels peuvent accroître la productivité des plantes dans les sols tassés, car ils améliorent l'aération du sol et permettent aux racines de pousser. Ces pores pourraient ouvrir la voie à de nouvelles méthodes d'exploitation plus respectueuses des sols.

La sélection devrait cibler des espèces tolérantes au tassement. Celles-ci permettraient non seulement de réduire les pertes de rendement, mais aussi d'accélérer la régénération de la structure du sol. Nos études fournissent de premières indications sur les caractéristiques des racines qui influent positivement sur le taux de croissance des plantes. Il est néanmoins nécessaire que des travaux de recherche soient poursuivis dans ce domaine.

La bioturbation des vers de terre crée de nouveaux pores continus et améliore ainsi l'aération et l'infiltration des sols. Ce processus présuppose cependant que le sol soit humide car les vers de terre ne peuvent exercer qu'une pression relativement réduite et que la résistance au déplacement devient trop élevée dans un sol sec. Les vers de terre doivent par ailleurs disposer de suffisamment de nourriture (carbone organiquement lié).