

Impacts environnementaux des techniques

Les TSL modifient la qualité

Parmi les impacts environnementaux des TSL, la modification des propriétés du sol est un élément majeur. Les outils de travail du sol utilisés jouent sur sa composition, ses fonctions et sur les organismes qu'il abrite. Taux de matière organique, érosion, porosité, biodiversité, autant d'éléments qui évoluent en fonction des techniques utilisées.



© C. Maumené, ARVALIS-Institut du végétal

▲ Plus que les TSL proprement dites, c'est la couverture du sol qui contribue à modifier le fonctionnement du sol.

Stéphane de Tourdonnet
INRA

Article réalisé à partir des contributions de 2 groupes de travail.

Groupe érosion :

Ouvry J.F. (AREAS), Bonafos A. (AREAS), Labreuche J. (ARVALIS - Institut du végétal), Le Bissonnais Y. (INRA de Montpellier), Martin P. (AgroParisTech-INRA), Darboux F. (INRA d'Orléans), Delaunoy A. (CA81), Heddadj D. (CRA de Bretagne), Luce M. (CA80), Ancelin O. (CA80), Derancourt F. (CA62), Duval R. (ITB), Caboulet D. (IFVV)

Groupe qualité des sols et biodiversité :

de Tourdonnet S. (AgroParisTech-INRA), Chenu C. (AgroParisTech-INRA), Straczek A. (AgroParisTech-INRA), Cortet J. (ENSAIA), Félix I. (ARVALIS - Institut du végétal), Gontier L. (IFVV), Heddadj D. (CRA de Bretagne), Labreuche J. (ARVALIS - Institut du végétal), Laval K. (ESITPA), Longueval C. (CRA Midi Pyrénées), Richard G. (INRA d'Orléans), Tessier D. (INRA de Versailles)

Le sol est constitué de particules minérales, de matières organiques, d'eau, d'air et d'organismes vivants. C'est un milieu extrêmement complexe qui remplit une multitude de fonctions environnementales, économiques, sociales et culturelles : production d'aliments et de biomasse, stockage, filtration et transformation de l'eau, des minéraux, des gaz, mais également d'une multitude de substances chimiques et organiques, habitat et pool génétique... Toutes ces fonctions sont très interdépendantes. L'activité agricole, qui utilise et travaille le sol, affecte certaines de ces fonctions. Les techniques sans labour (TSL)

ont un impact sur la préservation des sols et de la biodiversité car elles modifient le fonctionnement du sol.

Diverses menaces pèsent sur les sols : **l'érosion, la diminution des teneurs en matière organique, la contamination, l'imperméabilisation, le tassement du sol, la diminution de la biodiversité, la salinisation et les inondations et glissements de terrain.** Les TSL sont susceptibles d'avoir un impact sur six (en gras) de ces huit menaces.

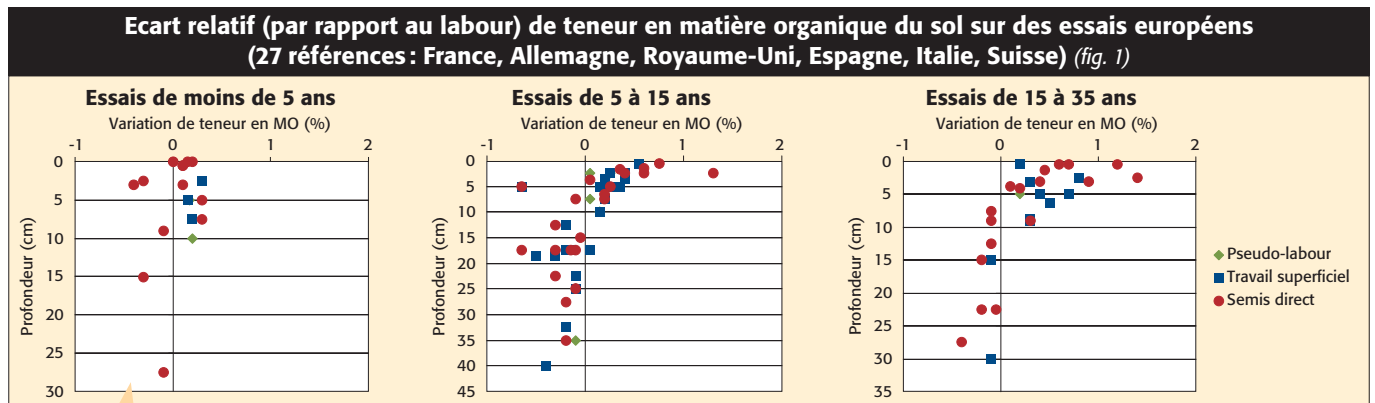
La matière organique localisée en surface

La matière organique joue un rôle central dans le main-

tien des fonctions du sol : elle est la source de nourriture de la plupart des organismes du sol, contribue à la stabilisation de la structure, au stockage de l'eau et des cations, à l'adsorption d'éléments chimiques et, lorsqu'elle se minéralise, fournit des éléments minéraux indispensables à la croissance des plantes. La teneur en matière organique est très variable à l'échelle du territoire français en fonction de facteurs pédo-climatiques et des pratiques agricoles. L'évolution de la teneur en matière organique du sol (MOS) résulte de l'équilibre entre les apports (biomasse végétale, effluents...) et les pertes par minéralisation (et éventuel-

sans labour

des sols et la biodiversité



Sous TSL, la teneur en matière organique du sol augmente en surface et diminue en profondeur.

lement par érosion). C'est un processus lent, mais sensible aux pratiques agricoles: il est souvent constaté une décroissance de la teneur en MOS lors de la mise en culture.

Les TSL augmentent la teneur en MOS (figure 1), mais la vitesse et la durée de cette augmentation sont extrêmement variables. En fait, la teneur en matière organique n'augmente pas sur l'ensemble de la couche arable, mais essentiellement en surface. Cette augmentation s'arrête lorsqu'un nouvel équilibre est atteint entre apports et pertes de MOS, en 10 à 20 ans selon les estimations. Le positionnement en surface lui permet de jouer des rôles essentiels dans le fonctionnement de l'agrosystème: protection de la surface du sol (écran, stabilisation des agrégats), qui diminue sa sensibilité aux agressions (érosion...), abri et nourriture pour les organismes de surface (lombriciens, arthropodes, gastéropodes...), surface d'échange sol/air/eau pouvant favoriser les fonc-

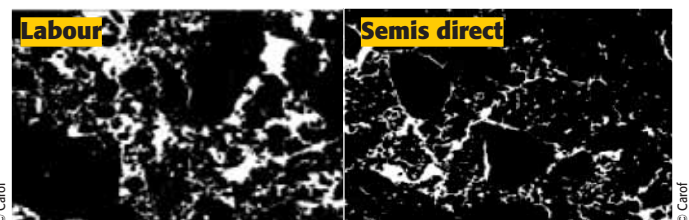
tions de transformation et de filtrage du sol.

Outre un changement de localisation, les TSL contribuent à augmenter le stock de carbone du sol par des apports de matières organiques (résidus de culture, cultures intermédiaires), mais surtout par un ralentissement de la minéralisation.

La porosité modifiée à long terme

Les TSL ont également un impact sur la porosité du sol: elles modifient l'équilibre entre les processus qui créent de la porosité (d'origine mécanique, climatique ou biologique) et ceux qui la détruisent (comportement des agrégats sous l'action d'une contrainte mécanique) (figure 2).

La création de porosité d'origine mécanique par le travail du sol peut être très variable selon les systèmes de TSL: encore très forte en pseudo-labour, mais pratiquement inexistante en semis direct. La création de porosité d'origine climatique résulte de l'interac-

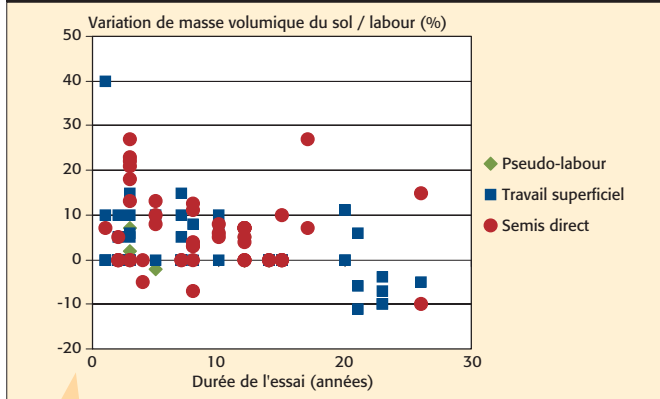


▲ Les TSL modifient l'architecture porale (pores en blanc, matrice du sol en noir) ce qui a des conséquences sur les flux d'eau, d'air, de chaleur et sur l'habitat des organismes du sol.

tion entre les propriétés du sol (notamment son taux d'argile) et le climat: alternances humectation/dessiccation ou gel/dégel créant des fissures dans les agrégats, ce qui aug-

mente la porosité. Enfin, l'activité biologique dans le sol (notamment des lombriciens) renforcée en TSL peut contribuer très efficacement à créer de la porosité (figure 3).

Ecart relatif (par rapport au labour) de masse volumique du sol (0-25 cm) sur des essais européens (26 réf. : France, Allemagne, Royaume-Uni, Espagne, Italie, Suisse) (fig. 2)



Les TSL peuvent entraîner une diminution de la porosité du sol (augmentation de sa masse volumique), mais dans 90 % des situations recensées dans les articles, ces variations sont faibles (inférieures à 10 %). À long terme, on observe même des situations où la porosité est plus forte en TSL.

La destruction de porosité du sol dépend de la contrainte mécanique exercée, de l'état du sol (notamment l'humidité) au moment où est appliquée cette contrainte et de la capacité des agrégats à résister à cette contrainte. Les TSL ont un impact à deux niveaux : sur la contrainte elle-même (diminution éventuelle du nombre de passages ou de la surface compactée) ; sur le comportement du sol face à cette contrainte.

Les TSL, par la diminution de fragmentation, l'augmentation des teneurs en matière organique et de l'activité biologique dans les premiers centimètres du sol, favorisent la préservation et la formation d'agrégats stables.

La diminution de porosité en TSL les premières années serait progressivement compensée par une porosité d'origine biologique, résultant de l'accroissement des populations de lombriciens notamment.

Les TSL conduisent généralement à une diminution de la porosité, qui est cependant variable selon l'horizon de sol considéré. En surface (0-5 cm), la porosité d'un sol

sous TSL peut être similaire, voire supérieure, à celle d'un sol équivalent labouré, en raison de la présence des résidus en surface et de l'augmentation des teneurs en matière organique. De même, plus en profondeur (20-30 cm), on peut observer la disparition progressive de l'ex-semelle de labour. La porosité évolue également au cours du temps. La diminution de porosité les premières années en raison de la diminution de la fragmentation du sol serait progressivement compensée par une porosité d'origine biologique, résultant de l'accroissement des populations de lombriciens notamment.

On observe donc en TSL un changement d'origine de la porosité, du mécanique au biologique. Cela ne se fait pas instantanément car, si la création de porosité par les outils de travail du sol est immédiate, la création de porosité d'origine biologique nécessite le développement des populations de lombriciens qui peut prendre plusieurs années. L'agriculteur doit donc gérer une période de transition qui peut être délicate, notamment pour l'enracinement de certaines cultures comme le maïs. Cela le conduit souvent

à avancer par étape, avec une diminution progressive de la profondeur de travail du sol par exemple ou le recours à un décompactage occasionnel en fonction de l'évolution de l'état physique du sol. Ces changements de porosité totale et d'architecture porale en TSL modifient profondément le comportement et le fonctionnement des sols (portance, flux d'eau, de gaz, de minéraux...) ainsi que la milieu de vie des organismes du sol.

La biodiversité favorisée par les TSL

Augmentation du taux de matière organique, présence d'un couvert donc de nourriture en surface, modification de l'habitat... les TSL contribuent généralement à augmenter l'abondance des organismes du sol, leur diversité et leur activité, mais les résultats sont très variables selon les organismes et les situations. Le sol est l'habitat d'une grande variété et d'une grande quantité d'organismes vivants, qui jouent des rôles essentiels dans le maintien des propriétés et des fonctions des sols : cycle des éléments, décomposition de la matière organique, dégradation des polluants, brassage et organisation structurale du sol, réservoirs d'éléments nutritifs... La biodiversité des organismes vivants du sol est donc considérée comme une propriété à maintenir pour garantir une meilleure stabilité des écosystèmes aux perturbations.

Les micro-organismes jouent un rôle important dans la dynamique de la matière organique, la fertilité des sols et la stabilisation de la structure du sol. Pour les invertébrés, leur rôle dépend de leur taille et de leur niveau d'interaction avec les micro-organismes :

- la microfaune prédatrice de bactéries et de champignons et leurs prédateurs : des bactéries, des champignons, des protozoaires, des nématodes



▲ La présence de résidus dans les horizons superficiels constitue une nourriture pour les organismes du sol, favorisant ainsi la porosité biologique.

Six articles pour faire le point

Les impacts environnementaux des Techniques Sans Labour (TSL) engendrent des débats passionnés. Face aux questions soulevées, huit organismes se sont associés pour faire le bilan des connaissances disponibles. Les résultats ont été présentés lors d'un colloque le 23 octobre 2007 à Paris. Après une définition des TSL dans notre numéro de février, cet article sera suivi de cinq autres. L'ensemble de l'étude « Evaluation des impacts environnementaux des Techniques Sans Labour en France » (environ 400 pages) est disponible sur Internet à l'adresse suivante : <http://www2.ademe.fr>, rubrique « sites pollués et sols »/Publications.



© L. Fayolle, INRA

et quelques araignées. Ce premier ensemble est peu impliqué dans la modification de la porosité du sol, mais joue un rôle significatif dans la régulation des micro-organismes et la libération des nutriments immobilisés par ces micro-organismes.

- le deuxième ensemble, les transformateurs de litières, est composé de la mésofaune et des grands arthropodes; ces organismes créent des structures organiques au sein d'associations mutualistes avec des micro-organismes et libèrent des acides organiques impliqués dans l'altération minérale.

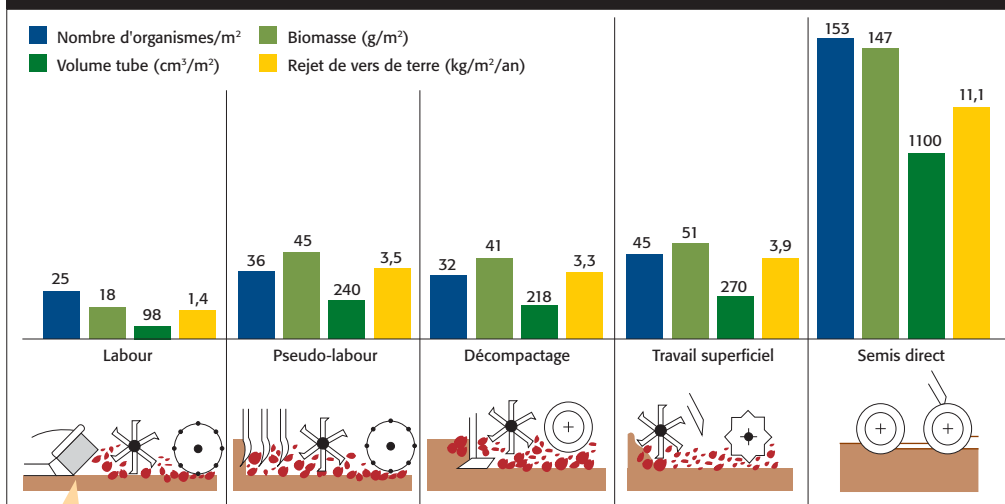


La biodiversité des organismes vivants du sol est une propriété à maintenir pour garantir une meilleure stabilité des écosystèmes aux perturbations.

- enfin, les ingénieurs de l'écosystème (les vers de terre et dans une moindre mesure les fourmis) forment, en association avec des bactéries, des structures organo-minérales et construisent des réseaux de galeries qui ont un rôle déterminant dans les processus de transfert et la porosité du sol (*figure 3*).

Cette approche fonctionnelle de la biodiversité peut être complétée par une approche spatiale car les TSL induisent des gradients verticaux de répartition des ressources nutritives et des conditions d'habitat. Par exemple, pour les vers de terre, on peut distinguer les vers épigés, évoluant en surface et fortement influencés par les teneurs en matière organique, les endogés, vivant en profondeur et essentiellement géophages, et les anéciques évoluant sur tout le profil de sol.

Abondance et activité des lombriciens en fonction du travail du sol (d'après Tebrügge) (fig. 3)



La présence de vers de terre est beaucoup plus abondante (2 à 7 fois plus) en semis direct qu'en labour.

Les TSL modifient l'habitat de la faune du sol

Les TSL ont un impact sur plusieurs composantes de l'habitat des organismes du sol: la porosité, la présence d'un mulch en surface, le flux d'air et d'eau, l'humidité. Concernant la porosité, la diminution de la taille des pores affecte les organismes en fonction de leur taille: la diminution de la macroporosité en semis direct aboutirait à une diminution des zones de refuge pour les parasites de grande taille, qui sont donc plus exposés aux prédateurs ou aux pesticides. La formation d'un mulch en surface sous TSL constitue un abri pour la faune édaphique, notamment vis-à-vis de la sécheresse, mais aussi pour la faune épigée comme les vers de terre épigés ou les limaces. Quant aux flux d'air, la diminution de l'oxygénation des sols est un des éléments expliquant la diminution des taux de minéralisation sous TSL.

Les TSL évitent également la perturbation du biotope, ce qui favorise le développement des champignons du sol et de la faune créatrice de galeries et évite la destruction des nids d'oiseaux, ce qui peut contribuer à la restauration des populations avifaunes.

Enfin, la nouvelle répartition de la matière organique en surface modifie l'ensemble de la chaîne alimentaire des sols. On constate une augmentation en surface de la biomasse microbienne de + 30 à + 100 %. En revanche, la biomasse microbienne est parfois moins importante en profondeur. L'augmentation de la biomasse microbienne

dans les premiers centimètres du sol se traduit souvent par une augmentation de l'activité microbienne: augmentation de la respiration du sol, de la minéralisation de l'azote et de différentes activités enzymatiques.

Les TSL favorisent également le développement des décomposeurs (mésafaune et macrofaune). Des résultats contradictoires sont constatés au niveau des prédateurs, notamment des nématodes, et des acariens prédateurs (mésostigmates). D'une manière générale, les TSL modifient la biodiversité de la faune du sol. L'augmentation des densités d'arthropodes et de vers de terre est susceptible de

favoriser le développement de leurs prédateurs et notamment des oiseaux. L'augmentation de la densité et de la diversité des espèces nicheuses sous TSL a notamment été observée aux États-Unis et au Royaume-Uni.

▶ À travers la biodiversité, c'est toute la dynamique des populations qui est modifiée par un changement des pratiques culturales.

Les modifications de densité de population d'une espèce considérée sont susceptibles de modifier l'ensemble de la dynamique des populations, le développement d'espèces d'un niveau trophique entraînant des modifications pour le niveau trophique supérieur. Par exemple, les TSL peuvent dans certaines conditions conduire à l'augmentation de la pression parasitaire, mais également à une augmentation des prédateurs de ces parasites. Le développement d'une population de prédateurs peut avoir des effets contradictoires. Par exemple, le développement des rongeurs peut avoir un impact négatif sur le rendement de culture, mais pourrait réguler la pression parasitaire. Des dynamiques de population contrastées peuvent également être observées au cours de la saison de culture. L'interaction



© N. Comtec

Les TSL modifient profondément les systèmes de sols et nécessitent que l'agriculteur intègre ces bouleversements dans la conduite des cultures. ▶

entre l'effet du non labour et les traits de vies des espèces pourrait être à l'origine de la complexité des dynamiques de population observées.

Apprivoiser les modifications du sol

L'impact de ces modifications de biodiversité sur la fertilité des sols reste difficile à déterminer et les relations entre la biodiversité et la dynamique de la matière organique ne sont pas clairement établies en raison de la superposition des processus chimiques et physiques aux processus biologiques. En revanche, les conséquences de variations de la biodiversité sous TSL sont avérées au niveau de la structure du sol qui est améliorée par le développement en surface de l'activité des micro-organismes et des vers de terre.

Les TSL modifient profondément le système sol, dans un sens plutôt favorable aux

écosystèmes, et parfois défavorable pour l'agriculteur, qui doit gérer de nouveaux problèmes (adventices, prédateurs...) (tableau 1). Ces évolutions du sol posent problème quand elles conduisent à utiliser plus de produits phytosanitaires. L'enjeu est de comprendre ces modifications pour utiliser les nouvelles régulations biologiques, afin de maintenir la fonction de production tout en limitant l'usage des intrants et en fournissant des services écologiques. Evaluer les impacts des TSL nécessite d'étudier l'articulation entre une dynamique d'évolution de l'agrosystème et un processus d'innovation et d'apprentissage conduisant à un changement continu des pratiques. L'accompagnement de ce processus est sans doute une des clés pour que les TSL contribuent, parmi d'autres innovations, à la durabilité et à la résilience des systèmes agricoles. ■

Impact des TSL sur les fonctions du sol (tab. 1)

Indicateurs	Production	Stockage, filtration, transformation	Habitat et biodiversité
Teneur en MO du sol	Fertilité, structure, érosion, rétention d'eau	Surface d'échange, stockage C et eau, rétention polluants	Nourriture, protection
Porosité	Continuité porale, biopores, enracinement		Selon espèces, continuité porale
Stabilité des agrégats	Structure, érosion, battance, ruissellement	Battance, érosion	Battance, érosion
Résistance du sol	Portance		
Conductivité hydraulique	Infiltration	Infiltration, écoulement préférentiel	Humidité
Température	Réchauffement		
Macro-éléments	MOS, minéralisation		
Flore	Adventices		Abondance, diversité
Faune	Structure, fertilité, bioagresseurs, auxiliaires	Activité biologique	Abondance, diversité
Micro-organismes	Structure, fertilité	Activité biologique en surface	

Les TSL modifient profondément le fonctionnement du sol dans un sens plutôt positif (en noir) ou plutôt négatif (en rouge) pour les trois grandes fonctions du sol.