# Nouvelles techniques de préparation des vertisols en culture maraîchère à la Martinique

## Incidences pédologiques et agro-économiques

Le sud de la Martinique a été occupé pendant plus de deux siècles par la culture de canne à sucre. La mise en place d'un périmètre irrigué, entre 1979 et 1988, a favorisé le maraîchage et les prairies irriguées. Les pratiques maraîchères intensives ont entraîné un développement économique considérable. Elles ont aussi été accompagnées d'une dégradation physique du sol par érosion et compaction, aggravées par l'augmentation de la puissance des outils. Les phénomènes d'érosion sont les plus inquiétants car ils risquent de provoquer la disparition du potentiel de production de cette zone (ALBRECHT *et al.*, 1992). D'autres solutions doivent donc être proposées : dans ce but, un projet pluridisciplinaire a été élaboré pour évaluer différentes techniques de préparation des cultures maraîchères.

C. HARTMANN[1], E. BLANCHART[1], A. ALBRECHT[2], A. BONNETON[3], F. PARFAIT[4], M. MAHIEU[4], C. GAULLIER[1], J.-F. NDANDOU[5]

1. Orstom, Laboratoire de biologie et organisation des sols tropicaux (Bost), BP 8006, 97259 Fort-de-France Cedex, France

2. Icraf, United Nations Avenue, Gigiri, PO Box 30677, Nairobi, Kenya

3. Université des Antilles et de la Guyane, département d'agronomie tropicale, 97159 Pointe-à-Pitre Cedex, France

4. Conseil général de la Martinique, Station d'essais en cultures irriguées (Seci), 97227 Sainte-Anne, France

5. Orstom, Laboratoire du comportement des sols cultivés (LCSC), BP 5045, 34032 Montpellier Cedex, France

**Remerciements** — Les auteurs tiennent à remercier C. FELLER et Y.-M. CABIDOCHE pour leurs suggestions quant à la rédaction de cet article.

Ces dernières décennies, le principal objectif de l'agriculture était d'atteindre les niveaux de production les plus élevés possibles. Les techniques mises en œuvre — fertilisation, mécanisation, irrigation, traitements phytosanitaires — ont permis d'obtenir des productions records dans de nombreuses filières. Cet accroissement s'est souvent fait au détriment du sol et parfois de l'environnement (PIMENTEL *et al.*, 1995). Depuis peu, la volonté de protéger le milieu et de garantir une

agriculture durable a pris le pas sur la recherche des rendements maximaux (MILLER et WALI, 1995 ; BUOL, 1995). Des pratiques culturales originales doivent être proposées, rentables et plus respectueuses de l'environnement (AZAR *et al.*, 1996). Les transformations intervenues dans l'agriculture sur les vertisols du sud de la Martinique illustrent cette situation. C'est dans ce cadre qu'un projet pluridisciplinaire en culture maraîchère — pédologie, agronomie, économie, machinisme agricole — a été élaboré en collaboration entre plusieurs organismes implantés aux Antilles françaises. Il a consisté à comparer, en station expérimentale, l'évolution du sol, des rendements et des coûts de production pour deux techniques de préparation en culture maraîchère :

– un travail de retournement profond (40 cm) avec une charrue à soc et plusieurs reprises ;

– un travail de fragmentation superficiel (10 cm) à l'aide d'une rotobêche, sans reprise.

La parcelle mise en culture est une prairie artificielle irriguée, fertilisée, pâturée et non travaillée depuis 16 années, jugée dans un état physique optimal. L'évolution pédologique est suivie par 3 paramètres :

– la teneur en matière organique dont la décroissance peut être un indicateur du risque d'érosion pour ces sols (ALBRECHT *et al.*, 1992) ;

– l'augmentation des teneurs en eau avant mise en culture (fin de saison humide) qui peut révéler la présence de semelles lissées par les travaux antérieurs, ces semelles limitant le drainage et augmentant le risque d'hydromorphie (CABIDOCHE et NEY, 1987) ;

– les vers de terre qui réagissent très vite aux perturbations du milieu, notamment aux techniques de préparation du sol. Ils sont parfois utilisés comme un indicateur de la qualité des sols (PANKHURST *et al.*, 1995).

La plante test choisie est le melon du fait de son importance économique aux Antilles (KOUSSOULA-BONNETON, 1993).

Cet article fait le bilan après 2 années de mesure sur les sols et 3 années de mesure du rendement. Les mesures économiques en station expérimentale sont complétées par une enquête menée chez un agriculteur utilisant à la fois des préparations profondes et superficielles.

## La conduite de l'expérimentation

Les parcelles sont installées sur le domaine expérimental de la station d'essais en cultures irriguées du Conseil général de la Martinique (14° 25 N, 60° 53 W, altitude 20 m, figure 1). La pluviométrie annuelle est de 1 580 millimètres (moyenne 1981-1995) et l'évapotranspiration potentielle de 1 380 millimètres avec un déficit saisonnier d'environ 500 millimètres réparti de janvier à juin.

### Traitements expérimentaux

La prairie a été plantée en *Digitaria decumbens* (Pangola) en 1979. Depuis cette date, elle a toujours été fertilisée, irriguée et pâturée par des ovins.

En janvier 1995, deux blocs expérimentaux de 300 mètres carrés (30 x 10 m) séparés par une bande de circulation de 2,5 mètres sont préparés selon deux modes : le labour conventionnel et le travail simplifié.

Le labour conventionnel (LC) consiste en un retournement par un labour à 40 centimètres de profondeur avec une charrue à un soc (16 pouces, soit 40 cm) tirée par un tracteur de 100 CV (75 kW). Pour obtenir un lit de semence correct, le labour est suivi de trois opérations de reprise : cultivateur à 25-30 centimètres de profondeur (tracteur 100 CV), rotobêche (largeur 1,2 m) à 20 centimètres de profondeur (tracteur 20 CV, 15 kW) et rotavator à 10-15 centimètres de profondeur (tracteur 20 CV).

Le travail simplifié (TS) consiste en une fragmentation sans retournement avec une rotobêche (largeur 2,5 m) réglée à 10 centimètres, entraînée par un tracteur de 100 CV. Aucune opération de reprise n'est pratiquée.

Pour que les plants de melon (*Cucumis melo* L., cv. Alpha F1, Thézier) puissent être mis en place à la même date sur les deux parcelles, les préparations

Figure 1. Carte des sols et localisation de la Martinique.

# Le cadre du projet

## Les participants et les partenaires

• Orstom : Institut français de recherche scientifique en coopération pour le développement
• Seci : station d'essais en cultures irriguées, conseil général de la Martinique
• Uag : université des Antilles et de la Guyane, département d'agronomie
• Cirad : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
• Cemagref : Centre national du machinisme agricole, du génie rural des eaux et forêts
• Inra-Crag : Institut national de la recherche agronomique, Centre de recherches Antilles-Guyane
• Socopma : société coopérative maraîchère de la Martinique
• M. PRADO (consultant) et les maraîchers du sud de la Martinique qui ont participé aux diverses enquêtes.

Ce projet a été soutenu par un financement de la Commission de coordination de la recherche dans les départements et les territoires d'outre mer (Cordet).

## Les vertisols de la Martinique

Aux Antilles, les vertisols sont représentés depuis Trinidad jusqu'à Cuba et se trouvent dans une gamme variée de climats, de positions topographiques et de substrats géologiques (AHMAD, 1996). A la Martinique, ils sont développés sur des matériaux volcaniques et localisés dans les zones basses, à faible relief et à saison sèche marquée. Ils sont classés Eutric Vertisol (Fao classification, 1988) ou Leptic Hapludert (Usda classification, 7th approximation). Ils se distinguent par leur forte teneur en argile (60 à 70 %), un pH proche de la neutralité mais légèrement acide (6 à 6,5) et leur caractère calco-magnéso-sodique — $Ca^{2+}$,18 cmol/kg, soit 50 à 60 % de la capacité d'échange cationique, $Mg^{2+}$, 13 cmol/kg soit 30 à 35 %, $Na^{+}$ passe de 1,6 cmol/kg en surface à plus 5,3 au-delà de 40 cm de profondeur, soit une évolution de 5 à 15 % de la CEC, $K^{+}$ passe de 1,5 cmol/kg en surface à moins de 0,4 au-delà de 40 cm de profondeur, soit une évolution de 5 à 1 % de la CEC.

Leur structure est grossière dès la surface (prismes pluri-décimétriques à métriques séparés par de larges fentes) et ils ne sont que faiblement *self mulching*. Les teneurs en eau sont souvent élevées en relation avec la forte teneur en argile. La plus grande partie de cette eau est contenue dans la porosité matricielle et elle est peu disponible pour la végétation (CABIDOCHE et VOLTZ, 1995) ; seule l'eau de la porosité structurale permet de satisfaire pleinement les besoins de la plante cultivée (OZIER LAFONTAINE et CABIDOCHE, 1995). Cette structure massive et continue ainsi que la forte teneur en argile induisent un ressuyage lent. Lorsqu'il est humide, le sol est adhérent et le labour exige une puissante force motrice. Le risque de lissage en fond de labour devient alors important et les conséquences peuvent être multiples : stagnation d'eau dans la couche travaillée (CABIDOCHE et NEY, 1987) et asphyxie des racines attestée par le développement de taches d'hydromorphie, augmentation du risque de ruissellement en cas de fortes pluies (YULE et WILLCOCKS, 1996).

La présence de magnésium et de sodium provoque une forte sensibilité des argiles à la dispersion. Même un ruissellement peu intense sur une pente faible peut induire une érosion en nappe. Comparés aux sols sous prairie, les parcelles maraîchères présentent un risque important d'érosion en relation avec la baisse de teneur en matière organique et l'absence de couverture végétale pendant une partie importante de l'année (ALBRECHT *et al.*, 1992).

Pour prévenir cette érosion, les pratiques agricoles doivent permettre de maintenir le stock organique des horizons de surface. Malheureusement, les apports sont rapidement minéralisés et donc peu efficaces (BROSSARD *et al.*, 1985). Le moyen le plus efficace pour maintenir ou reconstituer le stock organique des parcelles dégradées par le maraîchage est la mise en place de prairies artificielles (irriguées, fertilisées et pâturées). Dans ces conditions, l'accroissement peut atteindre 9 tonnes de carbone organique par hectare en 3 ans dans l'horizon 0-30 centimètres, soit 19 % du stock initial (CHEVALLIER *et al.*, soumis).

## Le maraîchage sur vertisol

Dans le sud de la Martinique, 70 % des exploitations se consacrent à la polyculture et à l'élevage, seules 30 % sont spécialisées dans le maraîchage. Pour préparer les sols, les agriculteurs ont adopté des préparations profondes inspirées des techniques utilisées dans le passé pour la canne à sucre et actuellement pour la banane. Leur objectif est d'améliorer le drainage vertical et l'enracinement des plantes afin d'utiliser au mieux l'eau et les éléments minéraux, et obtenir les rendements les plus élevés. Les préparations se font après la saison cyclonique, en général à partir du mois d'octobre, donc avant la fin de la saison des pluies. Selon une enquête (ESPAGNOL, 1993), le labour profond (plus de 40 cm) est pratiqué par 83 % des agriculteurs et le sous-solage par 65 %. La moitié des agriculteurs réalisent plusieurs cycles de cultures par an avec préparations profondes et travaux de reprises. Dans 44 % des exploitations, les parcelles subissent 10 à 18 passages d'outils par an. Comme 61 % des agriculteurs ne sont pas autonomes pour la mécanisation, le matériel est emprunté ou loué lorsqu'il est disponible et les préparations sont effectuées quels que soit l'humidité et l'état du sol.

Les agriculteurs ne sont pas sensibles aux risques de ces pratiques intensives. Il n'existe pas de tradition maraîchère sur ces vertisols et le niveau de formation agricole est faible — 35 % des agriculteurs ont reçu une formation concernant le maraîchage. Les surfaces maraîchères sont souvent louées (le fermage se pratique dans 61 % des exploitations), ce qui ne facilite pas la prise de conscience des problèmes liés à la conservation des sols — seuls 22 % des agriculteurs ont observé les phénomènes d'érosion.

## La situation agricole à la Martinique

Les structures agricoles de Martinique sont héritées de l'économie de plantation et restent tournées vers l'exportation. Les débouchés des produits d'exportation sont assurés, à un prix généralement rémunérateur, vers la France et l'Union européenne.

Malgré tous les efforts de diversification déployés par l'administration et par les professionnels, les grandes exploitations d'exportation restent dominantes (banane, canne à sucre). La surface agricole utilisée a diminué de près d'un tiers en 20 ans et 41 % de la surface agricole est toujours en herbe.

Seuls quelques îlots d'agriculture moderne se sont développés. C'est le cas des cultures maraîchères pour lesquelles les bénéfices peuvent être importants et rapides, ce qui a stimulé les initiatives individuelles — la production agricole finale moyenne atteint 120 000 FF/ha/an. Les productions végétales étant créatrices d'emplois, environ 1 homme par hectare, les pouvoirs publics, préoccupés par ce problème (27 % de la population active au chômage), ont largement soutenu ces initiatives.

L'élevage reste délaissé par les agriculteurs car la valorisation finale est nettement moindre — en moyenne 6 500 FF/ha/an — et par les autorités locales car l'impact sur l'emploi est faible — une personne suffit pour plusieurs dizaines d'hectares. Le taux de couverture en produits laitiers reste inférieur à 2,5 % de la consommation, il est d'environ 17,5 % en viande ovine et de 33 % en viande bovine. L'amélioration des pratiques permet pourtant d'augmenter la production, la rendant plus attractive — jusqu'à 28 000 FF/ha/an en élevage intensif sur pâturage irrigué.

de labour conventionnel ont débuté 15 jours avant celles de travail simplifié. Chaque bloc expérimental comprend 6 lignes de 50 plants.

La conduite de la culture est identique pour les deux blocs. Un paillage plastique évite les opérations de sarclage, l'irrigation est réalisée au goutte à goutte (1,5 l/h/plant), les fertilisants sont apportés avec l'eau d'irrigation, les produits phytosanitaires sont épandus à la main.

La première culture de melon a été installée en février 1995 et récoltée en avril. Après récolte, les parcelles sont restées en jachère jusqu'à l'année suivante (février 1996) ; elles ont alors subi un deuxième travail du sol (identique au premier) et une deuxième culture de melon. Après un itinéraire technique toujours identique, une troisième culture est installée en février 1997 sur les mêmes parcelles.

## Mesures sur le sol

Des échantillons ont été prélevés à la tarière tous les 10 centimètres et séchés à l'étuve afin d'établir les profils d'humidité aux mois de décembre 1995 et 1996, à la fin de la période de jachère et avant les deuxième et troisième séquences de travail du sol. La teneur en carbone a été mesurée à l'aide d'un microanalyseur CNS (Carlo-Erba Instruments) sur des échantillons de sol prélevés à deux profondeurs (0-10, 10-20 cm) dans chacune des parcelles (3 répétitions). Les vers de terre sont triés manuellement à partir de blocs de sol de 30 x 30 x 30 centimètres, prélevés dans chacune de ces parcelles (3 à 5 répétitions).

## Mesures sur la plante

Les bordures ne sont pas prises en compte dans la mesure du rendement. Les récoltes se font sur 200 plants centrés dans le bloc et regroupés en 40 lots de 5 plants. Chaque melon est pesé individuellement. Les masses de melons, commercialisables ou non (éclatés, attaqués par les rongeurs, etc.), sont estimées pour les deux traitements et les deux cycles de culture.

## Mesures micro-économiques

En station expérimentale, les opérations culturales (irrigation, fertilisation, etc.) étant identiques sur toutes les parcelles, seul le temps consacré au travail du sol est pris en compte ici pour comparer les deux traitements. Ces données économiques ne peuvent pas être extrapolées au milieu agricole car les temps de travail sont très largement surestimés — nombreuses manœuvres du fait de la faible taille des parcelles et du respect du protocole. Des données recueillies auprès d'un agriculteur venant d'acquérir une rotobêche complètent ces mesures.

# L'influence de la technique de préparation sur l'évolution du sol

## Teneur en carbone et risque d'érosion

Les deux techniques de préparation provoquent une diminution rapide et continue de la teneur en carbone organique (figure 2). Cette baisse est plus importante pour le labour conventionnel que pour le travail simplifié. Cette différence peut s'expliquer, d'une part, par une dilution de la matière organique des horizons superficiels dans l'ensemble des horizons travaillés et, d'autre part, par une minéralisation ou une érosion accrues avec le traitement labour conventionnel (NDANDOU *et al.*, b à paraître).

La baisse des teneurs en carbone a pour conséquence une diminution de la stabilité structurale dès la mise en culture. Il faut noter que la relation n'est pas linéaire — au-dessus d'environ 20 gC/kg de sol, la stabilité est relativement élevée et le risque d'érosion reste faible, en dessous de 15 gC/kg de sol, la sensibilité à l'érosion augmente fortement (figure 3). Après seulement deux cycles de culture, en labour conventionnel, la teneur en carbone à 0-10 centimètres de profondeur est déjà proche de la première valeur (21,7) alors que celle relative au travail simplifié est nettement supérieure (26,6). C'est lors du premier travail du sol que les pertes sont les plus importantes (NDANDOU *et al.*, a à paraître). Par conséquent il semble probable qu'après un troisième cycle de culture, la parcelle en labour conventionnel aura une teneur inférieure à 20 g/kg de sol alors qu'elle restera supérieure en travail simplifié (figure 4). Le travail superficiel limite donc les pertes en carbone et augmente la durée de moindre sensibilité du sol vis-à-vis de l'érosion.

## Profils hydriques

Pour le travail simplifié, les profils hydriques établis en fin de saison des pluies en décembre 1995 et 1996 sont similaires — pas de différence significative (figure 5). Pour le labour conventionnel, la teneur en eau a augmenté d'une année à l'autre sur l'ensemble de la couche travaillée (0-40 cm) ; l'augmentation la plus forte concerne l'horizon 20-30 centimètres situé au-dessus du fond de labour (+ 18 %). Pour les deux années de mesure, les teneurs en eau des parcelles en labour conventionnel sont systématiquement plus élevées que celles des parcelles en travail simplifié — différence significative entre 0 et 40 cm la deuxième année.

Après deux cycles de culture, les deux situations se distinguent aussi par l'aspect du profil hydrique. Les horizons superficiels sont moins humides que les horizons profonds en travail simplifié, alors qu'en labour conventionnel, la teneur en eau maximale est localisée dans les horizons proches de la surface (10-40 cm). Aux fortes teneurs en eau (plus de 50 %), le sol est plastique et très adhérent aux outils : les labours y sont difficiles et peu efficaces.

Les quantités d'eau reçues sont identiques. Les seules différences concernent le travail du sol et le développement d'une couverture végétale durant la période de jachère. Cette dernière semble mieux développée en travail simplifié et pourrait être à l'origine d'un ressuyage plus rapide grâce à une évapotranspiration plus importante.

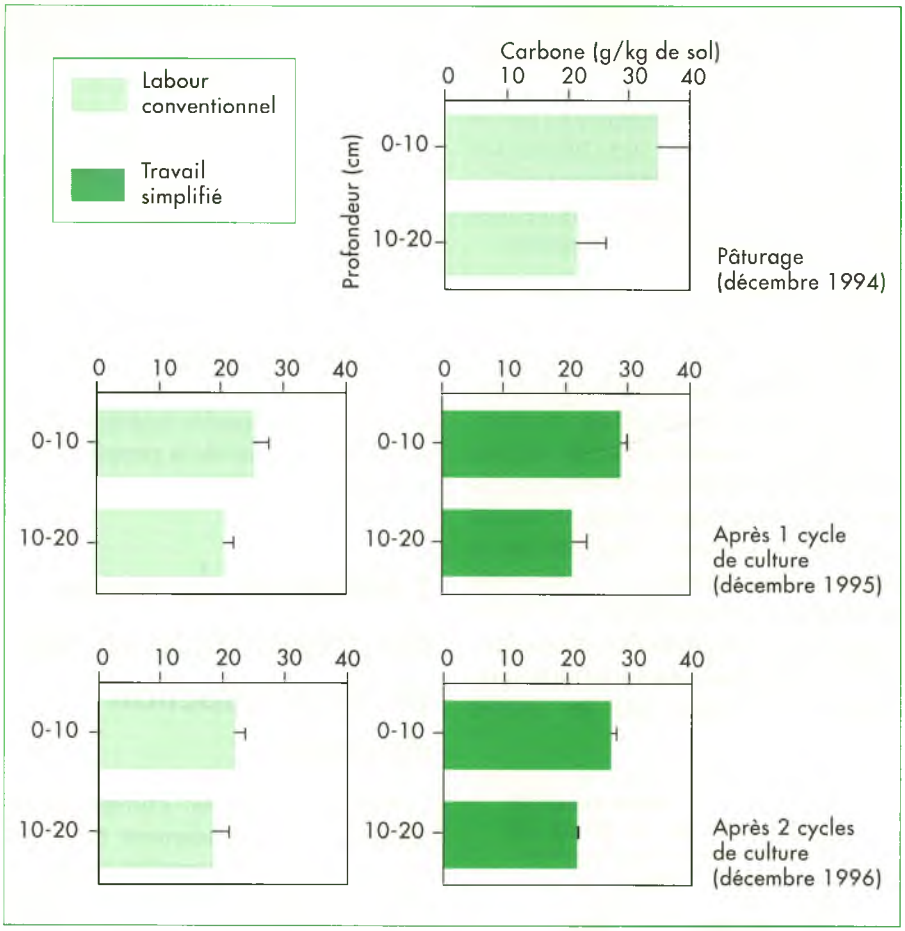


Figure 2. Evolution des teneurs en carbone (mg/g de sol) des horizons 0-10 et 10-20 cm après mise en culture d'un vertisol sous prairie avec préparation profonde et superficielle, après un et deux cycles de culture de melon (moyennes et écarts-types).

L'observation de profils pédologiques a montré que l'augmentation de teneur en eau en labour conventionnel est associée à l'apparition de taches d'hydromorphie à partir de 10 centimètres de profondeur ; sur les profils de travail simplifié, ces taches ne sont jamais observées. Ce phénomène pourrait s'expliquer par la disparition de la porosité structurale qui assure le drainage rapide et l'aération au profit de la porosité matricielle sous l'effet des contraintes mécaniques (McGARRY et CHAN, 1984) ou par l'apparition d'une discontinuité en fond de labour provoquant l'engorgement des horizons supérieurs (CABIDOCHE et NEY, 1987).

L'augmentation des teneurs en eau avant les travaux du sol peut être considérée comme une dégradation sur le plan agronomique : c'est une contrainte pour les labours (attente d'un ressuyage en profondeur ou augmentation de la puissance de traction) ; si l'hydromorphie persiste, elle peut être défavorable à l'enracinement et à l'alimentation hydrique de la plante.

Cette dégradation, même si elle est due à la synergie de plusieurs facteurs, semble être amplifiée par la répétition des préparations profondes.

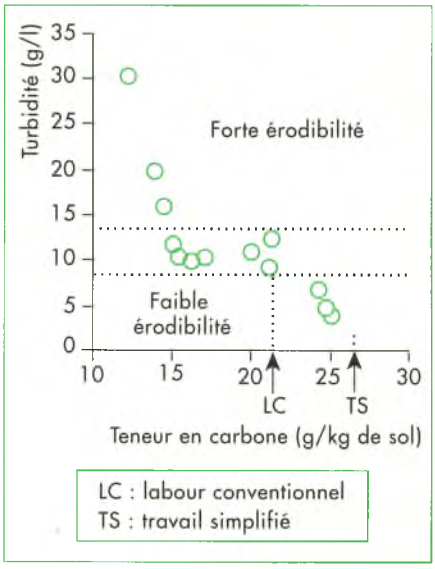


Figure 3. Relation entre teneur en carbone de l'horizon 0-10 cm des vertisols de la Martinique et la turbidité de l'eau de ruissellement recueillie sous simulation de pluie (intensité de la pluie : 150 mm/h, sol travaillé et non couvert par la végétation), d'après ALBRECHT *et al.*, 1992.

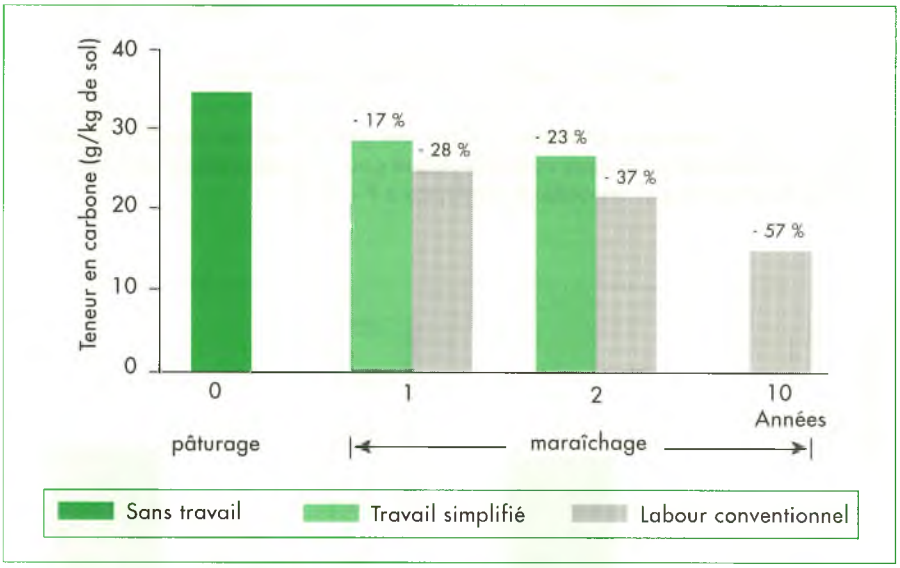


Figure 4. Evolution des teneurs en carbone (0-10 cm) après mise en culture d'un vertisol sous prairie selon deux modes de préparation du sol (labour conventionnel à 40 cm et préparation simplifiée avec une rotobêche à 10 cm), après un et deux cycles de culture de melon. Comparaison avec une prairie âgée (à gauche) et une culture maraîchère conventionnelle (profonde) de 10 ans (à droite) de la station d'essais en cultures irriguées. Les pourcentages indiquent la différence par rapport à la teneur en carbone du pâturage (indice 100).

## Activité biologique

Les prairies artificielles de longue durée, lorsqu'elles sont irriguées, fertilisées et pâturées, sont caractérisées par des peuplements importants de vers de terre — jusqu'à 200 individus/m², soit 90 % de la densité totale de macrofaune (ROSSI, 1992) — et une biomasse élevée — jusqu'à 100 g/m². L'espèce dominante est *Polypheretima elongata*. A l'opposé, les cultures maraîchères de longue durée abritent des peuplements très pauvres en cette espèce — moins de 10 individus/m², soit 4,5 % de la macrofaune totale, moins de 5 g/m².

La mise en culture maraîchère d'une prairie entraîne à plus ou moins long terme une forte diminution des populations de *P. elongata*. Les résultats de cette étude montrent qu'après deux cycles de culture (mai 1996), les vers de terre ont été beaucoup plus affectés (significativement au seuil de 5 %) par le labour conventionnel que par le travail simplifié — les biomasses moyennes sont respectivement de 5,3 et 82,5 g/m² et les densités moyennes de 23 et 73 individus/m² (figure 6).

Cette différence peut s'expliquer par l'action mécanique du labour (FRIEND et CHAN, 1995) mais vraisemblablement aussi par l'action indirecte du travail profond sur la structure du sol (modification du régime hydrique et climatique du sol) et sur la ressource organique. Ainsi, le travail superficiel préserve l'activité de la faune et les conséquences de cette activité sur les propriétés du sol (infiltration de l'eau). Après un travail profond, la discontinuité hydraulique, mise en évidence par les profils hydriques en fin de saison humide, a peu de chance d'être résorbée par des mécanismes biologiques.

Des dégradations physiques et biologiques existent avec les deux modes de préparation du sol. Pour les préparations superficielles, elles sont moins importantes la première année et les effets cumulatifs lors d'un second cycle de culture sont limités. Pour les préparations profondes, l'effet cumulatif est beaucoup plus élevé ainsi que le montrent les profils hydriques et la plus faible densité de la population de *P. elongata*.

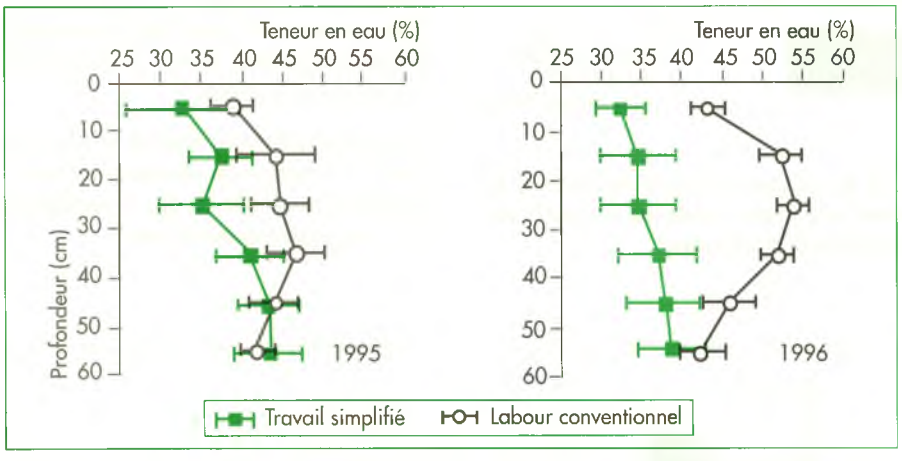


Figure 5. Profils hydriques massiques (g d'eau par g de sol sec) au mois de décembre 1995 et 1996, après un et deux cycles de culture pour les préparations profonde et superficielle (moyenne et intervalle de confiance à P < 0,05).

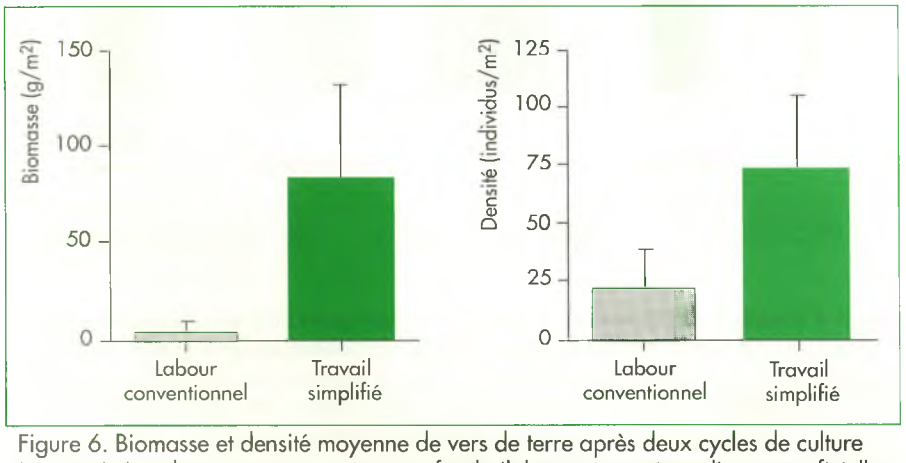


Figure 6. Biomasse et densité moyenne de vers de terre après deux cycles de culture (mai 1996) réalisés avec préparation profonde (labour conventionnel) ou superficielle (travail simplifié).

## L'influence du mode de préparation du sol sur la production de melon

Comparé au labour conventionnel (tableau 1), le rendement total des melons en travail simplifié était plus élevé en 1995 (non significatif), plus faible en 1996 (significatif) et en 1997 (non significatif). Le rendement en melons commercialisables pour le travail simplifié était plus élevé en 1995 (non significatif), plus faible en 1996 (significatif au seuil de 1%) et à nouveau plus élevé en 1997 (non significatif). La variabilité interannuelle du rendement est importante. Même si le plan d'expérimentation agronomique n'a pas de randomisation, ce résultat permet de constater que la profondeur de préparation du sol, comparée à d'autres facteurs, a une influence secondaire sur les variations de rendement.

## L'influence de la technique de préparation sur les coûts

En station expérimentale et en exploitation, le coût horaire de la main-d'œuvre a été fixé à 39 FF qui est le salaire minimum légal. Les charges variables de mécanisation sont calculées à partir du temps d'utilisation et

de la consommation horaire en carburant des engins (prix du gasoil détaxé : 1,77 FF/l). En station expérimentale, le tracteur de 100 CV consomme 22 l/h (38,94 FF/h) et le tracteur de 20 CV consomme au plus 6 l/h — 10,62 FF/h. Le total des charges variables en station est présenté dans le tableau 2. L'agriculteur ne dispose que d'un seul tracteur de 100 CV avec lequel il réalise toutes les opérations. Ses charges variables de mécanisation (carburant) sont estimées à 38,94 FF/h et le total des charges variables est donc de 77,94 FF/h quelle que soit l'opération réalisée.

En station expérimentale et en exploitation agricole, les charges variables de mécanisation sont plus élevées pour le labour conventionnel que pour le travail simplifié à cause des opérations de reprise (tableaux 2 et 3). Le rapport entre charges variables des préparations profonde et superficielle est de 2,9 en station expérimentale et seulement de 1,3 chez l'agriculteur. Après le passage de la machine à bêcher, l'agriculteur a choisi de faire une reprise (la rotobutte est un cultivateur rotatif à axe horizontal associé à une butteuse) et ce choix double son temps de travail et ses charges. Sans ce travail de reprise, les charges n'auraient été que de 475 FF, soit un rapport de 2,5. Cette opération de reprise a certainement été effectuée car elle correspond au schéma classique de travail du sol, mais elle ne semble pas justifiée : un réglage adapté de la rotobêche permettrait d'obtenir un état physique satisfaisant en seul passage.

Un investissement important en matériel de traction est nécessaire pour les préparations profondes, quels que soient la taille et le niveau de production de l'exploitation. La faible résistance du sol en conditions humides entraîne un patinage important. Il faut un tracteur à 4 roues motrices d'une masse de 4 tonnes pour un labour à 40 centimètres avec un soc de 16 pouces. Dans notre enquête, l'agriculteur a acheté une machine à bêcher de grande largeur (2,5 m) adaptée au tracteur de 100 CV qu'il possédait. Dans cette région, la plupart des exploitations maraîchères ont une taille de quelques hectares, il serait donc suffisant d'être équipé d'une machine à bêcher plus petite (1,2 m) entraînée par un tracteur de 40-50 CV. Les investissements, avec un travail simplifié, pourraient être réduits de 40 % (tableau 4).

Tableau 1. Rendement total et commercialisable (sans les rebuts) en melons sur la station expérimentale, en tonnes par hectare.

| | Production totale (t/ha) | | Production commercialisable (t/ha) | |
|---|---|---|---|---|
| | LC | TS | LC | TS |
| 1995 | 20,9 | 23,4 (nsd) | 16,6 | 21,4 (nsd) |
| 1996 | 36,9 | 30,2 (**) | 32,0 | 25,3 (**) |
| 1997 | 28,4 | 27,9 (nsd) | 23,4 | 24,7 (nsd) |
| Moyenne | 28,7 | 27,2 | 24,0 | 23,8 |

nsd : non significativement différent ; ** : significatif au seuil de 99 %.
LC : traitement en labour conventionnel ; TS : traitement en travail simplifié.

Tableau 2. Temps de travail et charges variables de mécanisation ramenés à l'hectare pour les parcelles expérimentales (300 m²).

| | Labour conventionnel | Travail simplifié |
|---|---|---|
| Temps de travail (h/ha) | 61,4 | 21,3 |
| Main-d'œuvre (FF/ha) | 2 400 | 833 |
| Carburant (FF/ha) | 1 333 | 467 |
| Total charges variables (FF/ha) | 3 733 | 1 300 |

Tableau 3. Temps de travail (h/ha) en fonction des outils dans une exploitation agricole qui pratique labour conventionnel et préparation superficielle avec un tracteur de 100 CV. Calcul des charges variables de mécanisation pour un hectare.

| Labour conventionnel | | Travail simplifié | |
|---|---|---|---|
| Charrue tri-socs | 7,5 | Machine à bêcher 2,5 m | 5,5 |
| Pulvériseur à disques | 2,0 | Rotobutte | 6,0 |
| Rotobutte | 6,0 | | |
| Total (h/ha) | 15,5 | Total (h/ha) | 11,5 |
| Total charges variables (FF/ha) | 1 208,5 | Total charges variables (FF/ha) | 896,5 |

Tableau 4. Investissements en matériel, en milliers FF, pour un labour conventionnel, des préparations superficielles avec du gros matériel (travail simplifié lourd) ou non (travail simplifié léger).

| Labour conventionnel | | Travail simplifié lourd | | Travail simplifié léger | |
|---|---|---|---|---|---|
| outil | prix | outil | prix | outil | prix |
| Charrue trisoc | 40 | rotobêche 2,5 m | 90 | rotobêche 1,2 m | 70 |
| Pulvérisateur disques | 50 | rotobutte | 40 | rotobutte | 40 |
| Tracteur 100 CV | 250 | tracteur 100 CV | 250 | tracteur 45 CV | 160 |
| Investissement total | 380 | investissement total | 380 | investissement total | 230 |

## Intérêt et limites des techniques expérimentées

Les travaux superficiels réalisés avec des itinéraires simplifiés permettent de mieux préserver les caractéristiques du sol (carbone, activité vers de terre, structure). Sur le plan économique, les rendements sont à peine inférieurs, mais la consommation énergétique est nettement plus faible. Sur le plan technique, la simplification des travaux réduit la période entre le début et la fin de la préparation et offre une plus grande flexibilité du calendrier des opérations. Cette flexibilité est déterminante pour réaliser les plantations dans une zone où la variabilité interannuelle des pluies est forte et pour commercialiser la production à la période où les prix sont les plus élevés.

Malgré les avantages des préparations superficielles, la diminution des teneurs en matière organique des horizons de surface reste rapide et le risque d'érosion persiste après trois années. L'utilisation de rotations maraîchage/prairies artificielles intensifiées pourrait être une solution acceptable dans une région où l'élevage est surtout associé au maraîchage. Mais la mise en place d'une prairie artificielle avec des espèces bouturées reste une opération longue et coûteuse, même si les préparations superficielles, moins dégradantes, autorisent une installation plus rapide du couvert végétal, en comparaison des parcelles maraîchères actuelles. Des essais se poursuivent pour des cultures en bande (préparations superficielles) sur une prairie de *Digitaria decumbens* irrigué, fertilisée et pâturée. Cela limiterait les contraintes mécaniques et préserverait au maximum le statut organique et biologique du sol. La couverture végétale permanente assurerait alors une protection contre l'érosion et, après chaque cycle de culture, la colonisation des bandes cultivées par *Digitaria decumbens* pourrait être rapide.

## Conclusion

Quel que soit le mode de préparation du sol, la mise en culture des vertisols provoque une baisse rapide des stocks organiques. Pour préserver le capital sol et maintenir une activité agricole à long terme, les rotations entre le maraîchage utilisant des préparations superficielles et des pâturages intensifiés peuvent être envisagées. Ces pâturages maintiennent une production agricole tout en reconstituant le stock organique. L'utilisation du sol serait intensive tout en restant durable. A la Martinique, ces rotations pourraient être facilement adoptées, surtout dans les exploitations de taille moyenne.

Cet exemple démontre qu'une agriculture durable peut aussi être une agriculture à haut niveau de production. Il s'agit de remplacer les techniques habituelles de réhabilitation du sol et du milieu (intrants chimiques, nouvelles opérations techniques) par une réhabilitation effectuée directement par une plante cultivée. La recherche de la production maximale à court terme d'une seule filière est remplacée par des objectifs de production à long terme associant différentes spéculations.

Récemment, des préparations superficielles, avec préservation du stock organique et de l'activité biologique, ont été mises en place avec succès sur des sols tropicaux à kaolinite bien structurés (SEGUY *et al.*, 1996). Cet essai montre que de tels résultats peuvent également être obtenus sur des sols gonflants à smectite dont le comportement physique et le fonctionnement hydrique semblent pourtant moins adaptés à ces techniques.

## Bibliographie


AHMAD N., 1996. Occurence and distribution of Vertisols. *In* Vertisols and technologies for their management, AHMAD N., MERMUT A. (Eds), Developments in Soil Science Series 24, Elsevier, Amsterdam, Pays-Bas, p. 1-41.

ALBRECHT A., RANGON L., BARRET P., 1992. Effets de la matière organique sur la stabilité structurale et la détachabilité d'un vertisol et d'un ferrisol (Martinique). Cahiers Orstom, série Pédologie 27 : 121-133.

AZAR C., HOLMBERG J., LINDGREN K., 1996. Socio-ecological indicators for sustainability. Ecological Economics, 18: 89-112.

BROSSARD M., BALESDENT J., FELLER C., PLENECASSAGNE A., TURENNE J.-F., 1985. Etude de la matière organique des sols par fractionnement granulométrique. I. Décomposition au champ d'un compost enfoui dans plusieurs types de sols des Antilles. *In* Small Farm Systems in the Caribbeans, Proceedings 20th Caribbean Food Crop Society Meeting, Sainte-Croix, Etats-Unis, Virgin Island, p. 68-73.

BUOL S. W., 1995. Sustainability of soil use. Annual Review of Ecological Systems 26: 25-44.

CABIDOCHE Y.-M., NEY B., 1987. Fonctionnement hydrique de sols à argile gonflante cultivés. II.-Analyse expérimentale des fonctionnements hydriques associés à deux états structuraux en vertisol irrigué. Agronomie 7 : 257-270.

CABIDOCHE Y.-M., VOLTZ M., 1995. Non-uniform volume and water content changes in swelling clay soil: II. A field study on a Vertisol. European Journal of Soil Science 46: 345-355.

CHEVALLIER T., BLANCHART E., CHOTTE J.-L., ESCHENBRENNER V., VOLTZ M., MAHIEU M., ALBRECHT A. (à paraître). Spatial and temporal changes of soil C after installation of a pasture on a long-term cultivated Vertisol (Martinique). Geoderma, soumis pour publication.

ESPAGNOL G., 1993. Itinéraires techniques des producteurs maraîchers sur vertisols du périmètre irrigué du Sud-est de la Martinique. Rapport d'enquête, Conseil général de la Martinique, France, station d'essais en cultures irriguées (Seci), 31p.

FRIEND J.J., CHAN K.Y ., 1995. Influence of cropping on the population of a native earthworm and consequent effects on hydraulic properties of Vertisols. Australian Journal of Soil Research 33: 995-1006.

KOUSSOULA-BONNETON A., 1993. Le melon en Guadeloupe : de la culture minière à la culture itinérante ? Cahiers d'Agriculture 2 : 415-421.

McGARRY, D., CHAN, K.Y., 1984. Preliminary investigation of clay soils'behaviour under furrow irrigated cotton. Australian Journal of Soil Research 22 : 99-108.

MILLER F.P., WALI M.K., 1995. Soils, land use and sustainable agriculture: A review. Canadian Journal of Soil Science 75: 413-422.

NDANDOU J.-F., ALBRECHT A., BLANCHART E., HARTMANN C., KULESZA V., FELLER C., a (à paraître). Variations du stock organique d'un vertisol sous prairie par mise en culture maraîchère : effet du mode de travail du sol. 1- Teneurs et stocks en carbone total. European Journal of Soil Science, soumis pour publication.

NDANDOU J.-F., FELLER C., ALBRECHT A., HARTMANN C., BLANCHART E., b (à paraître). Variations du stock organique d'un vertisol sous prairie par mise en culture maraîchère : effet du mode de travail du sol. 2 - Teneurs et stocks en carbone des fractions granulométriques. European Journal of Soil Science, soumis pour publication.

OZIER-LAFONTAINE H., CABIDOCHE Y.-M., 1995. THERESA: II. Thickness variations of vertisols for indicating water status in soil and plants. Agricultural Water Management 28: 149-161.

PANKHURST C.E., HAWKE B.G., McDONALD H.J., KIRBY C.A., BUCKERFIELD J.C., MICHELSEN P., OBRIEN K.A., GUPTA V.V.S.R., DOUBE B.M., 1995. Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. Australian Journal of Experimental Agronomy 35: 1 015-1 028.

PIMENTEL D., HARVEY C., RESOSUDARMO P., SINCLAIR K., KURZ D., McNAIR M., CRIST S., SHPRITZ L., FITTON L., SAFFOURI R., BLAIR R., 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. Science 267: 1 117-1 123.

ROSSI J.-P., 1992. Répartition spatiale de la macrofaune du sol et de quelques caractéristiques pédologiques selon le mode d'exploitation d'un vertisol (Ste Anne, Martinique). Mémoire de Dea, université Pierre et Marie Curie, Paris VI, France, 28 p.

SEGUY L., BOUZINAC S., TRENTINI A., CORTES N.A., 1996. III. Le semis direct, un mode de gestion agrobiologique des sols. Agriculture et développement 12 : 38-58.

YULE D.F., WILLCOCKS T.J., 1996. Tillage and cultural practices. *In* Vertisols and technologies for their management, AHMAD N., MERMUT A. (Eds), Developments in Soil Science Series 24. Elsevier, Amsterdam, Pays-Bas, p. 261-302.

## *Résumé... Abstract... Resumen*

C. HARTMANN, E. BLANCHART, A. ALBRECHT
A. BONNETON, F. PARFAIT, M. MAHIEU, C. GAULLIER,
J.-F. NDANDOU — **Nouvelles techniques de préparation des vertisols en culture maraîchère à la Martinique. Incidences pédologiques et agro-économiques.**

Les pratiques maraîchères intensives développées sur les vertisols de la Martinique sont remises en cause car la production se fait au détriment du sol : par rapport aux prairies intensifiées qui permettent la conservation et même la réhabilitation du milieu, les labours des parcelles maraîchères diminuent les teneurs en carbone et augmentent leur érodibilité. Notre objectif est de proposer des pratiques qui préservent les sols et la production tout en restant rentables. Par rapport aux labours, notre étude montre en premier lieu que des préparations plus superficielles limitent la diminution des stocks organiques, facilitent le drainage et préservent mieux l'activité biologique ; en deuxième lieu, ces préparations ne provoquent pas de diminution significative des rendements, troisièmement, elles réduisent le temps de travail, les charges de mécanisation de 26 à 65 % et l'investissement en matériel jusqu'à 40 %. Les préparations superficielles sont plus rentables et préservent mieux le sol mais les risques de perte en terre persistent. La mise en place de rotations maraîchage/pâturage permettrait le maintien d'une production élevée et une gestion réellement durable du milieu.

Mots-clés : travail du sol, érosion, état physique du sol, coût de production, vertisol, agriculture durable, culture maraîchère, Martinique.

C. HARTMANN, E. BLANCHART, A. ALBRECHT
A. BONNETON, F. PARFAIT, M. MAHIEU, C. GAULLIER,
J.-F. NDANDOU — **New ways of preparing vertisols for market garden crops in Martinique. Pedological and agro-economic effects.**

The wisdom of intensive market garden crop cultivation on vertisols in Martinique is now being questioned as it leads to soil deterioration: in relation to intensified prairies, which conserve and even rehabilitate the soil, ploughing market garden crop plots reduces carbon contents and increases susceptibility to erosion. We set out to propose practices that would preserve both the soil and yields whilst remaining profitable. Compared to ploughing our study showed that more superficial land preparation i)limited the reduction in organic stocks, facilitated drainage and better preserved biological activity, ii) did not lead to any significant drop in yields, and iii) reduced work times and cut mechanization rates by 26 to 65% and investments in equipment by up to 40%. Superficial preparation proved to be more profitable and to protect the soil more effectively, but there were still risks of soil loss. Introducing market garden crop/pasture rotation would maintain high yields and enable truly sustainable environmental management.

Key words: ploughing, erosion, soil physical condition, production costs, vertisol, sustainable agriculture, market garden crops, Martinique.

C. HARTMANN, E. BLANCHART, A. ALBRECHT
A. BONNETON, F. PARFAIT, M. MAHIEU, C. GAULLIER,
J.-F. NDANDOU — **Nuevas técnicas de preparación de los vertisoles en cultivo de plantas comestibles en Martinica. Incidencias pedológicas y agro-económicas.**

Por lo tanto, se vuelven a poner en tela de juicio las prácticas de cultivos de plantas comestibles intensivas desarrolladas sobre los vertisoles de Martinica dado que la producción se hace en detrimento del suelo: en comparación con los prados intensificados que permiten la conservación e inclusive la rehabilitación del medio, las labranzas de las parcelas de plantas comestibles reducen los contenidos de carbono e incrementan su capacidad de erosión. Nuestro objetivo es proponer prácticas que preserven los suelos y la producción a la par de quedarse rentable. En comparación con las labranzas, nuestro estudio muestra que preparaciones más superficiales: i) limitan la disminución de las existencias orgánicas, facilitan el drenaje y preservan mejor la actividad biológica ii) no provocan disminución significativa de los rendimientos, iii) reducen el tiempo de trabajo, las cargas de mecanización de un 26 a un 65 % y la inversión en material hasta un 40%. Las preparaciones superficiales son más rentables y preservan mejor el suelo, pero los riesgos de pérdida de tierra persisten. La instalación de rotaciones plantas comestibles/pasto permitiría mantener una alta producción y un manejo verdaderamente duradero del medio.

Palabras-claves: trabajo del suelo, erosión, estado físico del suelo, costo de producción, vertisol, agricultura duradera, cultivo de plantas comestibles, Martinica.