PIROT R., PERRET S., MANICHON H. (éds.), 1997.
Le travail du sol dans les systèmes mécanisés tropicaux.
Actes du colloque, 11-12 septembre 1996, Montpellier, France.
Montpellier, France, Cirad-Sar, collection Colloques, 160 p.

# Le travail du sol : un champ de recherches trop négligé

Hubert MANICHON
Cirad-Ca, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

Le travail du sol, c'est-à-dire son aménagement pour permettre l'implantation des cultures, correspond à un ensemble de pratiques très diversifiées, et donc difficiles à connaître et à étudier.

Dans les agricultures peu mécanisées et peu utilisatrices d'intrants, ces pratiques constituent le moyen principal dont disposent les paysans pour conduire leurs cultures. Elles sont coûteuses en travail — temps et pénibilité — et sont souvent la cause d'un grand étalement des dates de semis, préjudiciable à l'utilisation optimale des facteurs climatiques par les cultures.

Dans les agricultures fortement mécanisées, l'achat et l'utilisation des tracteurs et des outils génèrent des coûts importants, souvent déterminants pour la rentabilité des exploitations, sans que l'on puisse toujours affirmer qu'ils sont réellement justifiés pour la conduite des systèmes de culture.

On s'attend donc à ce que les institutions de recherche agronomique placent, à un niveau élevé de leurs priorités, les travaux dans ce domaine. Mais force est de constater que les chercheurs abordent le travail du sol avec prudence, voire réticence.

Et pourtant, l'évidence du terrain montre que, sauf situations particulièrement favorables, notamment sur le plan climatique, les techniques utilisées pour l'implantation des cultures font partie des déterminants essentiels de la réussite de ces cultures. Si les conditions de sol nécessaires ne sont pas assurées, les autres facteurs de production (variétés améliorées, engrais...) seront mal valorisés : la recherche agronomique peut-elle rester muette sur ce domaine ? L'évidence du terrain montre aussi que l'évolution à long terme des sols dans l'espace cultivé, qu'il s'agisse d'améliorations ou de dégradations, est déterminée largement par les pratiques annuelles de travail du sol : peut-on alors parler de gestion des ressources naturelles, ou d'évolution de la fertilité des sols, sans analyser sérieusement ces pratiques et leurs effets sur le milieu de culture ?

On tentera ici d'expliquer les raisons de ce paradoxe, qui tiennent à la difficulté, en soi, du sujet et à son statut scientifique. Puis, tirant parti de cette analyse, on indiquera ce que pourraient être les grandes orientations des recherches dans ce domaine.

## Le travail du sol : des effets multiples à analyser et à diagnostiquer

Parmi les techniques culturales, le travail du sol constitue un domaine d'étude particulièrement complexe, dont les bases conceptuelles ont été établies, il y a de nombreuses années en France, par l'équipe du Professeur Hénin, dans un ouvrage qui reste d'actualité : *Le profil cultural* (Hénin *et al.*, 1969). La principale difficulté, soulignée par ces auteurs, tient à ce que l'on ne peut établir de relation causale stable entre l'emploi d'un outil et l'état du sol qui en résulte. Dès lors, ambitionner de relier directement l'emploi d'un outil, ou la conduite d'un itinéraire technique (Sebillotte, 1978), avec le rendement de la culture relève de l'illusion. Dans la réalité, le travail du sol n'agit directement que sur le sol, créant des condi-

tions plus ou moins favorables auxquelles réagiront les plantes, en interaction avec les conditions climatiques. Il est donc nécessaire (i) de caractériser les effets du travail du sol sur l'état du milieu de culture, et (ii) d'étudier le fonctionnement du peuplement végétal en relation avec cet état. On abordera ci-après ces deux thèmes à partir d'exemples.

## L'analyse des effets des techniques sur le sol

La mise en œuvre d'un outil déterminé se décline en plusieurs effets, recherchés ou non, favorables ou défavorables, ce qui rend délicat l'établissement du bilan de son emploi. L'exemple du labour (à l'aide d'une charrue à socs et versoirs, pour être plus précis) est particulièrement illustratif.

On attend très souvent du labour une contribution efficace à la lutte contre les plantes adventices. Cet effet n'est pas facile à analyser. En effet, le retournement des bandes de terre découpées par la charrue permet bien une destruction mécanique de la végétation existante. Mais il s'accompagne d'un retour, vers la surface du sol, de graines d'autres adventices enfouies en profondeur par le labour précédent : quel sera le bilan de ces actions sur le salissement de la parcelle ? Cela dépend de la nature des adventices, de leur écophysiologie et de leurs modalités de multiplication, comme de la température et de la pluviométrie dans la période suivant le labour. Les réglages de la charrue (profondeur d'action, degré de retournement des bandes, réglage de la rasette...) et la forme du versoir influent aussi sur les capacités de repousse et la qualité de la destruction des plantes. On ne peut donc pas fixer, à priori, un niveau d'efficacité général à cette opération. Par contre, on peut déterminer les caractéristiques du sol à rechercher par le labour, compte tenu de sa date et de la biologie des adventices à éliminer, pour atteindre les effets souhaités. Dans les cas où ces résultats pourront être obtenus, le labour sera une technique adaptée, qu'il faudra comparer (en termes d'efficacité, de possibilités de mise en œuvre et de coûts) à d'autres moyens ; dans les autres cas (sol difficile à labourer du fait de ses propriétés mécaniques, calendrier de travaux imposant des dates de labour inadéquates pour cette fonction...), il sera inopérant et il faudra obligatoirement avoir recours à d'autres moyens pour éliminer les adventices.

Un autre effet recherché par le labour, l'ameublissement du sol sur une certaine épaisseur pour favoriser l'infiltration de l'eau et l'implantation des racines, est souvent retenu comme objectif principal de l'emploi de cette technique. Mais la charrue crée en même temps une discontinuité à son fond de travail, qui peut être un obstacle sévère à l'accès aux couches sous-jacentes : soit du fait du compactage (on parle de « semelle de labour », horizon tassé que l'on peut observer dans de nombreux cas), soit par la destruction de la continuité des pores biologiques préexistants, utilisables par les racines, et qui étaient capables d'assurer un transfert rapide de l'eau saturante jusqu'aux couches profondes. Dans beaucoup de cas, les causes d'un dysfonctionnement des drainages doivent ainsi être recherchées dans l'emploi de la charrue. Les techniques de « non labour » peuvent au contraire présenter des avantages appréciables ; à moins que les pores biologiques soient trop peu nombreux et se saturent rapidement en eau, lorsque l'accès à une couche profonde plus perméable n'est pas possible. On voit que les avantages et inconvénients respectifs de ces techniques dépendront de la pluviométrie, de la pente du terrain, des caractéristiques pédologiques et en particulier de drainage interne du sol, il faudra donc raisonner le choix de leur emploi dans chaque contexte.

On remarquera aussi, sans détailler plus ce point, que les effets directs de l'emploi d'un outil dépendent de nombreux facteurs : l'outil lui-même (la forme des pièces travaillantes, leurs réglages), le moyen utilisé pour le déplacer dans la parcelle (traction animale ou motorisée) et la vitesse d'avancement, et bien sûr le sol et son état au moment du travail.

La question de la validité des références établies dans des domaines expérimentaux, c'est-à-dire dans des conditions souvent très éloignées de la pratique agricole, se pose aussi. Par exemple, dans le cas des labours en traction animale des sols « *dior* » du Sénégal, on avait pu constater (Manichon et Chopart, non publié) que les états de la couche labourée obtenus en station et dans les champs paysans environnants étaient très différents : les champs paysans se caractérisaient toujours par une couche labourée de faible épaisseur et d'état pulvérulent, très sensible à l'érosion hydrique et éolienne, alors que dans les parcelles expérimentales les labours étaient plus motteux (même après précédent arachide) et plus profonds. Les causes de ces différences étaient aussi bien la qualité de l'équipement et de sa conduite que la force de traction des bœufs (liée à leur santé et à leur alimentation). Dès lors, la supériorité du labour sur les autres techniques, pourtant bien établie expérimentalement, peut-elle être retrouvée dans les champs paysans où le « labour » ne constitue en réalité qu'un simple grattage ? Dans le cas cité, les parcelles expérimentales étaient conduites avec beaucoup de soins. Dans d'autres, c'est dans les domaines expérimentaux, soumis à des contraintes de fonctionnement de natures diverses, que les travaux du sol sont réalisés dans des conditions pénalisantes pour les cultures, en particulier, lorsqu'ils sont plus tardifs que ceux des paysans. Dans tous les cas, la question de l'extrapolation doit être examinée de façon critique. Pour l'établissement

de références sur le travail du sol réellement utilisables, il est très généralement insuffisant de conduire des expérimentations en station comparant au travers des rendements des cultures la « technique traditionnelle » (mise en place par l'expérimentateur, représente-t-elle réellement ce que font les différents paysans ?) à une technique dite « améliorée ».

Il est donc dangereux de porter des jugements tranchés sur une technique culturale, tant est grande la diversité des effets recherchés et celle des effets obtenus. Dire sans nuance que « le labour est indispensable », ou au contraire que « le labour doit être proscrit », cela n'a pas de sens si le contexte n'est pas précisé dans ses différentes composantes. On n'assisterait pas à de telles querelles d'opinion si un effort de caractérisation des résultats réellement obtenus et de leurs déterminants, et le suivi de leurs conséquences, étaient plus souvent faits. Ces études fournissent les moyens objectifs d'un raisonnement du choix et des conditions et modalités d'emploi des outils, selon les situations écologiques et économiques.

Un bon exemple de ces études est celles qui ont été réalisées dans les brésiliens (Séguy *et al.*, 1996), qui ont diagnostiqué le caractère néfaste des labours (réalisés ici avec des outils à disques) sur l'intensité de l'érosion hydrique (contrainte physique principale dans ces situations, renforcée par l'absence de protection de la surface, la végétation étant enfouie par le labour, et par la réduction de l'infiltration due aux semelles de labour), et montré les avantages comparatifs des systèmes de semis direct avec couverture végétale. A partir de ces diagnostics, des systèmes de culture complets, centrés sur la technique de semis direct, ont pu être proposés avec succès aux agriculteurs.

Il est particulièrement important, en effet, d'aborder les questions du travail du sol au sein des systèmes de culture, et non pas isolément. Dans la réalité, plusieurs opérations culturales qui se succèdent dans la même parcelle, certaines ayant pour objectif l'aménagement du sol, d'autres concernant l'entretien ou la récolte des cultures : c'est l'ensemble de l'itinéraire technique qu'il faut analyser pour comprendre comment le sol a évolué au cours de la campagne, et ce qui en est résulté pour la culture.

L'évolution à long terme des caractéristiques physiques du profil cultural dépend, dans un contexte déterminé de sol et de climat, des effets cumulatifs des itinéraires techniques utilisés pour les différentes cultures de la succession : on peut parler (Sebillotte, 1990) d'un « état moyen » du profil cultural, caractérisant le résultat de cette évolution pour un système de culture et un milieu donnés. Il est important de savoir si l'on peut gérer cette évolution, en jouant sur les caractéristiques des outils et leurs conditions d'emploi, pour se prémunir contre des évolutions défavorables à long terme. A cet égard, la modélisation du bilan des actions antagonistes de dégradation et d'amélioration de l'état physique, sur un pas de temps annuel (Roger-Estrade, 1995) est un moyen puissant de simulation et de prévision. Les résultats ainsi obtenus montrent, en accord avec de nombreuses observations au champ, que les opérations de récolte des cultures jouent dans les systèmes mécanisés, par les compactages intenses qu'elles peuvent introduire, un rôle déterminant dans l'évolution du sol. Ces résultats confirment combien il serait insuffisant de limiter les analyses aux seules opérations de travail du sol.

## La mise en évidence de conséquences sur le rendement des cultures

La caractérisation de l'état du profil cultural n'aurait guère d'utilité pratique, quant au mode de raisonnement du choix des techniques de travail du sol, si l'on n'était pas capable de le mettre en relation avec le comportement des cultures.

La question, justement, de la détermination de la part de responsabilité qui revient au travail du sol dans l'élaboration du rendement des cultures, est particulièrement délicate et ne peut s'aborder qu'en interaction avec d'autres éléments (le climat, la richesse chimique du sol...). L'une des difficultés essentielles rencontrées est bien qu'il n'est pas possible d'établir des références stables, reliant l'emploi de techniques de travail du sol aux rendements des cultures : le classement entre les techniques de travail du sol, exprimé au travers des rendements, varie selon les conditions climatiques et édaphiques.

Ceci se comprend aisément, et n'occasionne pas de controverse, lorsque l'on considère la variabilité interannuelle des rendements d'une culture, pour un même itinéraire technique et un même précédent cultural. Chacun admet qu'en année très sèche les rendements soient limités par un déficit de l'alimentation hydrique, et ceci quelle que soit la technique d'implantation utilisée. Chacun admet aussi qu'en cas de périodes de sécheresse limitées dans le temps, il y ait un avantage aux travaux du sol qui ont permis un enracinement plus profond et plus dense, permettant l'utilisation maximale des réserves en eau du sol. Dès lors, il suffit de réaliser une étude fréquentielle des risques climatiques pour déterminer la technique la plus satisfaisante. On remarquera cependant qu'il ne s'agit pas forcément de celle qui donnera, sur plusieurs années, la moyenne la plus élevée : selon la situation des paysans, et selon le contexte économique dans lequel ils se situent, on peut au contraire préférer une solution moins performante en moyenne, mais qui corresponde à des amplitudes interannuelles plus faibles.

La mise en œuvre de ce raisonnement, pour l'aide à la décision des agriculteurs dans le choix de leurs itinéraires techniques, suppose implicitement que la variabilité intra-annuelle des résultats obtenus pour une

même technique et dans un même sol, est faible vis-à-vis de la variabilité interannuelle. L'exemple suivant, tiré d'une enquête portant sur plus de 100 parcelles cultivées en blé d'hiver dans une région de grande culture en France (Coulomb *et al.*, 1990) montre que cet aspect ne peut pas toujours être négligé.

Dans cette région, les techniques de travail du sol et de semis sont très voisines entre exploitations, et semblent bien adaptées à priori aux données climatiques et pédologiques. Elles comportent en effet toujours un labour d'automne dont les fonctions principales sont dans ces sols limoneux : (i) d'assurer l'évacuation des pluies hivernales par la création d'une importante porosité structurale dans la couche travaillée (les techniques sans labour, précédemment utilisées dans la région, ont été abandonnées à cause du risque élevé d'ennoyage des parcelles au cours de l'hiver), et (ii) de retarder au printemps les levées d'adventices (ceci permettant des économies appréciables d'herbicides à l'automne). Ce labour est suivi de l'opération de semis, réalisée avec un outil combinant une herse animée et le semoir. Ce passage unique d'engin est effectué avec un tracteur de forte puissance équipé d'un dispositif anti-compactage (roues jumelées à l'arrière, rouleau d'appui à l'avant) destiné à rappuyer sans excès la couche labourée, sur la largeur de travail du semoir.

Les conditions d'emploi de cet itinéraire technique varient entre parcelles au cours de la campagne de semis, selon les dates (et donc les conditions d'humectation du sol) de la récolte du précédent cultural, du labour et du semis du blé, ces différentes dates n'étant pas indépendantes. On peut alors distinguer (tableau I) cinq modalités mises en œuvre l'année d'étude. Pour chacune, l'état du sol créé est décrit après chaque étape de réalisation des travaux.

On constate que seule la modalité B (labour et semis en sol réhumecté) a permis d'obtenir un état du profil cultural satisfaisant. Au contraire, les conditions trop sèches (A) ou trop humides (D et E) aboutissent à des états défavorables. La situation C, comparée à B, montre l'impact d'un mauvais réglage du dispositif anti-compactage (mauvais équilibrage des pressions de gonflage des roues du tracteur et des roues jumelées),

**Tableau I.** Différentes modalités de mise en œuvre d'un itinéraire technique, conséquences sur les performances du blé d'hiver.

| **Récolte du précédent cultural** | |
|---|---|
| **Précoce, en sol sec** | **Tardif, en sol humide (après maïs, tournesol)** |
| Profil non dégradé | Profil dégradé (continu et compact) |

| **Labour d'automne pour le blé** | | |
|---|---|---|
| **Précoce, en sol sec** | **En sol réhumecté** | **Tardif, en sol humide** |
| Bandes de labour peu fragmentées (grosses mottes et cavités) | Bandes de labour très fragmentées, terre fine abondante, pas de cavités | Bandes de labour peu fragmentées (grosses mottes tassées et cavités) |

| **Implantation du blé** (outil combiné avec le semoir) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Précoce, en sol sec** | **Sol réhumecté, DAC bien réglé** | **Sol réhumecté, DAC mal réglé** | **Sol humide** | **Sol humide** |
| Lit de semence grossier, persistance des mottes de labour et cavités | Lit de semence fin, pas de tassement sous les roues | Lit de semence hétérogène, tassement sous les roues du tracteur (1/3 de la largeur du semoir) | Lit de semence hétérogène, tassement sous les roues du tracteur et les roues jumelées (2/3 de la largeur du semoir) | Lit de semence grossier, tassement sur l'ensemble de la couche labourée, persistance des cavités les plus profondes |
| **A** | **B** | **C** | **D** | **E** |

| **Parcelles ayant atteint au moins 80 % du rendement potentiel du blé** (en fréquences, pour chaque modalité de l'itinéraire technique) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 0,55 | 0,71 | 0,42 | 0,17 | 0 |

DAC : dispositif anti-compactage (roues jumelées à l'arrière, rouleau d'appui à l'avant du tracteur).

et la situation D correspond aux cas où l'on a été au-delà des limites d'emploi de cet équipement. On constate aussi qu'après une récolte tardive du précédent cultural, le sol dégradé par cette opération ne peut être amélioré par le labour et les travaux de semis, vu la persistance des conditions d'excès d'humidité.

La variabilité des états obtenus, avec des équipements très analogues mais selon leurs conditions d'emploi, est donc très grande. Mettre en rapport les états du sol obtenus avec les performances du blé n'aurait pas grand sens si on le faisait directement avec les rendements, étant donné l'existence d'une forte incidence de la date de floraison (liée pour partie à la date de semis, et donc aux modalités d'implantation) sur celui-ci.

Pour éviter cette confusion d'effet, qui reviendrait à pénaliser d'entrée de jeu les semis les plus tardifs, on a calculé pour chaque parcelle son rendement potentiel, obtenu lorsque seule l'énergie lumineuse est limitante au cours de la phase floraison - maturité. Ce potentiel varie, au sein de l'échantillon, de 8,6 à 9,6 t/ha. On a ensuite dénombré, pour chaque modalité d'implantation, les parcelles qui dépassaient le seuil de 80 % de ce rendement potentiel. Sur cette base, le classement des différentes modalités devient possible et l'on voit (tableau I) : (i) que la modalité E n'a pas permis d'approcher le rendement potentiel, alors que la modalité B l'a atteint dans près des trois-quarts des cas, (ii) qu'après un labour satisfaisant, le compactage de la couche labourée par le tracteur au semis est fortement pénalisant (comparaison de B avec C et D), et (iii) que la modalité A, caractérisée par un rappuyage insuffisant, est pénalisée dans la moitié des cas.

Sans vouloir affecter au seul état du profil cultural, et aux modalités d'utilisation d'un itinéraire technique, la totalité des raisons d'une pénalisation des rendements du blé, on constate bien l'existence d'une relation, qui est en accord avec le référentiel agronomique et qui permet d'affiner le jugement sur les pratiques de travail du sol. La typologie de situations à laquelle on aboutit est particulièrement simple, et se révèle par ailleurs très robuste dans l'explication des déterminismes de chaque cas : le diagnostic, mais aussi le pronostic, peuvent être établis et servir de base au conseil auprès des agriculteurs pour le choix des modalités de réglage et de dates d'emploi de leurs matériels.

La richesse de ce mode d'analyse de la diversité des situations culturales pose, en retour, la question de la pertinence d'une approche uniquement expérimentale sur le même sujet : si l'on avait comparé, au sein d'un même dispositif expérimental, la « technique traditionnelle » (c'est-à-dire celle qui est généralement utilisée dans la région) avec une « technique nouvelle », quelle modalité de mise en œuvre de chacune aurait-on étudiée ? Quelles conséquences en aurait-on tirées pour le jugement sur les techniques culturales ?

De façon très générale, apparaît la nécessité d'une approche systémique de la parcelle cultivée, avec de grandes exigences sur la pertinence et la qualité des contrôles à inscrire dans les protocoles de recherche, qu'il s'agisse d'expérimentations ou d'enquêtes.

## Le statut scientifique des recherches sur le travail du sol

Le statut scientifique de ce domaine semble d'entrée de jeu mal défini, d'abord parce qu'il relève de plusieurs disciplines qui doivent être mises en œuvre conjointement.

On citera, principalement :

- la physique et la mécanique du sol, indispensables pour rendre compte des mécanismes des changements d'état du sol, sous l'action des machines et des agents naturels (Gill et Vandenberg, 1967 ; Horn, 1989 ; Guérif, 1990), mais dont l'application à la complexité du champ cultivé est souvent décevante en pratique ;
- la pédologie, qui fournit des clés de la compréhension du fonctionnement des sols, et de l'extrapolation spatiale des résultats obtenus dans des dispositifs expérimentaux, mais qui est mieux armée pour traiter des déterminants naturels de la différenciation des sols que de l'effet des facteurs anthropiques sur leur évolution (Manichon, 1982) ;
- le machinisme agricole, mécanique appliquée à la conception des outils de travail du sol et à l'analyse de leurs mécanismes d'action, mais dans laquelle la part faite au pragmatisme est déterminante ;
- l'écophysiologie, qui fournit les connaissances sur les modalités de fonctionnement des peuplements végétaux soumis à des états variés du milieu de culture et à des conditions climatiques fluctuantes ;
- les sciences humaines, nécessaires pour l'analyse des pratiques paysannes, de leurs coûts et de leurs performances.

Le risque est grand d'aborder une question relative au travail du sol en privilégiant trop l'une de ces entrées par rapport aux autres. Dès lors, les réponses apportées sont fragmentaires et ont peu de portée opérationnelle, elles ne sont pas convaincantes pour les praticiens.

Il revient à l'agronomie, discipline de synthèse orientée vers la résolution des problèmes agricoles, de tirer parti de ces différents apports pour analyser et diagnostiquer les problèmes, de renvoyer vers les différents spécialistes l'étude de questions spécifiques nécessitant l'élaboration de connaissances nouvelles, et de construire

des solutions adaptées aux différents lieux et aux différentes catégories de producteurs en partant de l'analyse de la réalité et de la diversité du terrain.

Le cahier des charges des agronomes, vis-à-vis du travail du sol, est donc particulièrement contraignant. Sa mise en œuvre implique tout d'abord de posséder une grande expérience du terrain pour poser correctement les questions, les étudier par des dispositifs adaptés, et modéliser le fonctionnement du profil cultural. De plus, l'analyse des résultats des enquêtes culturales et la conception et la mise en place des expérimentations exigent de connaître le fonctionnement pratique des machines utilisées, et ce qu'elles sont susceptibles de fournir selon les conditions d'emploi. Ceci rebute souvent les jeunes chercheurs. Ils peuvent voir dans les protocoles de laboratoire, plus facilement maîtrisables techniquement que les travaux au champ et plus facilement répétables, la possibilité d'obtenir plus rapidement des résultats scientifiquement valorisables.

Enfin, et ce n'est pas le moins important, s'il est un domaine de la recherche agronomique qui ne saurait se concevoir sans interaction forte avec les paysans, c'est bien celui du travail du sol. Cette exigence est liée à la nature même de ce domaine, où la démarche scientifique ne peut se construire sans partir de la réalité technique et sociale. Mais admettre que l'on ne peut concevoir et conduire un programme de recherche en-dehors des utilisateurs, admettre que ceux-ci doivent être eux-mêmes des acteurs engagés dans la recherche, c'est aller contre les idées les plus communément répandues sur le statut des chercheurs dans la société. Ne peut-on voir là l'une des raisons essentielles des réticences que les chercheurs éprouvent à s'y engager ?

En définitive, considérées dans les institutions de recherche comme relevant plus de la technique que d'un domaine scientifique « noble », les recherches sur le travail du sol sont souvent délaissées, et dévolues sans appui scientifique réel à des structures de vulgarisation. Ceci est dommageable pour l'efficacité de la recherche agronomique, qui doit pourtant faire face à des demandes concernant autant la productivité des cultures que la gestion des ressources naturelles.

## Conclusion : quelles recherches sur le travail du sol ?

Le travail du sol constitue donc un domaine de recherche pluridisciplinaire, dont le point de départ est l'analyse des réalités du terrain et des pratiques des paysans, et dont la finalité est de proposer à ceux-ci un ensemble d'itinéraires techniques adaptés à leurs objectifs (de production, de coût) et à leurs contraintes (liées au milieu physique, aux caractéristiques de leurs exploitations et à leurs capacités de travail et d'équipement, et à leur environnement socio-économique). L'une des difficultés que rencontrent les institutions de recherche pour concevoir des programmes en ce domaine est que la diversité des situations réelles est tellement grande que l'on ne peut imaginer de les aborder toutes, et que la quantité de travail à consacrer pour étudier certaines d'entre-elles paraît très importante eu égard à des retombées limitées : la « science des localités » est alors un luxe que l'on ne peut se permettre.

Cette difficulté est réelle, mais il est possible d'aller au-delà en adoptant une démarche de programmation prenant en compte les exigences suivantes. Ces recherches doivent être sélectives, pertinentes, explicatives et participatives.

Elles doivent être sélectives, par l'identification des situations agricoles prioritaires. Les critères de sélection concernent principalement : (i) les caractéristiques du milieu physique (difficultés pour la mise en place des cultures, existence d'aléas climatiques, de risques de dégradation du milieu...) et l'extension spatiale de ces milieux dans une région, (ii) les systèmes de culture pratiqués et les risques de dégradation qu'ils engendrent à priori sur le sol, leurs coûts de mise en œuvre (intrants, équipement...) et l'intensité des risques économiques pour les agriculteurs. Concrètement, un zonage agro-climatique d'une région, confronté à une typologie des principaux systèmes de culture, permet à l'agronome d'identifier assez rapidement les situations où des « problèmes de travail du sol » et de gestion du milieu se posent avec le plus d'acuité.

Elles doivent être pertinentes, par l'identification des questions à résoudre dans ces situations : selon que l'on incrimine, au vu de mauvais résultats des cultures, la qualité du profil cultural ou au contraire l'impossibilité de réaliser les semis aux dates « optimales », les thèmes de recherche seront différents. Dans le premier cas, on privilégiera l'étude des relations sol-machine et des réactions des systèmes racinaires à l'état du sol (c'est-à-dire des investigations à l'échelle de la parcelle, mettant en comparaison différents itinéraires techniques), dans le second, on analysera les raisons de l'étalement dans le temps des semis, qui tiennent à l'équipement des exploitations, à leur force de travail et à la manière dont elles sont allouées aux différentes tâches (on comparera donc des exploitations). Dans les deux cas, on s'intéressera à l'analyse et à la compréhension de la variabilité des états du profil cultural (voir l'exemple présenté au tableau I) pour l'identification des questions. Certaines d'entre-elles ne seront pas considérées comme des questions de recherche, lorsque des solutions existent déjà et peuvent être proposées directement (Manichon, 1994) : on doit aller à l'essentiel.

Elles doivent être explicatives, pour permettre une extrapolation peu coûteuse des résultats obtenus en certains points du dispositif de recherche, aux situations de caractéristiques analogues. La modélisation de certains processus (transferts d'eau et de solutés, analyse des effets annuels et cumulatifs des différentes opérations culturales...) est ici particulièrement précieuse. Elle permettra aussi d'éviter de diffuser des résultats uniquement sous forme d'effets moyens calculés sur plusieurs années, ne prenant pas en compte la diversité des situations.

Et enfin, elles doivent être participatives dans leur mise en œuvre, dès la conception du programme de recherche.

Cet ancrage des recherches sur le travail du sol dans la réalité est une condition essentielle de leur réussite, il ne peut être obtenu que si les agronomes travaillent en liaison étroite avec les agriculteurs, pour identifier les questions et élaborer des réponses adaptées. Concrètement aussi, la maîtrise par les agronomes de la conduite pratique des machines est un atout déterminant de la pertinence des diagnostics et du réalisme des propositions.

Sur ces quelques principes de bon sens, il est possible de définir des programmes de recherche efficaces, associant différentes compétences, et conduisant les investigations à différentes échelles, du laboratoire au profil cultural, de la parcelle à la région.

## Références bibliographiques


COULOMB I, MANICHON H., ROGER-ESTRADE J., 1990. Évolution de l'état structural sous l'action des systèmes de culture. *In* Actes du colloque « La structure des sols et son évolution », J. Boiffin et A. Marin-Laflèche Eds., Inra, p. 137-155.

GILL W.R., VANDENBERG G.E., 1967. Soils dynamics in tillage and traction. Agricultural Handbook n° 316. Agricultural Research Service, Usda.

GUERIF G., 1990. Conséquences de l'état structural sur les propriétés et les comportements physiques et mécaniques. *In* Actes du colloque « La structure des sols et son évolution », J. Boiffin et A. Marin-Laflèche Eds, Inra, p. 71-90.

HENIN S., GRAS R., MONNIER G., 1969. Le profil cultural : l'état physique et ses conséquences agronomiques. Masson, Paris, 332 p.

HORN R., 1989. Strength of structured soils due to loading : a review of processes on macro and micro scale ; european aspects. *In* Mechanics and related processes in structured agricultural soils. Larson *et al.*, Eds. NATO ASI, Ser. E, vol. 172, 240.

MANICHON H., 1994. Quelques questions et réponses sur les enquêtes régionales. *In* Analyse de la diversité des situations agricoles. Actes de l'atelier d'échanges et de formation 22-28 octobre 1993. Garoua (Cameroun). Colloques du Cirad, Montpellier, p. 58-62.

MANICHON H., 1982. Influence des systèmes de culture sur le profil cultural. Thèse Ina-Pg, 214 p.

ROGER-ESTRADE J., 1995. Modélisation de l'évolution à long terme de l'état structural des parcelles labourées. Contribution à l'analyse des effets des systèmes de culture. Thèse Ina-Pg 185 p.

SEBILLOTTE M., 1978. Itinéraires techniques et évolution de la pensée agronomique. CR. Ac. Agr. Fr.

SEBILLOTTE M., 1990. Système de culture. Un concept opératoire pour les agronomes. *In* Les systèmes de culture. L. Combe et D. Picard Eds. Inra, Paris, p. 165-196.

SEGUY L., BOUZINAC S., TRENTINI A., CORTES N.A., 1996. L'agriculture brésilienne des fronts pionniers. Agricuture et Développement, 12:2-61.