

# Le non-labour en grandes cultures et élevage : évaluations environnementale et économique à l'aide de la marge directe et des indicateurs Deltameq® et Indigo®

Loïc Le Garrec et Alain Revel

*Les techniques de conservation des sols (TCS) tendent à se développer en France comme alternative au labour et leur évaluation agri-environnementale préoccupe de plus en plus les agriculteurs et leurs prescripteurs. Cet article restitue les principales étapes et résultats d'une étude comparant les TCS et le labour dans 20 exploitations de grandes cultures et 16 exploitations de polyculture-élevage. Après une description des indicateurs mis en œuvre et des systèmes de cultures étudiés, les auteurs présentent et commentent les résultats des comparaisons réalisées à la parcelle.*

Les techniques de conservation des sols (TCS)<sup>1</sup> ou techniques culturales sans labour (TCSL) selon la nouvelle terminologie proposée par l'ITCF ARVALIS-Institut du végétal et présentée lors du colloque CORPEN à l'amphithéâtre du MEDD le mercredi 31 mars 2004, sur « Les techniques culturales sans labour : impacts économiques et environnementaux » (voir en particulier la communication d'Alain Revel, « Bilan de suivi d'un réseau TCSL ») se réfèrent à plusieurs pratiques agricoles

dont l'objectif principal est la gestion du sol en altérant aussi peu que possible sa composition, sa structure, sa biodiversité naturelle et le préservant de l'érosion et de la dégradation. Une grande diversité de techniques et de mise en œuvre existent dans le monde, allant, par exemple, du travail superficiel du sol en conservant en surface les résidus végétaux mais sans mise en place de culture intermédiaire jusqu'au système de semis direct sous couvert d'une culture vivante (photos 1, 2, 3 et 4).

1. Outre le fait qu'elles se substituent au labour classique, les TCS se réfèrent à une grande diversité de techniques et de mise en œuvre d'implantation des cultures et de gestion des successions culturales, allant par exemple, du travail superficiel du sol avec conservation en surface des résidus végétaux mais sans mise en place d'interculture, jusqu'au système de semis direct sous couvert d'une culture vivante.



◀ Photos 1 à 4 – Différents outils de TCS (source : Barbier et Chevrier, 2002 et Horsch).

- Photo 1 – Semoir à disques de semis direct évoluant sur un sol à faible quantité de chaumes de blé .
- Photo 2 – Semoir à disques de semis direct évoluant sur un sol couvert de résidus de maïs grain.
- Photo 3 – Semoir à cultivateur rotatif avec semis dans le flot de terre.
- Photo 4 – Semoir à disques de semis direct sur un couvert vivant de graminée.

## Les contacts

Unité mixte de recherche Économie publique INRA-INA  
Paris Grignon,  
BP 01,  
78850 Thiverval  
Grignon

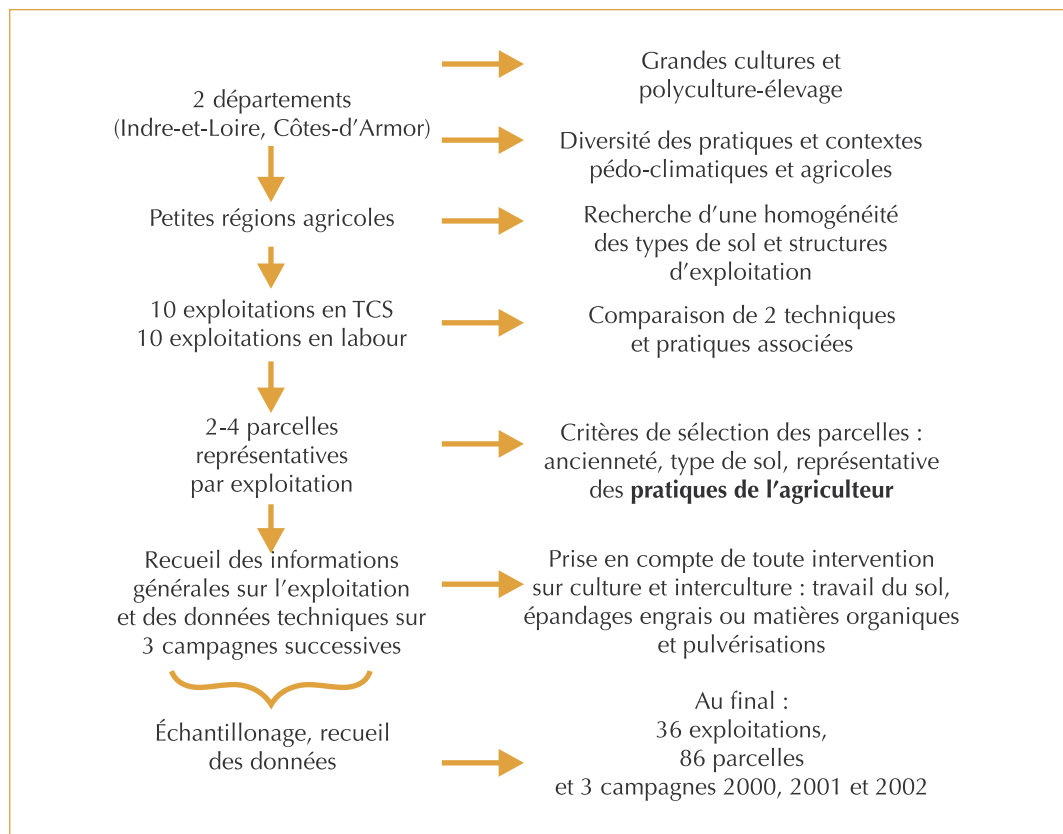
2. SCOP : surface totale implantée en céréales, oléagineux et protéagineux en France.

Après quelques balbutiements en France dans les années 1970 et 1980, une dynamique de développement des TCS s'est mise en place. Les surfaces représenteraient quelques 2,5 millions d'hectares (soit 14 % de la SCOP nationale<sup>2</sup>) non labourés dans l'année (ECAF, 2003). Ce développement en Europe est récent et reste encore limité comparativement à d'autres pays comme le Brésil, les États-Unis ou encore l'Argentine et l'Australie, comme en témoignent les 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> congrès mondiaux sur l'agriculture de conservation à Madrid en 2001 et à Iguazu en 2003 (Le Chatelier, 2003a et b). Les raisons sont historiques avec des motivations, incitations économiques et institutionnelles moins fortes et des freins psychologiques, agronomiques (désherbage, structure du sol) pour les agriculteurs français et plus généralement européens.

Mais depuis quelques années, les TCS sont de plus en plus citées pour le rôle compensateur qu'elles pourraient jouer, par exemple pour faire face à la diminution des prix des céréales (Rieu, 2001) et à la nécessité de réduire les temps de travail de mécanisation ; leur rôle est aussi cité comme

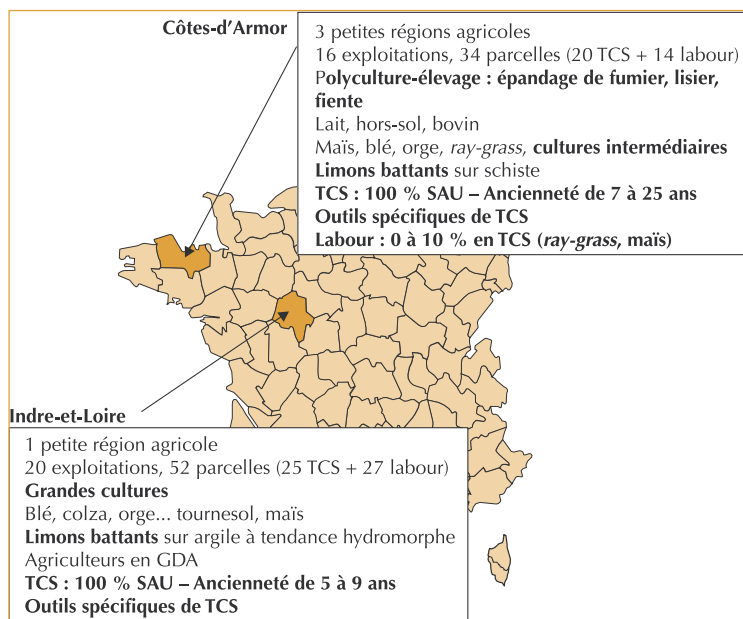
technique de conservation du patrimoine sol : lutte contre l'érosion, conservation ou amélioration de la fertilité et de la biodiversité (Tebbrügge, 1999 ; Garcia-Torres *et al.*, 1999), ou encore dans la maîtrise des émissions de gaz à effet de serre (Arrouays *et al.*, 2002). Toutefois, les potentiels économiques et environnementaux de ces techniques encore novatrices, appliquées avec succès dans les divers contextes pédo-climatiques et agricoles français, sont encore à l'étude et les pouvoirs publics en phase d'observation. Aussi y a-t-il un réel besoin d'acquisition de connaissances et d'informations pour les agriculteurs, les conseillers et prescripteurs qui sont demandeurs de références technico-économiques et agri-environnementales des techniques compatibles et adaptables à leurs conditions pédo-climatiques locales.

C'est pourquoi en 2001, l'association pour la promotion de l'agriculture durable a lancé, en collaboration avec le laboratoire de l'UMR d'économie publique de l'INRA de Versailles-Grignon et Arvalis-Institut du végétal, sur une durée de trois ans, une étude financée par le



► Figure 1 – Schéma descriptif de la démarche d'échantillonnage et de recueils de données (Le Garrec, 2003).

projet européen « LIFE Project 99/E/308, *Coordination of activities and action of transfers of technology for the reduction in erosion, water pollution and emissions of CO<sub>2</sub> caused by European agriculture* ». L'originalité de cette étude est d'appliquer une double approche économique et environnementale sur un réseau de parcelles menées en TCS et en labour, à l'aide d'indicateurs agri-environnementaux (méthode Indigo®) et de données technico-économiques, et permet de mesurer la diversité des pratiques en TCS telles qu'elles sont mises en œuvre par les agriculteurs dans différentes situations pédo-climatiques et orientations agricoles françaises. Pour réaliser cette évaluation, nous avons mis en œuvre les indicateurs agri-environnementaux de la méthode Indigo® développés par Girardin et Bockstaller de l'INRA de Colmar. Au lancement de l'étude en 2001, le choix de la méthode Indigo® (Chevrier et Barbier, 2002) a été fait parmi les principales méthodes d'évaluation agri-environnementales existant en France : IDEA (ministère de l'Agriculture, École de Rambouillet), Indigo® (INRA de Colmar), DIAGE (coopératives), DIALECTE (bureau d'étude Solagro et chambre régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées), ARBRE (Confédération paysanne). Le logiciel Deltameq® créé par Arvalis-Institut du végétal a été utilisé pour faciliter et uniformiser le calcul des charges de mécanisation. L'étude a porté sur de petites régions agricoles de l'Indre-et-Loire et des Côtes-d'Armor, afin de traiter de la simplification du travail des sols dans une région de grandes cultures en zone intermédiaire du sud du bassin parisien et dans une région de polyculture élevage où est couramment pratiqué l'épandage d'engrais de ferme et les cultures intermédiaires d'hiver. Compte tenu de la poursuite sur trois ans de la campagne d'observations, une mise en commun des résultats des trois campagnes 2000, 2001 et 2002 a été effectuée, afin d'augmenter les effectifs, la variabilité et de considérer les variabilités inter-annuelles. La démarche générale d'échantillonnage et de recueil des données est présentée sur la figure 1. L'échantillon est présenté dans le tableau 1 et sur la figure 2.



Pour répondre aux contraintes spécifiques de l'étude (relativement faible effectif des observations réalisées chaque année dans chaque petite région agricole, distribution parfois étalée des données due à la grande diversité des itinéraires techniques pratiqués tant en TCS qu'en labour), c'est la médiane des mesures de chaque catégories (TCS et labour) qui a finalement été retenue pour caractériser le groupe d'observations. Aucun autre outil statistique n'a été utilisé (écart type ou variance), car les résultats obtenus à partir de l'analyse des écarts extrêmes et des médianes est apparu suffisant pour caractériser les deux échantillons. Bockstaller a précisé qu'un demi-point de note d'écart sur une note maximale de 10, soit 5 %, serait significatif sur les indicateurs agri-environnementaux. Sur les indicateurs technico-économiques, nous avons considéré comme significativement différent des médianes variant de 10 %.

▲ Figure 2 – Présentation des systèmes de cultures et contextes de l'échantillon étudié (Le Garrec, 2003).

Indre-et-Loire	Côtes-d'Armor
20 exploitations : 10 en TCS et 10 en labour 52 parcelles : 25 en TCS et 27 en labour 3 couples culture/précédent étudiés : – blé d'hiver précédent colza, – blé d'hiver précédent céréales à paille, – colza précédent céréales à paille.	16 exploitations : 9 en TCS et 7 en labour 34 parcelles : 20 en TCS et 14 en labour 2 couples culture/précédent étudiés : – blé d'hiver précédent maïs, – maïs précédent céréales à paille.

◀ Tableau 1 – Caractéristiques de l'échantillon utilisé.

Dans la première partie de cet article, nous décrivons les indicateurs agri-environnementaux et technico-économiques mis en oeuvre. Dans un deuxième temps nous décrivons les systèmes de cultures étudiés en TCS et en labour. Les troisièmes et quatrièmes parties présentent les résultats à la parcelle de la comparaison des indicateurs économiques puis environnementaux entre TCS et labour. Enfin, les conclusions portent sur la poursuite de cette comparaison en la prolongeant dans le temps et en enrichissant la batterie d'indicateurs utilisés.

## Outils méthodologiques utilisés

### Les indicateurs agri-environnementaux de la méthode Indigo®

Pour chaque pratique culturale (gestion des pesticides, de l'eau, des fertilisants, de la matière organique...), les effets sur les composantes environnementales qui interviennent dans la caractérisation de la durabilité du milieu ont été estimés : préservation de l'eau, des sols et de l'air, préservation des ressources non renouvelables (énergie fossile, matières premières) et des ressources biotiques (faune, flore) et la protection

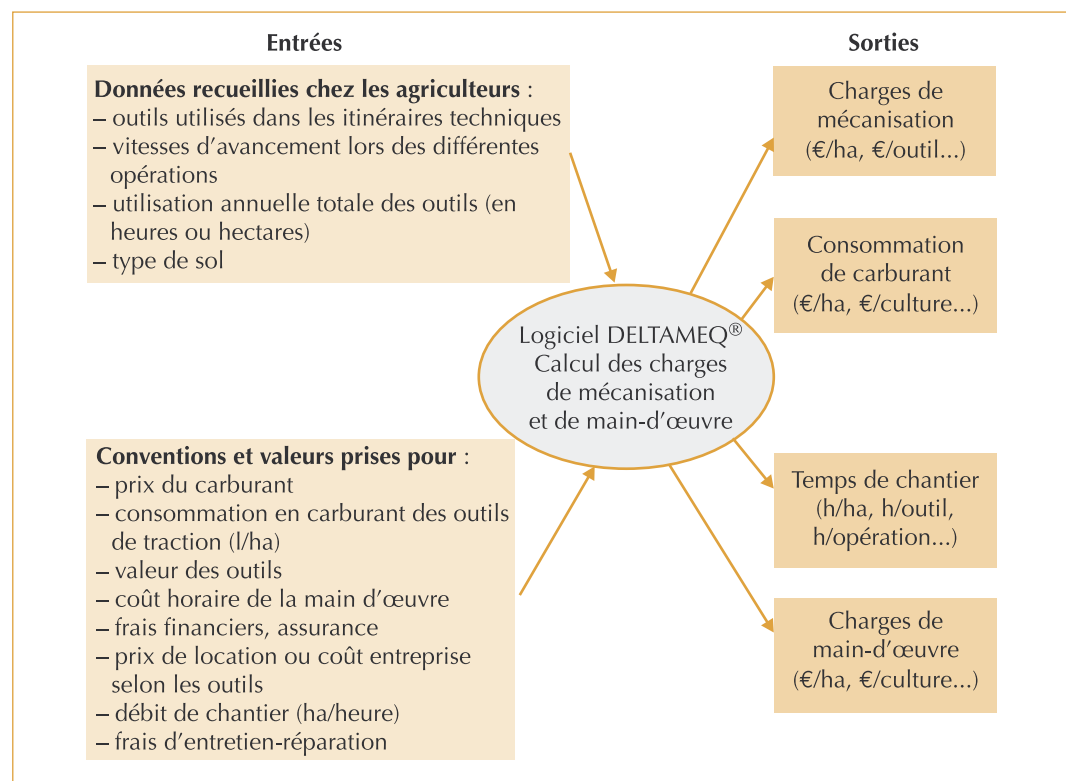
des paysages. La méthode Indigo® est actuellement la méthode la plus complète, intégrant précisément les éléments des itinéraires techniques et de nombreux compartiments de l'environnement (air, sol, eau...) (Bockstaller *et al.*, 1997).

Les variables d'entrée pour le calcul des indicateurs ne sont pas des mesures directes de terrain mais des données obtenues par enquête auprès des agriculteurs (encadré 1) et un paramétrage local (bilans hydriques hivernal et printanier, températures moyennes annuelles).

#### Encadré 1

##### Type de données récoltées sur les parcelles (source : Bockstaller *et al.*, 2002a)

- **Caractéristiques** (pente, texture, profondeur...).
- **Historique** (cultures principales et intermédiaires, rendement, gestion des résidus, apports de matière organique...).
- **Culture en place** (rendement, date de semis, apport d'engrais, traitements phytos, passages d'outils...).
- **Interculture** (type, destruction mécanique ou chimique).



► Figure 3 – Entrées et sorties du logiciel Deltameq® développé par Arvalis-Institut du végétal (Le Garrec, 2003).

Les indicateurs agri-environnementaux, divisés en sous-indicateurs (encadré 2), se présentent sous forme d'indices variant de 0 à 10, zéro étant la note faible et 10 « la meilleure note ». Pour cette étude, cinq indicateurs ont été mis en œuvre : succession culturale (I-SC), matière organique (I-MO), azote (I-N), phytosanitaires (I-PHY), énergie (I-En). La valeur de référence 7 est déterminée à partir de résultats et recommandations émises par des travaux de recherche ou groupes de travail (par exemple : Rémy et Martin-Pêcheur en 1974 pour I-MO, Arvalis pour I-SC et le CORPEN pour I-N).

### Les indicateurs technico-économiques

Les indicateurs suivants sont adaptés à l'échelle de la parcelle, permettant de comparer des techniques culturales différentes et de donner des indications sur la rentabilité économique.

– **Marge Brute hors fuel (€/ha)** = produit (rendement x prix de vente + subvention PAC à l'hectare produit variant selon le type de culture et les départements français) – charges en intrants (engrais, semences, phytosanitaires).

– **Charges de mécanisation avec main-d'œuvre (€/ha) calculées avec le logiciel Deltameq®** = amortissement technique sur la base d'un matériel neuf + charges de main-d'œuvre + consommation de carburant + autres charges (assurance...) + réparation + entretien + location du matériel (ou travaux par tiers, ETA ou CUMA) + frais financiers (figure 3).

– **Marge directe (€/ha)** = marge brute – charges de mécanisation avec main-d'œuvre.

Afin de réaliser des comparaisons entre les parcelles, des conventions ont été prises sur

#### Encadré 2

##### Principales bases de calcul de 2 indicateurs utilisés

(Source : BOCKSTALLER *et al.*, 2002 a)

##### Indicateur matière organique (I-MO)

Trois paramètres rentrent dans la formule de calcul de I-MO

$$I-MO = \frac{7 \times Ax}{Ar \times P}$$

(apports moyens en humus des quatre dernières années)  
(apports nécessaires) x P (facteur de pondération)

avec :

**Ar** : la valeur des apports d'humus nécessaires pour maintenir le sol à long terme à une teneur d'équilibre satisfaisante est calculée à partir du modèle de Hénin-Dupuis. Ce coefficient intègre, au travers du coefficient de minéralisation, les caractéristiques physiques de la parcelle (taux d'argile, de calcaire, de cailloux) ;

**Ax** : estime la valeur des apports en humus des résidus de culture et des apports de matières organiques sur la parcelle durant les quatre dernières années ;

**P** : le facteur de pondération englobe trois éléments : le type de travail du sol depuis 4 ans : labour/travail superficiel/semis direct, la profondeur maximale de labour sur quatre ans et l'effet du système de culture : devenir des résidus de récolte (enfouissement, prélèvement, brûlage) et fréquence des apports de matière organique (engrais de ferme, boues).

##### Indicateur phytosanitaires (I-PHY)

C'est une agglomération de quatre types de risques calculés pour chaque application d'une matière active :

- eaux de profondeur : risque de lessivage de la matière active ;
- eaux de surface : risque de ruissellement ou érosion de la matière active ;
- air : risque de volatilisation de la matière active ;
- dose : quantité de matière active appliquée.

Le calcul de l'indicateur est réalisé en trois temps :

- calcul des quatre risques pour chaque application de matière active. Sont intégrés dans le calcul le profil toxicologique de la matière active, les caractéristiques de la parcelle et les conditions d'application du produit ;
- calcul de l'indicateur I-PHY pour chaque application de matière active par pondération des quatre risques précédemment calculés ;
- agrégation des I-PHY des différentes matières actives utilisées pour constituer l'indicateur global I-PHY synthétisant la note du programme phytosanitaire.

3. Correspondant à un salaire horaire d'un ouvrier agricole spécialisé.

différents postes économiques comme par exemple : valeurs communes des prix de vente, prix fixes des différents intrants sur les 3 années, salaire horaire égal à 12,2 €/h<sup>3</sup>.

### Une diversité de mise en œuvre des TCS : étude des systèmes de culture

Il existe une grande diversité de mise en œuvre des TCS selon les opérations et itinéraires techniques, mais également selon le degré de com-

plexité des successions culturales adoptées : mise en place de couverts végétaux d'interculture, allongement et diversification des rotations.

### Les itinéraires techniques

Les principales techniques de TCS utilisées sur les exploitations étudiées reflètent bien la situation actuelle de ces techniques en France. En effet, le travail superficiel sur toute la surface du sol (à la différence du semis direct) représente l'essentiel

	Côtes-d'Armor : blé semé après maïs grain ou maïs ensilage	Indre-et-Loire : blé semé après colza
TCS	<p>1 passage : 6 agriculteurs concernés avec des outils majoritairement spécifiques</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– outils de préparation et semis avec rotor animé par la prise de force,</li> <li>– outil de semis direct à socs,</li> <li>– outils polyvalents de semis.</li> </ul> <p>2 passages : 2 agriculteurs concernés</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– déchaumage avec outils de ferme (<i>cover-crop</i> et combiné canadien-herse rotative-semoir classique),</li> <li>– déchaumage avec outils de ferme (cultivateur à dent) et semoir intégré à disque polyvalent.</li> </ul>	<p>1 passage : 1 agriculteur concerné</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– semoir intégré à cultivateur rotatif.</li> </ul> <p>2 passages : 6 agriculteurs concernés</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– déchaumage (bêche roulante ou cultivateur à dent ou cultivateur rotatif), semoir intégré à cultivateur rotatif,</li> <li>– déchaumage (cultivateur à dent ou <i>cover-crop</i>) ou broyage, combiné vibroculteur semoir mécanique classique.</li> </ul> <p>3 passages : 1 agriculteur concerné</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– déchaumage (cultivateur à dent), broyage, semoir direct à socs.</li> </ul> <p>4 passages : 3 agriculteurs concernés</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– 3 déchaumages (<i>cover-crop</i> et/ou déchaumeur), semoir à cultivateur rotatif,</li> <li>– broyage, 2 déchaumages (<i>cover-crop</i> et/ou déchaumeur), semoir à cultivateur rotatif,</li> <li>– 2 déchaumages (combiné <i>cover-crop</i>), rouleau <i>croskill</i>, semoir direct à disques.</li> </ul>
labour	<p>2 ou 3 passages : 7 agriculteurs concernés</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– labour, combiné herse rotative semoir mécanique classique,</li> <li>– broyage, labour, combiné herse rotative semoir mécanique classique.</li> </ul>	<p>2 passages : 3 agriculteurs concernés</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– labour, combiné herse rotative ou vibroculteur semoir mécanique classique.</li> </ul> <p>3 passages : 7 agriculteurs concernés</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– déchaumage (cultivateur à dent ou <i>cover-crop</i>), labour, combiné herse rotative ou vibroculteur semoir mécanique classique ou 1 cas avec vibroculteur à combiner,</li> <li>– broyage, labour, combiné herse rotative semoir mécanique classique.</li> </ul> <p>4 et 5 passages : 3 agriculteurs concernés</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– 2 déchaumages <i>cover-crop</i>, labour, combiné vibroculteur semoir mécanique classique,</li> <li>– 3 déchaumages (cultivateur à dent et/ou <i>cover-crop</i>), labour, combiné vibroculteur semoir mécanique classique.</li> </ul>

▲ Tableau 2 – Différents itinéraires techniques de travail du sol-semis sur blé et nombre d'agriculteurs concernés dans l'Indre-et-Loire et les Côtes-d'Armor (Le Garrec, 2003).

des surfaces implantées en TCS, par rapport au semis direct. Les résultats (tableaux 2 et 3) mettent en avant la diversité des techniques et outils nécessaires pour répondre aux situations diverses des sols non labourés, à la gestion des résidus et aux objectifs techniques des agriculteurs. Les principaux facteurs de différenciation sont le nombre de passage, le type d'outils ou combinaison d'outils en lien avec la profondeur de travail : outils conventionnels à dents, à disques, en combinaison ou pas avec un décompacteur, utilisation ou non d'outils ou de combinés spécifiquement conçus pour les TCS.

### Les successions culturales

La diversité et l'enchaînement des cultures dans les successions culturales est un élément important pour l'obtention de bons résultats avec

l'**indicateur succession culturale** (tableau 3). Globalement, les résultats sont moyens sur le plan de la durabilité agri-environnementale des successions culturales dans les deux départements (3,7 en TCS et 5 en labour dans les Côtes-d'Armor ; 4 en TCS et 4,3 en labour dans l'Indre-et-Loire). Dans l'Indre-et-Loire, la durabilité écologique est jugée plus faible pour des successions culturales courtes avec prédominance de blé, en raison principalement du non-respect du temps de retour de chaque culture (par exemple le colza en rotation colza-blé) et surtout de l'effet négatif du précédent (le blé de blé par exemple : valeurs 0,5).

Étant confrontés à certaines difficultés liées à la mise en œuvre des TCS (compaction des sols, développements incontrôlés d'adventices, difficultés de lutter contre le brome...), bon

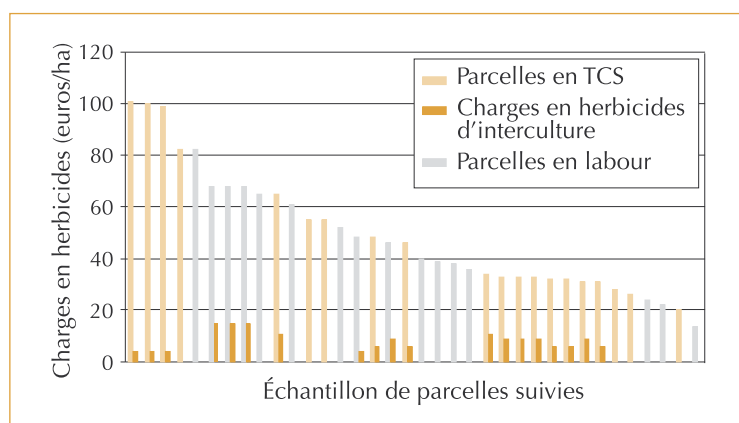
		Nombre d'itinéraires techniques de travail du sol – semis différents		Résultats médians de l'indicateur succession culturale*		Nombre d'agriculteurs mettant en place des cultures intermédiaires		Successions culturales les plus rencontrées		Part moyenne de la SAU occupée par les 3 cultures principales (en %)	
		TCS	labour	TCS	labour	TCS	labour	TCS	labour	TCS	labour
Indre-et-Loire	Blé de colza	15	9	4***	4,3	20 %	0 %	Blé-colza, blé-tournesol, blé-colza-blé, blé-tournesol-blé, blé-colza-blé-orge, blé-colza-blé-avoine	72	78	
	Blé de paille	non calculé									
	Colza de paille	10	9								
Côtes-d'Armor	Blé de maïs	7	2	3,7**	5	65 %	45 %	Maïs-blé, maïs-blé-prairie (5-7 ans), maïs-maïs-blé	82	87	
	Maïs de céréale à paille	11	7								

\* Calculé sur la période 1997-2000 sur toutes les parcelles renseignées.

\*\* Notes de 7,2 à 10 : successions culturales du type colza- blé-orge hiver-maïs-grain, maïs-blé-ray-grass italien-maïs ou encore blé-(moutarde)-maïs-maïs-orge hiver. Notes de 1,8 à 3,2 pour les successions intégrant du maïs-maïs, blé-blé ou du maïs-blé sans culture intermédiaire.

\*\*\* Notes entre 5 et 7 : successions culturales du type maïs grain-blé-colza-blé, colza-orge hiver-blé-blé). Notes de 1 à 3 avec les blé-blé-colza-blé, blé-blé-pois protéagineux-blé ou encore blé-blé-maïs grain-blé.

▲ Tableau 3 – Synthèse des résultats sur les systèmes de culture (Le Garrec, 2003).



▲ Figure 4 – Un exemple de répartition des charges en herbicides : les parcelles en TCS et en labour avec du maïs précédent céréale à paille étudiées dans les Côtes-d'Armor. Chaque bâtonnet représente la valeur des charges totales en herbicide observée sur une parcelle en TCS (marron clair) ou en labour (grisé). Les bâtonnets de couleur marron foncé isolent les éventuelles charges en herbicides d'interculture associées à chaque parcelle (Le Garrec, 2003).

nombre d'agriculteurs s'interrogent encore sur l'évolution de leurs successions culturales. Mais les contraintes économiques et techniques existent et demandent une réflexion pour la mise en place de nouvelles stratégies de cultures. Les changements effectifs de successions culturales consécutifs à l'adoption de TCS impliquent donc dans un premier temps la mise en place de cultures intermédiaires, sans modification des cultures principales ; l'objectif étant la couverture permanente du sol.

#### L'approche systèmes de culture<sup>4</sup> constitue un retour à l'agronomie

Signalons que les agriculteurs pratiquant les TCS reconnaissent les atouts de l'approche système de culture comme facteur de réussite et d'application durable de ces techniques. C'est une condition nécessaire pour lutter contre certains problèmes de salissement ou de structure du sol conduisant parfois à mettre en cause la poursuite des TCS.

#### Une évaluation technico-économique à l'échelle de la parcelle agricole

##### Une mécanisation spécifique en TCS

Pour pouvoir réaliser les semis dans des conditions diverses en présence de résidus, de mulch ou de culture intermédiaire, et pour sécuriser le système lors d'interventions en condition un peu humide, la pratique des TCS fait de plus en

plus largement appel à l'acquisition de matériel spécifique pour assurer sa pérennité. Ce matériel spécifique de semis, nécessite des tracteurs « de tête<sup>5</sup> » plus puissants et son amortissement n'est envisageable que pour de grandes surfaces grâce à la copropriété, les CUMA<sup>6</sup> ou les entreprises de travaux agricoles.

#### Peu de différences sur le rendement et les intrants entre labour et TCS

Nous observons globalement des rendements de récoltes d'un niveau équivalent en TCS et en labour, sauf sur le blé semé après une céréale à paille, pour lequel il semble plus difficile de maîtriser techniquement les TCS. Nous notons peu de différences sur les charges totales des programmes phytosanitaires. Contrairement à ce que l'on peut trouver dans certaines références bibliographiques, les résultats de notre étude confirment ou montrent que la pratique des TCS n'est pas forcément synonyme d'augmentation des charges en herbicides (figure 4). En effet, une nouvelle stratégie de désherbage peut, par exemple, passer par des interventions plus ciblées, une anticipation sur les adventives, une interculture soignée (déchaumage et/ou désherbant total peu coûteux et/ou culture intermédiaire) ou encore en optant pour une succession culturale plus favorable. Les charges en molluscides sont identiques en TCS et en labour, mais l'utilisation est plus fréquente en TCS sur le colza et sur les cultures qui lui succèdent.

#### Des temps de chantier et charges de mécanisation plus faibles en TCS

Le travail du sol-semis est le poste principal des charges de production et les TCS permettent d'y réduire les charges de mécanisation et les temps de chantier (cf. bibliographie). Sur les parcelles étudiées, les temps de chantier totaux sur les itinéraires techniques et de travail du sol-semis (temps d'implantation) sont systématiquement plus faibles en TCS, très lié au nombre de passages et aux types d'outils ou combinaisons d'outils utilisés. Nous observons un gain de temps de 45 à 80 mn/ha dans l'Indre-et-Loire et de 70 à 100 mn/ha dans les Côtes-d'Armor selon les cultures et précédents.

4. Nous définissons l'approche système de culture comme l'intégration de l'organisation des successions culturales (cultures principales et intermédiaires) dans le raisonnement des itinéraires techniques culturaux (implantation, fertilisation, protection phytosanitaire).

5. Le tracteur de tête est généralement le tracteur le plus puissant qui doit être opérationnel pour les gros travaux.

6. Coopérative d'utilisation de matériel agricole.

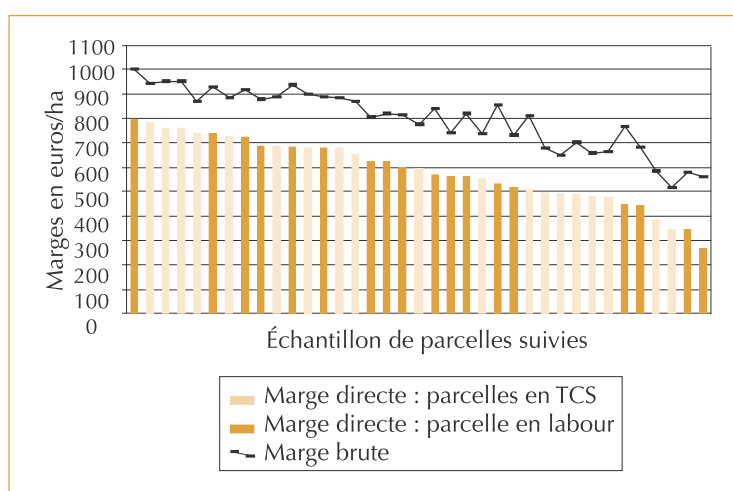


Les charges de mécanisation par hectare et par quintal produit sont systématiquement plus faibles en TCS. La diminution peut aller, en fonction des cultures et précédents, de 20 à 30 €/ha dans l'Indre-et-Loire et de 80 à 105 €/ha dans les Côtes-d'Armor. Ces résultats sont principalement le fait de la réduction des temps de chantier, des pratiques de déchaumage mises en œuvre et de la stratégie d'équipement.

Les écarts observés sur les charges de mécanisation sont particulièrement importants dans les Côtes-d'Armor, surtout sur le maïs. Ils reflètent la simplification globale des itinéraires techniques en TCS et l'utilisation très développée des outils spécifiques de semis. Signalons que le choix méthodologique de Deltameq® d'utiliser la valeur à neuf du matériel, conduit à survaloriser des outils anciens déjà amortis utilisés en labour, et donc à accroître cette différence.

### Des différences très variables entre les deux départements sur les marges économiques

Les principaux résultats sur les marges économiques sont synthétisés dans le tableau 4 et un exemple de répartition graphique est présenté sur la figure 5.



▲ Figure 5 – Marges brute et directe obtenues sur les parcelles étudiées en colza précédent céréale à paille dans l'Indre-et-Loire. Chaque bâtonnet représente la valeur de la marge directe calculée sur une parcelle en TCS (marron clair) ou en labour (marron foncé). La courbe en noir représente la marge brute associée à chaque parcelle (Le Garrec, 2003).

En dépit des interrogations légitimes que nous pouvions avoir sur une éventuelle diminution des rendements ou une augmentation des charges en lutte phytosanitaire, les cas étudiés ici montrent que la mise en œuvre des TCS permet

Valeurs médianes	Rendement q/ha		Charges de mécanisation €/ha	Temps de chantier travail du sol-semis en TCS (mn/ha)	Charges totales en phytosanitaire €/ha	Marge brute €/ha	Marge directe €/ha	Charges en intrants et mécanisation €/q	
	TCS	labour							
	Différences de médianes : TCS - labour								
Indre-et-Loire	Blé de colza	75	76	<b>- 40</b> (- 17 %)	<b>- 45</b> (- 45 %)	+ 5	- 50	- 5	- 0,3
	Blé de céréale à paille	69	<b>77</b>	<b>- 20</b>	<b>- 60</b>	- 4	- 25	- 30	- 0,2
	Colza de céréale à paille	28	30	<b>- 30</b> (- 14 %)	<b>- 80</b>	- 4	- 10	+ 10	- 1,1
Côtes-d'Armor	Maïs de blé	80		<b>- 85</b>	<b>- 65</b> (- 65 %)	- 7 (- 15 %)	- 30	<b>+ 175</b> (+ 20 %)	- 1,9
	Blé de maïs	80	75	<b>- 105</b> (- 30 %)	<b>- 60</b>	- 9	<b>+ 90</b> (+ 10 %)	<b>+ 191</b>	<b>- 2,2</b> (- 30 %)

▲ Tableau 4 – Synthèse des résultats technico-économiques sur les parcelles étudiées en 2000, 2001 et 2002 dans l'Indre-et-Loire et les Côtes-d'Armor (Le Garrec, 2003).

En gras : différences significatives, c'est-à-dire supérieures ou égales à 10 %.

de maintenir une marge directe à des niveaux équivalents au labour dans l'Indre-et-Loire, voire à l'améliorer dans le cas des Côtes-d'Armor. Ce constat est d'ailleurs renforcé par le fait que nous n'avons pas intégré dans cette marge directe les éventuels bénéfices pouvant être tirés de la meilleure gestion du travail permise en TCS et sa valorisation (moins de pointes de travail, moins de main-d'œuvre saisonnière, plus de temps pour le management, l'observation des cultures, l'information et la formation, le réglage ou les essais sur les outils, la réflexion sur les systèmes de culture...), qui sont des atouts certains de ces techniques. Par ailleurs, ce gain de temps peut conduire à des innovations et des améliorations de marge qui ne se limitent pas aux rendements (effet sur la qualité, la commercialisation des produits et parfois la diversification, la pluriactivité). Cela pose la question de l'évaluation de ce temps de « management » qui pourrait se situer à une valeur supérieure à 12,2 €/h, ce qui accentuerait l'augmentation de marge directe due aux TCS.

### Un début d'évaluation environnementale des pratiques en TCS

Les TCS sont présentées comme ayant des bénéfices environnementaux possibles : limitation de l'érosion, amélioration de la qualité des sols, éco-

nomie d'énergie fossile, ou encore augmentation de la macro et micro-biodiversité. Dans cette étude, **les indicateurs agri-environnementaux de la méthode Indigo®** nous ont permis d'intégrer et d'obtenir des résultats sur les thèmes suivants (tableau 5) :

- la gestion de la matière organique. Amélioration de 65 % de l'indicateur ;
- les risques pour l'environnement des programmes phytosanitaires. Résultats globalement égaux ou supérieurs à la « valeur référence 7 », avec un avantage au labour ;
- les impacts des pratiques culturales sur les gaz à effet de serre CO<sub>2</sub> et N<sub>2</sub>O. Avantage aux TCS de 1 000 à 2 000 méga-joules/ha sur la dépense énergétique de mécanisation et économies de 7 à 30 litres de carburant/ha. Absence de différences ou avantage léger pour le labour sur l'indicateur N<sub>2</sub>O.

### Une meilleure gestion de la matière organique en TCS

L'indicateur matière organique est toujours supérieur sur les parcelles en TCS. Ceci est principalement dû au facteur-type de travail du sol avec une prévision de plus faible minéralisation de l'humus en TCS (figure 6 et tableau 5). Pré-

Résultats médians		Résultats de l'indicateur matière organique (note de 0 à 10)		Résultats de l'indicateur énergie (note de 0 à 10)		Dépense énergétique liée à la mécanisation (méga-joules/ha)	Consommation de carburant sur le travail du sol-semis (litres/ha)	Résultats de l'indicateur phytosanitaires (note de 0 à 10)	
		TCS	labour	TCS	labour			Différence TCS - labour	Différence TCS - labour
Indre-et-Loire	Blé de colza	<b>6,4</b>	<b>3,8</b>	<b>5,7</b>	<b>5</b>	<b>- 1080</b>	<b>- 17</b>	<b>6,6</b>	<b>7,5</b>
	Blé de paille			<b>5,7</b>	<b>4,9</b>	<b>- 1200</b>	<b>- 26</b>	<b>5,4</b>	<b>7,2</b>
	Colza de paille			<b>5,6</b>	<b>4,9</b>	<b>- 1080</b>	<b>- 11</b>	<b>6,3</b>	<b>8,4</b>
Côtes-d'Armor	Blé de maïs	<b>10</b>	<b>6,1</b>	<b>8,4</b>	<b>7</b>	<b>- 1490</b>	<b>- 7</b>	<b>7,5</b>	<b>7,6</b>
	Maïs de céréale à paille			<b>10</b>	<b>9</b>	<b>- 1930</b>	<b>- 30</b>	<b>6,9</b>	<b>7,9</b>

▲ Tableau 5 – Synthèse des résultats obtenus sur les indicateurs agri-environnementaux dans l'Indre-et-Loire et les Côtes-d'Armor (Le Garrec, 2003).

En gras : différences significatives, c'est-à-dire supérieures ou égales à 0,5 points ou 10 %.

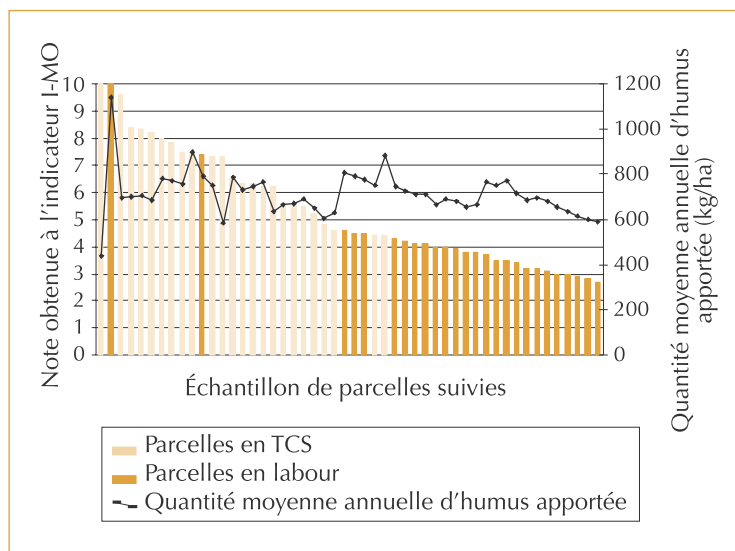
cisons que les calculs de **l'indicateur matière organique** sont fondés sur l'utilisation du modèle HENIN-DUPUIS (Bockstaller et Girardin, 2002 ; encadré 2, p. 25), préconisant un taux de matière organique en fonction du type de sol. Ainsi, cet indicateur ne prend pas en compte les caractéristiques et les propriétés des matières organiques présentes, comme sa répartition sur le profil ou sa « maturité ». Notons que les bases de calcul de la méthode Indigo® n'intègrent pas le type d'itinéraire technique de travail du sol. Il faut pourtant savoir que l'intensité de la minéralisation est différente, par exemple avec l'utilisation d'une herse rotative, d'un décompacteur ou d'un cultivateur à dent (Arrouays *et al.*, 2002). L'explication vient d'une destruction différente des agrégats du sol et ainsi d'une oxydation plus ou moins importante et rapide des matières organiques.

### Une mise en évidence partielle du potentiel des TCS pour réduire les émissions de gaz à effet de serre

#### UNE MOINDRE CONSOMMATION DE CARBURANT ET DÉPENSE ÉNERGÉTIQUE EN TCS

Les opérations de travail du sol-semis représentent une part importante de la consommation de carburant sur l'itinéraire technique (de  $\frac{1}{2}$  aux  $\frac{2}{3}$ ). Dans les deux départements, la consommation de carburant calculée par le logiciel Deltameq® est plus faible en TCS. De - 7 l/ha à - 30 l/ha dans les Côtes-d'Armor et de - 8 l/ha à - 30 l/ha dans l'Indre-et-Loire. Cette économie de carburant est essentiellement réalisée sur les opérations de travail du sol-semis (entre 80 et 90 %). La moindre consommation de fioul en TCS n'est pas à mettre en doute mais sur certaines cultures comme le blé en Côtes-d'Armor, les différences sont atténuées par l'utilisation d'outils spécifiques fort consommateurs d'énergie.

Calculée à l'aide de *l'indicateur énergie*, la dépense énergétique totale sur les itinéraires techniques se décompose dans l'Indre-et-Loire en 80 % pour le poste fertilisation, 15 % pour la mécanisation et 5 % pour les phytosanitaires. Les résultats obtenus sont moyens dans l'Indre-et-Loire (entre 5 et 6 points) et très bons dans les Côtes-d'Armor (entre 7 et 10 points), mais systématiquement plus forts en TCS. Cela s'explique en grande partie par une plus faible dépense énergétique liée à la mécanisation (méga-joules/ha). Ici les fertilisants organiques, sous-produits de l'activité élevage et largement utilisés en



Côtes-d'Armor, ne nécessitent pas de dépense énergétique de production, si ce n'est lors de l'épandage. Cette approche est donc intéressante par une prise en compte des inter-relations entre les différents ateliers des exploitations.

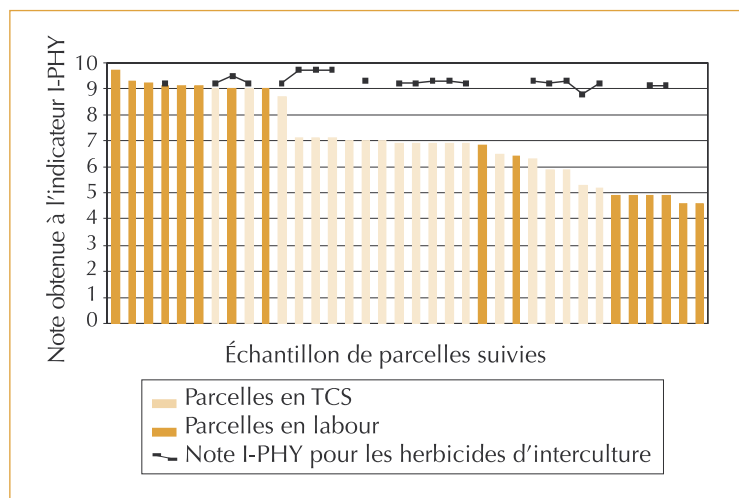
#### UN POTENTIEL DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE EN TCS

Les TCS ont donc un potentiel pour réduire les émissions de gaz à effet de serre avec des effets directs sur les émissions de CO<sub>2</sub> : consommation moindre de carburant, dépense énergétique globale plus faible, réduction de la minéralisation de la matière organique. De plus, cette réduction de la minéralisation montre implicitement un potentiel de stockage de carbone (encore à l'étude à partir de **l'indicateur matière organique** d'Indigo®). Mais il faut aussi tenir compte des autres gaz à effet de serre avec les **résultats de l'indicateur N<sub>2</sub>O**, plus liés à des pratiques de fertilisation azotée qu'au type de travail du sol, et sur lequel les TCS ne sont donc pas systématiquement défavorisées. Par contre, il n'y a pas de résultats sur le NH<sub>3</sub> et le CH<sub>4</sub> dans cette étude.

### Des programmes phytosanitaires globalement peu risqués pour l'environnement en TCS et labour

Dans l'ensemble, en TCS et en labour sur les deux départements étudiés, les programmes phytosanitaires apparaissent peu risqués pour l'environnement au vu des résultats de **l'indica-**

▲ Figure 6 – Résultats sur la période 1999-2002 de l'indicateur matière organique (I-MO) d'Indigo® sur l'ensemble des parcelles étudiées dans l'Indre-et-Loire (Le Garrec, 2003).



▲ Figure 7 – Résultats de l'indicateur phytosanitaires sur un maïs produit après une céréale à paille dans les Côtes-d'Armor (Le Garrec, 2003).

**teur phytosanitaires** (figure 7). En effet, sur ces deux départements et pour les différentes cultures étudiées, les résultats médians (tableau 5, p. 30) de l'indicateur sont quasi-systématiquement au-dessus d'une note de 6 dans l'Indre-et-Loire et 7 dans les Côtes-d'Armor. Mais cela ne doit pas faire oublier les disparités entre parcelles et donc agriculteurs, c'est ce qui est illustré par la figure 7 avec une variabilité des résultats. Par ailleurs, que ce soit sur les parcelles en labour ou en TCS, les résultats obtenus par les applications d'herbicide total d'interculture sont très bons (quasi-systématiquement au-dessus de la note 9). La matière active « glyphosate » aux doses utilisées est jugée peu risquée, mais certaines parcelles, en TCS et en labour, obtiennent des notes plus faibles par l'utilisation de matières actives à des doses et états du couvert à l'application jugées à risque par l'indicateur phytosanitaires (isoproturon, chlortoluron, propizamide, atrazine, pendiméthaline...). Dans ces situations, le risque pourrait être atténué en réduisant les doses ou en choisissant d'autres matières actives.

Les agriculteurs rencontrés dans le cadre de ce réseau sont globalement de bons techniciens et gèrent de façon raisonnée leurs programmes phytosanitaires, même si des améliorations sont possibles dans le choix de certaines matières actives. Par contre, il conviendra de veiller à ce que ce changement de matière active se traduise par une évolution positive mettant en œuvre de bonnes pratiques d'application et de gestion des nouveaux produits.

La construction de l'indicateur phytosanitaires est ainsi faite, qu'une seule matière active jugée à risque va pénaliser tout le programme phyto-

sanitaire, la note finale étant la plus basse de l'ensemble des applications. Ainsi nous avons observé au maximum une ou deux applications (herbicides essentiellement) jugées risquées dans les programmes phytosanitaires, et il ne faut donc pas généraliser une application isolée à risque avec des pratiques globalement à risques sur les phytosanitaires. Par contre, des éléments importants n'ont pas été considérés ; il s'agit des conditions d'application des phytosanitaires (hygrométrie, température...) qui ont une forte influence sur les risques de fuites des matières actives vers les écosystèmes. Mentionnons également la non-prise en compte des effets de la localisation des résidus végétaux et de la matière organique dans les horizons de surface en TCS. En effet, dans la littérature spécialisée, les rôles de ces résidus sont jugés positifs, dans les phénomènes d'adsorption, de ruissellement ou de lessivage des matières actives phytosanitaires (Bockstaller *et al.*, 2002a ; Barriuso, 1991).

## Conclusion et perspectives

Dans un contexte où les références locales sur les TCS sont peu nombreuses et la comparaison au labour inévitable, la méthodologie mise en place dans cette étude est pertinente. En effet, elle permet d'approcher la diversité de mise en œuvre des TCS selon les contextes pédo-climatiques et agricoles et les éventuelles différences au niveau économique et environnemental entre TCS et labour. Les outils utilisés (méthode Indigo® et Deltameq®) sont actuellement parmi les plus performants et les mieux adaptés à l'investigation par enquête de terrain sur les pratiques agricoles. L'étude des parcelles à l'échelle de la succession culturale (rotation, décennie) donnant une vision dynamique des pratiques, serait très utile afin de les évaluer globalement sur le moyen ou le long terme.

Des améliorations pourraient toutefois être envisagées, comme par exemple la mise en œuvre de nouveaux indicateurs agri-environnementaux (érosion, biodiversité, effet de serre). De plus, l'échelle privilégiée dans cette étude est celle de la parcelle, échelle ne permettant pas d'appréhender parfaitement les impacts économiques et environnementaux globaux des TCS sur les exploitations et leur viabilité. Ainsi pour compléter cette approche et avoir une vision plus systémique, il serait intéressant de réaliser quelques monographies dynamiques de certaines exploitations. Il serait alors pertinent d'observer

les modifications liées au passage aux TCS (valorisation du temps libéré, évolution structurelle, marges économiques, coûts en intrants...). Ceci par exemple, en étudiant les données historiques d'une exploitation sur quelques années avant et après le changement de technique.

Des limites, interrogations méthodologiques et scientifiques sont également apparues. Nous savons que les pratiques de mise en œuvre des TCS modifient de façon importante les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. De plus, nous connaissons la diversité des pratiques en TCS et ainsi leurs impacts variables sur l'environnement. Il semble donc insuffisant de considérer seulement deux classes de TCS dans l'évaluation agri-environnementale (cas actuel dans la méthode Indigo® avec le travail superficiel et le semis direct). Sur le principe de cette méthode, un système de pondération basé sur des références techniques pourrait prendre en compte cette diversité, à partir des principaux itinéraires de travail du sol-semis recueillis sur les exploitations (en adoptant une typologie des itinéraires techniques fondée sur le nombre de passages, comme dans le tableau 3, 1<sup>ère</sup> colonne, et sur la présence ou non de couverture du sol en résidus, culture d'hiver, cultures intermédiaires dévitalisées ou ralenties). Par ailleurs, le risque

de contamination des eaux par les produits phytosanitaires est très déterminant des modes de circulation de ces eaux et donc des conditions locales, certaines pouvant être modifiées par la pratique des TCS (ruissellement, infiltration, propriétés du sol). Ces aspects importants peuvent être intégrés dans l'estimation des risques donnée par **l'indicateur phytosanitaires** de la méthode Indigo®, mais ils nécessiteraient de par leur complexité, un fin paramétrage local et des mesures *in situ*.

Enfin, signalons que cet article est d'actualité, car de nombreux responsables des politiques publiques s'intéressent à ces aspects économiques et environnementaux pour l'orientation des mesures intégrées dans les contrats d'agriculture durable (CAD) et de divers projets de développement locaux dans le cadre des directives européennes Sols, en cours d'élaboration par la Commission européenne. Par contre, au vu des problématiques environnementales concernées, une évaluation de l'impact d'une mise en œuvre des TCS devra nécessairement se faire en prenant en compte des unités de fonctionnement dépassant la parcelle agricole (exploitations) et s'apparentant à la petite région agricole : bassins versants, zones d'alimentation des nappes souterraines, zones d'alimentation des captages. □

## Résumé

Pour améliorer les connaissances sur les techniques de conservation des sols (aussi appelées techniques culturales simplifiées, TCS, ou sans labour, TCSL), en 2001, l'association pour la promotion de l'agriculture durable a lancé, en collaboration avec l'UMR d'économie publique de l'INRA et Arvalis (anciennement ITCF), sur une durée de trois ans, une étude originale financée par le projet européen « *LIFE-Environment Preparatory Actions* ». Elle applique une double approche économique et environnementale comparative sur un réseau de parcelles menées en TCS et en labour à l'aide d'indicateurs agri-environnementaux (méthode Indigo® de l'INRA) et de données technico-économiques (Deltameq® d'Arvalis). L'analyse des résultats sur deux départements (Indre-et-Loire en grandes cultures et Côtes-d'Armor en polyculture-élevage) et différentes cultures (blé d'hiver, maïs, colza) montre qu'il existe une grande diversité de mise en œuvre des TCS. Au niveau économique, les TCS maintiennent des niveaux de rendement équivalents (de - 8 à + 5 q/ha), réduisent les charges de mécanisation (de 0,5 €/q en Indre-et-Loire à 1,5 €/q en Côtes-d'Armor) et les temps de chantier (de 50 à 100 mn/ha, en moyenne 65 mn/ha). Les TCS ne sont pas synonymes d'augmentation des charges en phytosanitaires ou herbicides (de - 14 à + 15 €/ha) et permettent de maintenir une marge directe à des niveaux équivalents au labour dans l'Indre-et-Loire, voire de l'améliorer dans le cas des Côtes-d'Armor. Sur le plan environnemental, les TCS permettent une amélioration de 65 % de l'indicateur de matières organiques des sols par une réduction de la minéralisation et ont un potentiel pour réduire les émissions de gaz à effet de serre : moindre consommation de fioul (de - 18 à - 30 l/ha), moindre dépense énergétique globale.

## Abstract

To improve the knowledge on Conservation tillage, in 2001 a French Association for the Promotion of Sustainable Agriculture has lead a three years study in association with the Agricultural public economics department in Paris-Grignon of INRA. This study has been financed by the European LIFE project « Project 99/E/308 ». The methodology applied is an economical and environmental analysis of a panel of selected plots in both Traditional Tillage farms (TT = ploughing) and Conservation Tillage farms (CT) in several French agricultural areas. So, agri-ecological (Indigo® method from INRA) and economical indicators (Deltameq® software from Arvalis) are used to estimate the impact of cropping practices. The results of the survey are significant in two French areas (Indre-et-Loire, Côtes-d'Armor) and with several crops (wheat, soya and maize). It shows a great diversity in CT application. At the economical level, CT allows to maintain the yield levels (from - 8 q to + 5 q/ha), to reduce the machinery global costs (from 0,5 €/q in Indre-et-Loire to 1,5 €/q in Côtes-d'Armor) and the labour time (from 50 min. to 100 min./ha) and are not synonym of an increase of pesticide or weed-killers costs (from - 14 € to + 15 €/ha). It maintains also the direct margin levels in Indre-et-Loire, and improves it in Côtes-d'Armor. At the environmental level, CT gives a 65 % increase of the soil organic matter indicator by reduction of mineralization and also has a potential to reduce the emissions of greenhouse gases: less fuel consumption (from - 18 to - 30 liters/ha) and weaker global energy expense.

## Bibliographie

ARROUAYS, D. ; BALESSENT, J. ; GERMON, J.-C. ; JAYET, P.-A. ; DE CARA ; S. ; SOUSSANA, J.F. ; STENGEL, P., 2002, *Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ?*, Rapport d'expertise réalisé par l'INRA à la demande du ministère de l'Écologie et du Développement durable, INRA, Paris, 332 p.

BARBIER, S. ; CHEVRIER, A., 2002, *Performances économiques et environnementales des techniques agricoles de conservation des sols : création d'un référentiel et premiers résultats*, mémoire de fin d'études École Supérieure d'Agriculture de Purpan et Institut supérieur d'agriculture de Beauvais, 94 p. + annexes.

BARRIUSO, E. ; CALVET, R. ; CURE, B., 1991, Incidence de la simplification du travail du sol sur le comportement des produits phytosanitaires : conséquences sur les risques de pollution, in *Simplification du travail du sol*, Paris (France) le 16 mai 1991, Éd. INRA les Colloques n° 65, Paris, p. 105-124.

BOCKSTALLER, C. ; GIRARDIN, P. ; Van Der Werf, H.-M.-G., 1997, Use of Agro-ecological indicators for the evaluation of farming systems, *European Journal of Agronomy*, 7, p. 261-270.

BOCKSTALLER, C. ; GIRARDIN, P., 2002a, *Mode de calcul des Indicateurs Agroécologiques*, ITADA (Institut transfrontalier d'application et de développement agronomique), programme Interreg. 2 de l'UE, 102 p.

BOCKSTALLER, C. ; GIRARDIN, P., 2002b, A global Indicator of environmental sustainability (Igló), *Book of Proceedings - VII ESA Congress*, p. 553-554.

ECAF (European Conservation Agriculture Federation), 2003, *Main data and activities ECAF and national associations in 2002*, document de diffusion ECAF, 1 p.

GARCIA-TORRES, L. ; BASSO, F. ; BONCIARELLI, F. ; BASH, G. *et al.*, 1999, *Agriculture durable et conservation des sols: enjeux et perspectives en Europe*, publication de l'ECAF et de l'APAD (Association pour la promotion d'une agriculture durable), 23 p.

GIRARDIN, P., 1997, Évaluation de la durabilité d'une exploitation agricole au moyen d'indicateurs agro-écologiques, in *Actes du colloque Interactions entre l'agriculture et environnement ; Quels outils de diagnostic ?*, Paris, p. 58-66.

LE CHATELIER, D. ; REVEL, A. ; BARBIER, S. ; CHEVRIER, A. ; LE GARREC, L. ; DEGRAEVE, C., 2003a, *Analyse comparée des performances économiques et environnementales en techniques culturales simplifiées et en labour : Premiers résultats du référentiel APAD-INRA-ECAF-LIFE*, rencontres INA PG, Paris, 3 avril, 3 pages.

LE CHATELIER, D. ; REVEL, A. ; BARBIER, S. ; CHEVRIER, A. ; LE GARREC, L. ; DEGRAEVE, C., 2003b, *Economical and Environmental efficiency of conservation versus traditional tillage in France: first results of the apad-inra-ecaf-life project*, poster presentation to II World Congress on Conservation Agriculture : Producing in harmony with Nature, Igassu (Brazil), August 10-15, 3 pages.

LE GARREC, L., 2003, *Évaluations environnementale et économique des pratiques agricoles en techniques de conservation des sols ; analyse sur 3 années de 86 parcelles d'exploitations de l'Indre-et-Loire et des Côtes-d'Armor à l'aide d'indicateurs agri-environnementaux et technico-économiques*, mémoire de fin d'études ESA Angers, Angers, 101 p. + annexes.

RIEU, C., 2001b, *Les enjeux économiques de la simplification du travail du sol, du labour au semis direct : enjeux agronomiques*, conférence-débat INRA-ITCF, Salon International du Machinisme Agricole, février, 22 p.

TEBRÜGE, F. ; DÜRING, R.-A., 1999, Reducing tillage intensity, a review of results from a long term study in Germany, *Soil and Tillage Research*, n° 53, p. 15-28.