

Sciences Eaux & Territoires

La revue d'Irstea

Article hors-série numéro 30

Adapter les pratiques agricoles aux différentes conditions pédoclimatiques : un outil pour agriculteurs et conseillers

Nadine TURPIN, Éric PERRET, Hein TEN BERGE, Tommy D'HOSE et Frits VAN EVERT

www.set-revue.fr



Sciences Eaux & Territoires, la revue d'Irstea

Article hors-série numéro 30 – 2016

Directeur de la publication : Jean-Marc Bournigal

Directeur éditorial : Nicolas de Menthière

Comité éditorial : Daniel Arnault, Louis-Joseph Brossollet, Denis Cassard, Camille Cédra, Thomas Curt, Alain Dutartre, André Évette, Véronique Gouy, Alain Hénaut, Bruno Héroult, Ghislain Huyghe, Emmanuelle Jannès-Ober, Cédric Laize, Jean-Michel Laya, André Le Bozec, Alette Maillard, Thierry Mougey, Christel Prudhomme, Christian Romaneix pour le CINOVTEN et Michel Vallance.

Rédactrice en chef : Caroline Martin

Secrétariat de rédaction et mise en page : Valérie Pagneux

Infographie : Françoise Peyriquer

Conception de la maquette : CBat

Contact édition et administration : Irstea-DP2VIST

1 rue Pierre-Gilles de Gennes – CS 10030

92761 Antony Cedex

Tél. : 01 40 96 61 21 – Fax : 01 40 96 61 64

E-mail : set-revue@irstea.fr

Numéro paritaire : 0511 B 07860 – Dépôt légal : à parution – N°ISSN : 2109-3016

Photo de couverture : © Jean-Marc Le Bars (Irstea)



Adapter les pratiques agricoles aux différentes conditions pédoclimatiques : un outil pour agriculteurs et conseillers

Les pratiques agricoles qui réduisent la quantité de carbone dans le sol peuvent perturber son activité microbienne, modifier sa structure, et sa capacité à fournir eau et nutriments aux cultures. Elles peuvent aussi limiter la capacité des sols agricoles à lutter contre le changement climatique. Le projet de recherche européen Catch-C s'est interrogé sur la capacité des pratiques agricoles alternatives à limiter ou contrebalancer ces problèmes. À partir des premiers résultats de l'analyse des effets de différentes pratiques en Europe, cet article nous présente la conception d'un outil d'aide à la décision pour les acteurs du monde agricole qui résume les avantages et inconvénients de ces modèles alternatifs, propose des recommandations validées scientifiquement, pour tendre vers une gestion durable des sols agricoles, sur lesquelles de futures politiques pourront se reposer.



Depuis plus de vingt ans, de nombreuses actions incitatives ont vu le jour pour imaginer des pratiques agricoles répondant au triple défi d'assurer un niveau de vie pour les agriculteurs similaire au reste de la population, de préserver les ressources naturelles exploitées par l'agriculture et de fournir des services écosystémiques locaux (biodiversité, paysage) ou à échelle plus globale en participant à l'atténuation du changement climatique.

Parmi les ressources naturelles utilisées par l'agriculture, le sol figure en bonne place en tant que support du système cultivé et prairial (photo ①). Il joue également un rôle non négligeable comme puit ou source de gaz à effet de serre, selon la façon dont il est géré. Mais tous les essais à très long terme de par le monde indiquent une altération de la qualité des sols et de sa fertilité en lien avec une diminution du stock de carbone organique du sol en système cultivé. Or, la matière organique du sol conditionne en grande partie ses propriétés physiques : elle permet une meilleure stabilité des agrégats, augmente la microporosité, diminue la densité apparente et offre ainsi une meilleure pénétration aux racines, et dans certains cas, améliore également la conductivité hydraulique (Reeves, 1997).

Les pratiques agricoles les plus couramment utilisées pour améliorer la qualité du sol et sa teneur en matière organique sont une réduction de la profondeur de labour, l'implantation d'engrais verts, l'incorporation des résidus de récolte et la substitution de la fertilisation minérale

par des engrais organiques. Ces pratiques participent toutes de ce que Horlings et Marsden (2011) qualifient d'« intensification écologique », par opposition aux innovations visant à faire reposer l'agriculture sur la biodiversité, dans leur distinction des possibilités de modernisation écologique de l'agriculture. Duru *et al.* (2015) reprennent et étendent cette distinction en insistant sur le caractère local des innovations nécessaires pour la seconde possibilité. Mais avant d'innover localement, il convient de mieux connaître les grandes lignes des processus et interactions en jeu. Or la littérature rapporte des effets différents des pratiques agricoles courantes sur les paramètres que sont la qualité physique, chimique et biologique du sol, le rendement des cultures et les émissions de gaz à effet de serre. Selon les effets recherchés, ces modifications ne sont pas toutes bénéfiques : Edmeades (2003) souligne ainsi qu'une augmentation de la porosité du profil peut accentuer la lixiviation, même si elle participe à réduire le ruissellement.

Le projet de recherche européen Catch-C s'est donné comme ambition de comparer ces effets en s'appuyant uniquement sur des expérimentations de long terme en Europe (au nombre de trois cents) et de traduire les résultats de la méta-analyse en un outil d'aide à la décision.

Après une rapide revue de littérature sur les effets de pratiques alternatives (pour une revue complète, voir Spiegel *et al.*, 2015), cet article présente les indicateurs retenus par le projet pour représenter ces effets, puis l'outil élaboré pour diffuser les connaissances ainsi rassemblées.



❶ Parmi les ressources naturelles utilisées par l'agriculture, le sol figure en bonne place en tant que support du système cultivé et prairial.

Les effets sur le sol des pratiques agricoles innovantes ne sont pas complètement connus

Les pratiques agricoles actuelles, qui reposent sur un labour avec inversion du profil de sol, une fertilisation essentiellement minérale et des assolements simplifiés, sont de plus en plus considérées comme étant un mode de production non durable. En particulier, au niveau du sol, ces techniques modifient le turn-over entre macro et micro-agrégats du sol et accroissent ainsi la vitesse d'oxydation du carbone organique, elles augmentent la macroporosité et donc la sensibilité du sol à la lixiviation des nutriments dissous, elles amplifient les échanges entre les pools de carbone et d'azote organiques dissous qui fournissent substrat et énergie aux microorganismes hétérotrophes.

Il existe de très nombreuses pratiques alternatives. Ainsi, bien adaptées à certains types de sols et zones climatiques, les techniques culturales simplifiées, en augmentant la stabilité des agrégats, limitent l'oxydation du carbone organique protégé dans les micro-agrégats. Associées avec une bonne gestion des résidus de récolte, elles participent à l'augmentation du carbone organique du sol, réduisent les émissions de CO₂ et accroissent la séquestration du carbone. Leur effet sur les émissions d'autres gaz à effet de serre et sur la circulation des nutriments dissous dans le sol est plus controversé et dépend largement des types de sols et du matériel employé.

Le type de rotation pratiqué et l'emploi d'engrais verts interagissent avec le mode de fertilisation pour influencer fortement sur la vitesse d'oxydation ou de séquestration du carbone organique dans le sol. Enfin, les amendements organiques ont une influence sur la séquestration du carbone qui peut persister des décennies après leur utilisation régulière. Employés de façon raisonnée, ils ne

provoquent pas de modifications de pertes de nutriments hors des parcelles. Cependant, ils induisent, par rapport à une fertilisation minérale, des modifications très complexes dans les processus du sol qui peuvent résulter, dans certaines conditions, à des émissions accrues de gaz à effet de serre.

Malgré le très grand nombre d'expérimentations en Europe, il n'existait jusqu'à présent pas d'analyse sur le long terme, des effets de chaque pratique sur l'ensemble des paramètres caractérisant le rendement des cultures, la qualité du sol et les émissions de gaz à effet de serre. C'est cette absence que le projet Catch-C (encadré ❶) s'est efforcé de pallier.

❶ LE PROJET CATCH-C

Catch-C est un projet du 7^e programme cadre de recherche européen (contrat n° 289782). Son objectif principal est de déterminer quels sont les modes de gestion les plus durables des sols agricoles, selon la zone climatique et le type d'exploitation. Pour cela, le projet a réalisé, entre 2012 et 2014 :

- une typologie des zones pédoclimatiques et des différents systèmes de production agricole en Europe ;
- une méta-analyse des résultats d'expérimentations de long terme, qu'ils soient publiés sous la forme d'articles scientifiques ou soient encore dans les laboratoires des partenaires du projet. Cette méta-analyse a permis de décrire les effets à moyen et long terme de plusieurs types de pratiques alternatives ;
- une enquête auprès de dix mille agriculteurs répartis selon les types précédemment définis, pour identifier les leviers et barrières à l'adoption de ces pratiques ;
- une analyse des dispositifs réglementaires, incitatifs et volontaires développés dans huit pays pour la protection de leurs sols agricoles.

Le projet a débouché sur des recommandations pour améliorer la prise en compte des sols agricoles dans les stratégies régionales, nationales et européennes. Tous les résultats sont disponibles en ligne sur le site du projet : <http://www.catch-c.eu/> et résumés sur le site français : <http://catch-c.irstea.fr/>.

Pour la quantification, le projet a défini un ensemble d'indicateurs de qualité des sols, de productivité des cultures, et de limitation des émissions de gaz à effet de serre pour appréhender les effets de ces options à court, moyen et long terme (exprimés en effets négatifs, neutres ou positifs) :

- indicateurs d'atténuation du changement climatique :
 - limitation des émissions de CH₄, CO₂, N₂O,
 - évolution du stock de carbone organique,
- indicateurs de productivité des cultures :
 - assimilation d'azote,
 - efficacité de l'utilisation d'azote,
 - excès d'azote,
 - rendement,
- indicateurs de qualité biologique du sol :
 - bactéries,
 - biomasse microbienne,
 - biomasse de vers de terre, nombre de vers de terre,
 - nématodes selon le type (bactérivores, fongivores, parasites des plantes),
 - champignons,
- indicateurs de qualité chimique du sol :
 - ratio C/N,
 - Ph-KCl,
 - phosphore assimilable,
 - potassium assimilable,
 - azote : stock d'azote total, teneur en azote minéral, teneur en azote total,
 - teneur en carbone organique du sol,
- indicateurs de qualité physique du sol :
 - densité apparente,
 - perméabilité,
 - stabilité des agrégats,
 - ruissellement et pertes de sédiments.

En général, les pratiques alternatives retenues (encadré ②), comparées aux pratiques courantes, améliorent la qualité des sols sur plusieurs paramètres. Cependant, dans de très nombreux cas, cette amélioration s'accompagne d'effets défavorables sur d'autres paramètres, comme des diminutions de rendement ou des émissions accrues de gaz à effet de serre. Les conditions locales affectent fortement l'efficacité des pratiques alternatives, et parfois même le sens que l'on peut attribuer à leur impact (selon la zone climatique, elles ont un impact positif ou négatif).

② PRATIQUES ALTERNATIVES RETENUES DANS LE PROJET CATCH-C

- Cultures intermédiaires / Couvert végétal
- Engrais verts
- Épandage de compost
- Épandage de fumier de ferme
- Épandage de lisier
- Incorporation de résidus de cultures
- Non-labour
- Rotation cultures
- Techniques culturales simplifiées (TCS)

Les résultats de Catch-C confirment la littérature existante sur le fait que des successions culturales bien adaptées aux conditions locales de sols et de climat sont une condition préalable à une gestion durable. Introduire des cultures intermédiaires ou dérobées dans les rotations n'a montré que des effets positifs, ou au pire neutres, sur l'ensemble des indicateurs utilisés et dans toutes les zones pédoclimatiques.

L'emploi d'engrais organique est généralement bénéfique (parfois neutre) pour la qualité chimique, physique et surtout biologique des sols. Toutes les pratiques agricoles qui augmentent les apports de carbone sont, en moyenne, favorables au fonctionnement biologique du sol, et s'avèrent plus efficaces sur cette amélioration que la réduction des perturbations du sol dues au labour. Selon le système de production, l'augmentation de carbone organique du sol peut, ou pas, être considéré comme un stockage net ; malheureusement, cet effet est souvent contrebalancé par des émissions accrues de N₂O. Toutefois, la grande variabilité de la temporalité et de l'échelle des mesures ne permet pas de conclure de façon précise dans toutes les situations sur l'équilibre en équivalent carbone de ces effets opposés.

Les apports d'engrais organiques modifient également la dynamique de l'azote dans le sol. Utilisés seuls, en application raisonnée tenant compte de cette dynamique, les engrais organiques ont un effet neutre, parfois légèrement négatif sur le rendement. Le raisonnement des applications est indispensable pour limiter les effets négatifs de plus faible disponibilité de l'azote de ces engrais pour la plante et des pertes en azote, notamment par lixiviation. Les pratiques qui réduisent la profondeur de labour ont des effets contrastés. En général, le non-labour améliore légèrement la qualité biologique et chimique des sols. Les techniques culturales simplifiées ont des effets favorables sur la limitation d'émission de gaz à effet de serre et les indicateurs de qualité physique du sol. Toutefois, l'effet de ces techniques sur la qualité physique du sol dépend largement du système de production, surtout en climat méditerranéen.

Les facteurs de variation les plus importants que le projet Catch-C a relevés sont la zone climatique, la profondeur des mesures effectuées et surtout la durée d'expérimentation. Ainsi, la plupart des effets sur la productivité et la qualité du sol ne peuvent être mesurés de façon significative que sur les essais de dix ans et plus.

Diffuser les résultats obtenus pour aider la décision

Pour mettre le résultat de ces travaux à disposition des agriculteurs, de leurs conseillers, des étudiants et de leurs enseignants, ainsi que des décideurs publics qui nous ont souvent dit manquer de références fiables, les chercheurs du projet Catch-C ont élaboré un outil disponible en ligne (<http://knowsoil.catch-c.eu/KnowSoil/>) et en sept langues. L'outil, baptisé KnowSoil, est constitué de deux parties, permettant de répondre aux questions suivantes :

- quels sont les effets d'une pratique alternative sur les indicateurs mobilisés par le projet (figure ②) ? L'utilisateur peut filtrer une zone climatique particulière. En cliquant sur le smiley au croisement d'une pratique particulière et de l'indicateur choisi, il est fourni à l'utilisateur, une information plus détaillée ;

2 Première partie de Knowsoil : analyser les effets à long terme d'une pratique donnée. Pour chaque indicateur, représenté par un smiley, une information plus détaillée est fournie en ligne (en cliquant sur le smiley).

The screenshot shows the KnowSoil web application interface. On the left, there is a sidebar with various agricultural images and a list of indicators under different categories: Management practices, Indicators, Chemical soil quality, Climate change mitigation, Crop productivity, and Physical soil quality. Several indicators are checked, including 'Limitation des émissions de CH4', 'Limitation des émissions de CO2', 'Limitation des émissions de N2O', 'Stock de carbone organique', 'Rendement', and 'Stabilité des agrégats'. On the right, a table displays the results for 'Techniques culturales simplifiées (TCS)' across various indicators, represented by smiley faces.

	Bactéries	Biomasse de vers de terre	Biomasse microbienne	Limitation des émissions de CH4	Limitation des émissions de CO2	Limitation des émissions de N2O	Stabilité des agrégats	Stock de carbone organique
Techniques culturales simplifiées (TCS)	😊	😊	😊	😊	😊	🔴	😊😊	😊😊

La première partie de Knowsoil affiche, pour une pratique donnée, son effet à long terme sur un ensemble d'indicateurs sélectionnés par l'utilisateur. Le code couleur (vert : amélioration, rouge : dégradation) favorise la comparaison des effets attendus sur de nombreux critères, d'un seul coup d'œil. Si l'on clique sur un smiley, une explication des processus en jeu s'affiche.

3 Deuxième partie de Knowsoil : trouver une pratique permettant d'atteindre une combinaison d'objectifs fixés par l'utilisateur.

The screenshot shows the second part of the KnowSoil interface. The indicator selection sidebar is visible on the left. On the right, a table lists various agricultural practices and their effects on selected objectives: Factsheet, Stock de carbone organique, Rendement, and Stabilité des agrégats. Practices that have a positive or neutral effect (green smiley) are automatically checked in the 'Factsheet' column.

	Factsheet	Stock de carbone organique	Rendement	Stabilité des agrégats
Cultures intermédiaires / couvert végétal	<input checked="" type="checkbox"/>	😊	😊	😊
Épandage de fumier de ferme	<input checked="" type="checkbox"/>	😊	😊	😊
Non-labour	<input checked="" type="checkbox"/>	😊	😊	😊
Rotation des cultures	<input checked="" type="checkbox"/>	😊	😊	😊
Techniques culturales simplifiées (TCS)	<input checked="" type="checkbox"/>	😊	😊	😊

La seconde partie de Knowsoil propose, pour une sélection d'objectifs, les pratiques qui auront l'effet attendu (positif voire neutre) [sont cochées automatiquement les cases 0 et +]. Pour visualiser les effets négatifs des pratiques, l'utilisateur doit impérativement cocher la case correspondante (-).

• si l'on recherche tels effets combinés, quelles sont les pratiques à employer (figure 3) ? Chaque pratique analysée est accompagnée d'une fiche descriptive de quatre pages, qui résume les principaux résultats de Catch-C, fournit leurs références et précise les processus et les effets attendus sur l'ensemble des indicateurs.

À travers cet outil interactif, les pédologues du projet CATCH-C mettent à la disposition d'un large public, l'ensemble des connaissances sur les effets à long terme de pratiques agricoles alternatives sur les sols. La force de cet outil est de s'appuyer sur la synthèse des résultats d'expérimentations qui s'inscrivent sur le long terme, seules capables d'appréhender avec justesse les effets des pratiques agricoles sur les sols. Cette synthèse n'a été rendue possible que par la capitalisation des expérimentations au niveau européen et par l'utilisation d'une méthode capable de prendre la diversité des résultats obtenus dans les différents pays européens.

Toutefois, cet outil a encore plusieurs limites :

- la première tient à l'existence de trop peu d'essais à long terme. Actuellement, dans plusieurs situations, l'outil ne permet pas de distinguer d'effets différenciés sur toutes les zones climatiques européennes, faute de données ;
- de plus, les techniques développées récemment, comme de nouvelles variétés, des cultures associées, des semis sous couvert, des espèces peu utilisées, ne bénéficient pas encore de données avec un recul suffisant pour être incorporées (les effets ne sont pas significatifs) ;
- enfin, cet outil ne permet pas d'apprécier les effets globaux (additifs ou non) lorsque des pratiques sont combinées (par exemple techniques culturales simplifiées ET couvert végétal en hiver OU modification de la rotation).

Pour accroître son utilité, cet outil devra être enrichi par la fourniture, dans l'outil, d'informations plus courtes sur des essais très locaux ou en début d'expérimentation. De même, il serait intéressant d'associer à l'outil un espace pour laisser aux agriculteurs et à leurs conseillers la possibilité de s'exprimer sur leur expérience propre : une expérimentation à long terme suit un protocole fixe et inchangé sur plusieurs années, alors qu'un agriculteur ajuste son itinéraire technique aux variations qu'il observe et il n'est pas rare que des mesures en exploitations montrent, notamment sur le rendement, des effets de pratiques alternatives plus favorables qu'en ferme expérimentale. ■

Les auteurs

Nadine TURPIN

Direction Départementale des Territoires de la Sarthe, Service économie agricole, 19, Bd Paixhans, CS 10013, F-72042 Le Mans Cedex 9

✉ nadine.turpin@sarthe.gouv.fr

Éric PERRET^{1,2,3,4}

1. Irstea, UMR Métafort, CS 20085, F-63178 Aubière, France

2. AgroParisTech, UMR 1273, CS 70054, F-63178 Aubière, France

3. Université Clermont Auvergne, VetAgro Sup, UMR 1273, BP 35, F-63370 Lempdes, France

4. INRA, UMR 1273, F-63122 Saint-Genès Champanelle, France

✉ eric.perret@irstea.fr

Hein TEN BERGE

WageningenUR, Plant Research International B.V., Business Unit Agrosystems Research, PO Box 16, 6700 AA Wageningen, Pays-Bas

✉ hein.tenberge@wur.nl

Tommy D'HOSE

Institute for Agricultural and Fisheries Research, Plant Sciences Unit, Crop husbandry and environment, Burg. van Gansberghelaan 109, 9820 Merelbeke, Belgique

✉ tommy.dhose@ilvo.vlaanderen.be

Frits VAN EVERT

Plant Research International, Wageningen University and Research Centre, PO Box 616, 6708 AP Wageningen, Pays-Bas

✉ frits.vanevert@wur.nl

Remerciements

Cet article a bénéficié du soutien financier de l'Union européenne via le projet Catch-C (Grant Agreement N° 289782) du septième programme cadre, thème 2 – Biotechnologies, agriculture et alimentation. Son contenu ne représente pas une position officielle de la Commission et reste sous l'entière responsabilité de ses auteurs.

EN SAVOIR PLUS...

📖 **CUCHERAT, M., BOISSET, J.-P., LEIZOVICZ, A.**, 1997, *Manuel pratique de méta-analyses des essais thérapeutiques*, 386 p., <http://www.spc.univ-lyon1.fr/livreMA>

📖 **DURU, M., THEROND, O.**, 2015, Designing agroecological transitions; a review, *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), p. 1237-1257.

📖 **EDMEADES, D.C.**, 2003, The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: a review, *nutrient cycling in Agroecosystems*, 66(2), p. 165-180.

📖 **HORLINGS, L.G., MARSDEN, T.K.**, 2011, Towards the real green revolution? Exploring the conceptual dimensions of a new ecological modernisation of agriculture that could 'feed the world', *Global environmental change*, 21(2), p. 441-452.

📖 **SPIEGEL, H., ZAVATTARO, L., GUZMÁN, G., D'HOSE, T., PECIO, A., SCHLATTER, N., TEN BERGE, H., GRIGNANI, C.**, 2014, *Impacts of soil management practices on crop productivity, on indicators for climate change mitigation, and on the chemical, physical and biological quality of soil. Catch-C "Compatibility of Agricultural Management Practices and Types of Farming in the EU to enhance Climate Change Mitigation and Soil Health"*, www.catch-c.eu, 44 p.