



**EFFETS DES PRATIQUES CULTURALES
ET DU FUMIER SUR
LES PROPRIETES DES SOLS ET L'EROSION
DES COTEAUX PROFONDS
DANS LES ROUGIERS DE CAMARES (Aveyron)**

Anne Galibert

**Mémoire présenté en vue de l'obtention
du DESS intitulé "Environnement en milieu rural"**

soutenu le 23 septembre 1996

Tutrice : M^{elle} Catherine Guillerm (Chambre d'Agriculture de l'Aveyron)

Encadrant scientifique : M^r Georges De Noni (ORSTOM)

Rapporteur : M^r Jean Claude Revel (ENSAT)

Fonds Documentaire ORSTOM
Cote : A *14024 Ex: 1

Le tropique de l'Aveyron, c'est le Rougier de Camarès. Un tropique atypique avec des déserts miniatures et des colorados pour poupées. Mais les hommes y sont grandeur nature.

Graveline F., Massif Central Magazine, 1996.

REMERCIEMENTS

Avant toute chose, je tiens à remercier chaleureusement :

- Mademoiselle Catherine Guillerm, responsable de la Chambre d'Agriculture du Sud Aveyron, pour son encadrement et la confiance qu'elle m'a portée en me confiant ce travail ;

- l'équipe de l'ORSTOM, et tout particulièrement Messieurs Albrecht, Asseline, Barthès, De Noni, Roose et Viennot pour leur encadrement scientifique sur le terrain, au laboratoire et dans la rédaction de ce mémoire ;

- l'équipe de la Chambre d'Agriculture du Sud Aveyron, pour m'avoir accueillie avec autant de sympathie et initiée à son travail de terrain ;

- les agriculteurs enquêtés, pour s'être prêté à mes questions avec patience et gentillesse ;

- Monsieur Chabanel, de l'ITCF d'Albi, pour m'avoir conseillée dans l'élaboration de la grille d'enquête ;

- toutes les personnes qui m'ont aidée, de près ou de loin, à accomplir ce travail.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	p 1
---------------------	-----

PREMIERE PARTIE

LA ZONE D'ETUDE : PRESENTATION DU MILIEU ET PROBLEMATIQUE

I LE MILIEU	p 3
--------------------	-----

I-1 Le milieu physique	p 3
-------------------------------	-----

I-1-1 Situation géographique	p 3
------------------------------	-----

I-1-2 Climat	p 3
--------------	-----

I-1-3 Géologie	p 4
----------------	-----

I-1-4 Le sol des unités paysagères	p 4
------------------------------------	-----

I-2 Le milieu agricole	p 5
-------------------------------	-----

I-2-1 Démographie	p 5
-------------------	-----

I-2-2 Contexte historique et économique	p 5
---	-----

I-3 Un milieu sensible à l'érosion	p 6
---	-----

I-3-1 Fragilité du milieu physique	p 7
------------------------------------	-----

I-3-2 Dégradation par l'activité agricole	p 8
---	-----

I-3-3 Etendue de l'érosion	p 8
----------------------------	-----

II LES ACTIONS POUR LIMITER L'EROSION	p 9
--	-----

II-1 Les partenaires	p 9
-----------------------------	-----

II-2 La stratégie adoptée	p 10
----------------------------------	------

II-3 Les actions engagées	p 11
----------------------------------	------

II-3-1 Implantation d'un couvert végétal pérenne	p 11
--	------

II-3-2 Adaptation des pratiques culturales	p 12
--	------

II-3-1 Aménagement des bassins versants	p 13
---	------

III L'ETUDE	p 14
--------------------	------

DEUXIEME PARTIE

ENQUETE SUR LES PRATIQUES CULTURALES :

STATUT ORGANIQUE ET PROPRIETES PHYSIQUES DES SOLS

I ENQUETE SUR LES PRATIQUES DES AGRICULTEURS

I-1 Elaboration de l'enquête p 16

I-2 Description générale des 15 exploitations p 16

I-2-1 Le troupeau ovin p 17

I-2-2 Structuration de la SAU p 17

I-2-3 Les assolements p 17

I-3 Les pratiques culturales sur les coteaux profonds p 19

I-3-1 Le travail du sol p 19

I-3-2 Les deux types d'itinéraires techniques p 20

I-3-3 Le semis direct p 21

I-4 La gestion du fumier sur l'exploitation p 22

I-4-1 Les quantités produites et évacuées des bergeries p 22

I-4-2 Le stockage p 22

I-4-3 Le matériel d'épandage p 23

I-5 L'épandage du fumier p 23

I-5-1 La stratégie générale sur l'exploitation p 23

I-5-2 L'épandage sur les coteaux profonds p 24

I-6 Typologie des pratiques sur les coteaux profonds p 26

II ECHANTILLONNAGE DE 16 PARCELLES PAYSANNES p 26

II-1 Le choix des parcelles p 26

II-1-1 Détermination des parcelles à échantillonner p 26

II-1-2 Détermination des conditions de prélèvement p 27

II-1-3 Présentation des 16 parcelles échantillonnées p 28

II-2 Prélèvements	p 29
II-3 Observations des témoignages d'érosion	p 29
III CARACTERISATION DU STATUT PHYSIQUE ET ORGANIQUE DES 16 PARCELLES PAYSANNES	p 30
III-1 Matériel et méthodes	p 30
III-1-1 Statut organique	p 31
III-1-2 Statut physique	p 31
III-2 Humidités et teneurs en C et en N organiques des fumiers	p32
III-3 Teneurs en C organiques de 0 à 30 cm de profondeur	p 33
III-3-1 Profil des teneurs en C selon le mode d'enfouissement	p 33
III-3-2 Impact du mode d'enfouissement	p 33
III-4 Caractéristiques physiques et organiques du sol des 16 parcelles	p 34
III-4-1 Les caractéristiques	p 34
III-4-2 Les facteurs déterminants de la teneur en C dans la couche de sol 0-10 cm	p 36

TROISIEME PARTIE

EVALUATION DE L'ERODIBILITE DU SOL EN PARCELLES EXPERIMENTALES ; APPORT DE FUMIER PAR LE LABOUR OU SUR SEMIS DIRECT

I LES ESSAIS SUR LA PARCELLE EXPERIMENTALE DE VERRIERES	P 41
I-1 Présentation de la parcelle	p 41
I-1-1 Choix du site	p 41
I-1-2 Description du dispositif	p 41
I-1-3 Déroulement des essais et situations étudiées	p 43
I-2 Les mesures de laboratoire	p 43
I-2-1 Echantillonnage sur la parcelle	p 43
I-2-2 Composition granulométrique et teneurs en C organique total	p 44
I-2-3 Test de stabilité des agrégats	p 44
I-3 Les tests réalisés sur la parcelle	p 45
I-3-1 Simulation de pluie	p 45
I-3-2 Simulation de ruissellement	p 47
II COMPARAISON DE L'ERODIBILITE DU SOL DES SITUATIONS ETUDIEES	P 48
II-1 Les résultats des mesures de laboratoire	p 48
II-1-1 Stabilité des agrégats	p 48
II-1-2 Teneurs en C organique	p 49
II-2 Les résultats des tests réalisés sur la parcelle	p 50
II-2-1 Simulation de pluie	p 50
II-2-2 Simulation de ruissellement	p 52
III SYNTHESE ET CONCLUSION	p 53
CONCLUSION GENERALE	p 55

GLOSSAIRE

AOC : Appellation d'origine contrôlée

CUMA : Coopérative d'Utilisation du Matériel en Commun

CDASA : Comité de Développement Agricole du Sud Aveyron

FGER : Fonds de Gestion de l'Espace Rural

GAEC : Groupement Agricole d'Exploitation en Commun

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

INSEE : Institut National des Statistiques et des Etudes Economiques

ITCF : Institut Technique des Céréales et des Fourrages

LCSC : Laboratoire de Comportement des Sols Cultivés

ORSTOM : Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération

PAC : Politique Agricole Commune

PNRGC : Parc Naturel Régional des Grands Causses

RGA : Recensement Général Agricole

SAT : Surface Agricole Totale

SAU : Surface Agricole Utile

STH : Surface Toujours en Herbe

SIAH : Syndicat Intercommunal d'Aménagement Hydraulique

UTAF : Unité de Travail Agricole Familial

UTH : Unité de Travail Humain

INTRODUCTION

Dans le Sud Aveyron, région d'élevage de la brebis qui produit le lait pour le fromage de Roquefort, la zone des Rougiers de Camarès est touchée à 80% par l'érosion hydrique. Depuis 1989, les agriculteurs des Rougiers se mobilisent pour lutter contre la dégradation de leur capital sol. Actuellement, ils organisent leurs actions dans le cadre du volet agricole du Parc Naturel Régional des Grands Causses. Avant que les mesures anti-érosives soient proposées aux agriculteurs, la Chambre d'Agriculture du Sud Aveyron teste leur faisabilité à l'échelle de deux exploitations agricoles, situées sur la commune de Montlaur. Pour déterminer les pratiques agronomiques qui sont les mieux adaptées au milieu des Rougiers, la Chambre d'Agriculture fait notamment appel aux compétences de l'équipe du Laboratoire d'étude du comportement des sols cultivés (LCSC) de l'ORSTOM-Montpellier. Les années précédentes, des expérimentations ont été menées sur des coteaux maigres (sols peu épais) ; elles ont montré que l'implantation d'un couvert végétal pérenne est la meilleure solution pour freiner l'érosion tout en continuant à exploiter le sol par un pâturage extensif.

Cette année, les efforts sont concentrés au niveau des coteaux profonds, plus fertiles. Le sol y est travaillé fréquemment pour implanter des cultures fourragères et céréalières qui fournissent le stock d'aliments pour les troupeaux. La Chambre d'Agriculture est chargée de mettre en évidence, en collaboration avec le LCSC, les pratiques de travail du sol avec apport de fumier qui limitent l'érosion sans compromettre le niveau des rendements. Ce mémoire présente, en trois parties, une première contribution à cette étude.

La première partie appréhende la problématique de l'étude au travers d'une analyse de la situation économique et environnementale des Rougiers, ainsi que d'une rétrospective des actions qui visent à limiter l'érosion.

La deuxième partie se situe à l'échelle des Rougiers. Dans un premier temps, elle présente l'enquête réalisée sur 15 exploitations, concernant les pratiques culturales et les stratégies d'épandage du fumier. Ensuite, elle étudie le statut organique et physique des parcelles en fonction de ces pratiques et stratégies.

La troisième partie présente les essais que l'équipe du LCSC a réalisés au niveau d'une parcelle expérimentale où sont représentées différentes pratiques de travail du sol, avec ou sans apport de fumier. Les résultats présentés concernent l'apport du fumier par le labour dressé, le labour retourné et le semis direct. Les comparaisons sont établies sur la base des tests de terrain (simulations de pluie et de ruissellement) et des mesures de laboratoire (test de stabilité des agrégats, composition granulométrique, teneurs en carbone organique).

PREMIERE PARTIE

LA ZONE D'ETUDE : PRESENTATION DU MILIEU ET PROBLEMATIQUE

I LE MILIEU

I-1 Le milieu physique

I-1-1 Situation géographique (Cf. cartes ci-contre)

Les Rougiers de Camarès sont situés dans la partie sud-ouest du département de l'Aveyron, lui-même situé dans la partie est des 8 départements que compte la Région Midi-Pyrénées. Ils constituent une zone charnière entre le Massif Central au nord, le pourtour du bassin méditerranéen au sud-est et le bassin aquitain à l'ouest. Avec une superficie totale d'environ 170 000 ha, dont près de la moitié sont en SAU, les Rougiers s'étendent en partie sur les cantons de Belmont-sur-Rance, Camarès, Cornus, Saint-Affrique, Saint-Rome-de-Tarn et Saint-Sernin-sur-Rance.

I-1-2 Climat

Les Rougiers de Camarès subissent trois influences climatiques : continentale en hiver, océanique au printemps et à l'automne, méditerranéenne en été. De ces trois influences, le climat des Rougiers n'en retient que les excès (Bernat. J., cassette vidéo "Rougiers en fuite", 1995). Sur la période de 1971 à 1992, la pluviométrie annuelle atteint 815 mm.

Au printemps et à l'automne, la dominance des vents humides d'ouest s'accompagne de pluies à caractère orageux. Sur l'année, la pluviosité est assez régulière. Mais aux mois de mai et octobre, les pics de pluviométrie atteignent 80 mm (données station météo de Saint-Affrique).

En été, c'est l'influence méditerranéenne qui domine, avec des vents chauds de sud à l'origine d'une sécheresse très marquée de juillet à août (températures moyennes supérieures à 27°C et pluviométrie inférieure à 100 mm sur les deux mois).

En hiver, l'influence continentale est marquée. Les gelées sont fréquentes du mois de novembre au mois de mars, empêchant tout semis avant le mois d'avril. Pendant cette période, la moyenne mensuelle des températures maximales ne dépasse pas 10°C et celle des températures minimales 5°C.

I-1-3 Géologie

Les Rougiers de Camarès sont localisés dans un vieux bassin sédimentaire datant du Permien (fin de l'ère primaire, -280 à -250 millions d'années) constitué de roches sédimentaires détritiques.

A l'ère primaire, les massifs hercyniens des Monts de Lacaune au sud et du Lévézou au nord subissent une érosion sous climat tropical. Le bassin de Camarès est alors parcouru par des fleuves torrentiels qui déposent des sédiments sableux et argileux.

A l'ère secondaire (-200 millions d'années), ces matériaux sédimentaires sont recouverts d'une mer peu profonde qui les place dans des conditions de pression et de température plus élevées. Ils vont ainsi former la roche-mère des Rougiers qui est "une énorme accumulation (plus de 2000 m) d'argilolites, pélites et grès rouges peu fossilifères" (Gèze, 1995). Des sédiments marneux et calcaires, plus épais vers l'est, vont former l'assise géologique des Grands Causses.

A l'ère tertiaire (-40 millions d'années), sous l'effet des orogénèses pyrénéenne puis alpine, le bassin se soulève et s'incline du nord vers le sud avec un pendage de plus de 10%. Le processus de pédogenèse est amorcé. Il est caractérisé par une néogénèse de sables à partir du grès et d'argiles à partir des schistes et des argilites. Jusqu'à l'installation du réseau hydrographique actuel, les interfluves sont vigoureusement érodés, donnant un paysage morcelé et vallonné de type "cuestas".

Aujourd'hui, on peut directement observer le substrat sur les versants non conformes où la roche-mère est perpendiculaire à la pente. Elle présente un faciès rouge où alternent des couches de schistes, d'argilites et de grès. Les teintes rouges, dues sans doute à l'apport d'argiles rubéfiées sous climat tropical, ainsi qu'à des cendres volcaniques, motivent le nom local de Rougiers pour le bassin de Camarès (Gèze, 1995).

I-1-4 Le sol des unités paysagères

Les Rougiers de Camarès se structurent en trois grandes unités paysagères distribuées à des altitudes variant entre 320 et 600 mètres.

La plaine alluviale du Dourdou est située à 320 mètres d'altitude. Le sol y est composé de dépôts alluvio-limoneux reposant sur une couche de galets. Il est battant de par la texture fine des limons et a une tendance hydromorphe. Néanmoins, sa profondeur est supérieure à 50 cm. Entre les collines, "les combes", entaillées ou non d'un ruisseau, sont constituées de sols profonds, argileux ou argilo-limoneux, issus d'apports colluviaux ou alluviaux.

Les coteaux sont situés sur des collines de 350 à 450 mètres d'altitude, de part et d'autre de la plaine.

Les coteaux profonds ont des pentes inférieures à 15% et une profondeur de sol voisine à celle de la plaine. Le sol y est constitué de cailloux irréguliers entourés d'une matrice argilo-sableuse.

Les coteaux maigres ont une pente moyenne de 20%. Le sol, d'une profondeur inférieure à 30 cm, est très caillouteux sur toute sa profondeur (40 à 50%), sableux en surface et limono-argileux à partir de 15 cm (Assogba, 1995).

Les bois sont situés aux altitudes de 450 à 600 mètres. Ils sont cependant peu représentés car les replats sommitaux et les versants avec les plus faibles pentes ont été défrichés. L'essence dominante est le chêne blanc (*Quercus pubescens*), accompagnée de buis, de cistes, de bruyères arbustives et de thym. Cette végétation rappelle une flore méditerranéenne et atteste d'une situation charnière entre le Massif Central et le Languedoc méditerranéen.

I-2 Le milieu agricole

I-2-1 Démographie

De 1975 à 1990, la population totale des 6 cantons que comprend la zone des Rougiers a diminué de 10%, passant de 28 524 à 25 882 habitants (INSEE, 1988). Parallèlement, la population agricole a chuté de 41.5% en 18 ans, contre 37% pour le département, avec 6371 habitants en 1988 (RGA, 1988). La population agricole du département est donc en forte diminution, et les Rougiers de Camarès sont particulièrement concernés. La main-d'oeuvre des exploitations agricoles est exclusivement familiale (2,5 UTAF en moyenne) et le tiers des chefs d'exploitation a plus de 55 ans, contre 19.5% de moins de 35 ans (RGA, 1988).

I-2-2 Contexte historique et économique

Jusqu'à la seconde guerre mondiale, les Rougiers de Camarès ne font pas exception à la situation enclavée du département de l'Aveyron. La région vit sur la base d'une agriculture autarcique avec une abondante main-d'oeuvre. Avec le Causse du Larzac, les Rougiers sont traditionnellement orientés vers l'élevage ovin-lait (race Lacaune). Ce dernier est utilisé pour la fabrication régionale d'un fromage à pâte bleue persillée : le Roquefort. Le 26 juillet 1925, une

AOC délimite la zone d'affinage sur la commune de Roquefort ainsi que le rayon de collecte du lait. Les Rougiers se trouvent placés au coeur de cette zone, encouragés ainsi dans la poursuite de la production de lait de brebis qui garantit de bons revenus. Conformément aux accords passés entre la Confédération Générale des Producteurs de lait de brebis et les Industriels Affineurs de Roquefort, le lait est payé sans limitation de volume au prix de la transformation en Roquefort.

Après la guerre, poussée par l'essor de l'industrie fromagère de Roquefort et le contexte général du passage à l'économie de marché, l'agriculture des Rougiers de Camarès va s'engager dans une phase d'intensification de l'élevage ovin-lait. Dans les années 60-70, la Politique Agricole Commune (PAC) incite les agriculteurs à accentuer leurs efforts d'intensification.

A partir de 1988, en raison de la saturation du marché du fromage de Roquefort et dans un objectif de maintenir le prix du litre de lait de brebis, l'interprofession instaure un nouveau système de paiement du lait, "le Volume Individuel de Référence Laitière" (VIR). Pour chaque exploitation, le prix du lait de transformation en Roquefort est appliqué sur un volume fixé au début de la campagne laitière, le reste est payé à un prix moindre, pour les produits de diversification (Feta par exemple). La mise en place de ces références laitières ne permet plus d'augmenter le chiffre d'affaire en produisant d'avantage de lait de brebis. Les agriculteurs sont alors obligés de limiter et de maîtriser les charges de fonctionnement de leur exploitation en s'orientant progressivement vers un système plus autonome (l'exploitation produit tout les aliments nécessaires au troupeau).

De nos jours, l'activité agricole des Rougiers reste essentiellement liée à l'industrie fromagère de Roquefort. En effet, les systèmes d'exploitation sont de type ovin-lait à 71% avec une SAU moyenne de 70 ha et une taille du troupeau comprise entre 200 et 400 têtes. Malgré la forte emprise de la filière Roquefort sur tout le Sud-Aveyron, on trouve d'autres types d'exploitations : 11 % en bovin-lait, 8 % en ovin-viande, 4 % en hors-sol (Kagone, 1992).

I-3 Un milieu sensible à l'érosion

Erosion vient de "ERODERE", verbe latin qui signifie "ronger, griffer".

L'érosion hydrique peut attaquer la plupart des sols dès qu'il y a écoulement d'eau en surface, à moins que celle-ci ne soit suffisamment protégée par des résidus, ou d'autres moyens de défense. L'érosion hydrique du sol qui comporte le détachement et le transport des particules, exige de l'énergie. Ce sont aussi bien les gouttes de pluie que les eaux de ruissellement qui provoquent le détachement ou l'arrachement des particules, mais ce sont essentiellement les eaux

de ruissellement qui entraînent ces particules, même si le choc des gouttes de pluie parvient aussi à les projeter (Unger, 1989).

I-3-1 Fragilité du milieu physique

=> Nature de la roche-mère et du sol

Hormis les bancs de grès, la roche-mère est constituée d'un matériau très friable dans lequel on distingue des schistes, des pélites et des argilites. Les phases d'altération de ce substrat passent des plaques aux cailloux puis à des particules de sable qui justifient le nom local de "sabel" pour désigner le sol caractéristique des coteaux maigres des Rougiers.

=> Topographie

Les zones planes ou de faible déclivité ne représentent jamais plus de 10% des terroirs, et les pentes dominantes oscillent entre 20 et 40%, en particulier sur les revers de cuestas (Asseline, De Noni, Nouvelot, Roose, 1995). Lorsque l'inclinaison de la pente augmente, l'énergie cinétique des pluies reste constante mais la vitesse du ruissellement s'accélère. Le long d'une pente, c'est l'énergie cinétique croissante du ruissellement qui augmente le transport des matériaux. Zingg, en 1940, a montré que les pertes en terre croissent de façon exponentielle avec l'inclinaison de la pente (Roose, 1994).

=> Climat

Les Rougiers de Camarès subissent trois influences climatiques qui fragilisent la roche-mère et le sol au cours des saisons. En hiver, les plaques de schiste éclatent sous l'effet de l'alternance gel-dégel. La roche-mère devient encore plus tendre. Au printemps et à l'automne, les pluies surviennent au moment où les sols ont le plus faible couvert végétal (semis de printemps et d'automne). Or, le couvert végétal est efficace pour limiter l'érosion car il absorbe l'énergie cinétique des gouttes de pluies, il ralentit l'écoulement du ruissellement et il maintient une bonne porosité à la surface du sol (Roose, 1994). En été, la sécheresse induit une évapotranspiration accrue. Comme la réserve en eau des sols est limitée à 3-6 jours sur les coteaux maigres, la croissance de la végétation est stoppée. Ainsi, le sol est faiblement couvert lorsque reviennent les premières pluies d'automne.

I-3-2 Dégradation par l'activité agricole

Après la seconde guerre mondiale, le passage à l'économie de marché engage l'agriculture des Rougiers dans une course à la productivité.

Les exploitations se dotent d'outils mécaniques modernes qui permettent d'intensifier le travail du sol. Des agriculteurs du Ségala et du Lévézou, attirés par la garantie de revenus supérieurs à la moyenne du département, s'installent sur les Rougiers. Ces derniers reproduisent les pratiques culturales de leurs parents qui sont inadaptées à la fragilité du milieu. Les cultures fourragères introduites dans l'assolement avec des cultures céréalières annuelles, durent de 1 à 3 ans au maximum. Les rotations rapides de ces cultures impliquent un travail du sol fréquent, à tel point que, de nos jours, on estime à 50% la SAU des Rougiers labourée chaque année.

Comme le petit parcellaire gêne le travail mécanique, une campagne de remembrement est lancée, à la fin des années 60. Toutes les haies, véritables freins au ruissellement, sont systématiquement arrachées, et les fossés de collecte des eaux supprimés. Le remembrement conduit à une disposition des parcelles en longueur, dans le sens de la pente, qui facilite le ruissellement.

Pour accroître la SAU, les terrains marginaux (coteaux maigres et bois) sont défrichés. Les innovations technologiques permettent le sous-solage de ces terrains au ripper. La roche-mère est sollicitée mais une fois défoncée et remontée en surface, la sensibilité de ce matériau à l'érosion est importante.

I-3-3 Etendue de l'érosion

Si le milieu physique des Rougiers est sensible à l'érosion, depuis près d'un demi-siècle, l'activité agricole amplifie le phénomène en le rendant problématique. En effet, dans la zone des Rougiers de Camarès, l'érosion hydrique touche près de 80% du territoire dont 10% correspondent à des zones de ravinement généralisé (bad lands) (Guillerm, 1994). Avant que n'apparaissent les zones incultes de "bads lands", stade ultime et irréversible de l'érosion, plusieurs phénomènes révèlent que l'érosion hydrique touche l'ensemble de la zone.

En haut des collines et au niveau des ruptures de pentes, des plages de couleur claire indiquent une faible densité de végétation et une concentration de cailloux à la surface du sol faisant dire aux agriculteurs que "les cailloux poussent". Ce phénomène est le plus discret mais aussi le plus répandu sur la zone. Il atteste d'une érosion en nappe où le détachement des particules de terre, provoqué par l'impact des gouttes de pluie, accompagné d'un transport par

l'eau de ruissellement, ne laisse que des cailloux à la surface du sol. Il en résulte un décapage de l'horizon humifère de surface qui fragilise la couche superficielle du sol et diminue sa fertilité.

En prenant de la vitesse le long de la pente, le ruissellement en nappe acquiert une énergie cinétique capable d'entailler le sol et d'emporter des particules de plus en plus grosses. C'est l'érosion linéaire, caractérisée par une organisation et une concentration du ruissellement dans des sillons creusés dans le sol. Ces entailles linéaires atteignent des profondeurs pouvant varier de quelques centimètres, ce sont des griffes, à des dizaines de cm, ce sont des rigoles (10 cm) et des ravines (plus de 50 cm). Sur les Rougiers, les ravines sont en forme de V car elles s'impriment dans d'épais bancs homogènes de schiste meuble.

Sur les Rougiers de Camarès, l'érosion provoque régulièrement par des dégâts au niveau des parcelles agricoles et des infrastructures collectives. Dans les parcelles, l'érosion hydrique a deux principales conséquences. A court terme, l'agriculteur perd ses investissements de production (semis, intrants). A long terme, la couche arable et la fertilité des sols diminuent progressivement suite au décapage des éléments fins et des matières organiques. Il s'en suit une baisse du rendement des cultures pouvant aller jusqu'à une stérilisation totale du sol. Au niveau du bassin versant, le réseau de collecte des eaux de ruissellement arrive rapidement à saturation et déverse des eaux boueuses sur le réseau routier et les zones d'habitation. En février dernier, après 48 heures de pluie ininterrompue, l'érosion a provoqué des glissements de terrain sur la commune de Bournac. Une maison et la route départementale D25 qui donne accès au village ont été emportés.

II LES ACTIONS POUR LIMITER L'EROSION

II-1 Les partenaires

Bien que le monde rural ne soit pas le seul à subir les dégâts de l'érosion, c'est l'inquiétude des agriculteurs face à la perte de leur capital sol qui a motivé les initiatives locales pour limiter l'érosion hydrique sur le sol des Rougiers. Ainsi, depuis 1989, des actions sont engagées à l'initiative de la profession agricole.

Au début, elles ont trouvé un appui départemental dans le cadre du "Programme Expérimental de Gestion Opérationnel de l'Espace en Aveyron". Il fixe comme priorité d'action à la zone des Rougiers, la lutte contre l'érosion.

Depuis 1995, année de la création du Parc Naturel Régional des Grands Causses, elles s'insèrent dans le volet agricole du Parc. Dans sa charte, la rubrique 18-1-3 intitulée "protection des sols" stipule que "les problèmes d'érosion des sols des Rougiers de Camarès sont à traiter en s'appuyant sur le projet Gestion Opérationnel de l'Espace en Aveyron mis en place en 1989 par la Chambre d'Agriculture de l'Aveyron et d'autres organismes de la profession agricole". Ainsi, dans la lettre du Parc N° 24 de mai-juin 1995, il est précisé qu'une des premières actions soutenue est l'expérimentation en ferme pour adapter les systèmes d'exploitations agricoles au milieu des Rougiers.

Dans ce contexte de partenariat, le comité de pilotage du volet agricole du Parc, composé des représentants des organismes de la profession agricole, organise la recherche des solutions. Les mesures adoptées sont mises en application par le Comité Départemental Agricole du Sud Aveyron (CDASA) qui fait appel aux compétences des scientifiques de l'INRA de Montpellier, de l'ORSTOM de Montpellier et de l'ITCF d'Albi.

II-2 La stratégie adoptée

Sur les Rougiers, les actions pour limiter l'érosion du sol sont envisagées au niveau de la parcelle et du bassin versant. Il faut gérer l'évacuation de l'eau hors des parcelles et revoir, de façon collective, son cheminement dans les bassins versants (Guillerm. 1994). Toutes les solutions envisagées sont testées à deux échelles.

Dans un premier temps, la recherche des solutions est réalisée dans deux exploitations agricoles, sur la commune de Montlaur, au coeur de la zone des Rougiers. Cela permet d'évaluer la faisabilité technique et économique des solutions proposées qui ne doivent pas ajouter de charge de travail supplémentaire.

Avant de sensibiliser tous les exploitants des Rougiers, les mesures sont testées sur un lot d'exploitations agricoles. En se portant volontaires pour participer à ces essais, les agriculteurs perçoivent des aides de l'Union européenne, au titre de la mesure agri-environnementale de protection des eaux, ou des aides de l'état et du département, dans le cadre du Fonds de Gestion de l'Espace Rural (FGER).

II-3 Les actions engagées

Depuis 1988, année de la réforme de paiement du lait de brebis par le système du Volume Individuel de Références Laitières, les exploitations des Rougiers s'orientent vers un système d'élevage ovin plus autonome afin de diminuer leurs charges. Le système traditionnel est basé sur le stockage des fourrages et l'achat des aliments. De nos jours, il évolue progressivement vers un système où le pâturage est privilégié. Cependant, le stockage des fourrages reste incontournable car, pendant les cinq mois d'hiver, le troupeau reste à la bergerie. Avec cette évolution des systèmes d'exploitation ovin-lait de la zone, les différents sols des Rougiers acquièrent des vocations bien distinctes. Le développement du pâturage est privilégié sur les coteaux maigres, d'une part parcequ'ils fournissent de faibles rendements et sont délicats à travailler, avec leur faible profondeur de sol, et d'autre part parce qu'ils peuvent être pâturés tôt, du fait de la précocité de la végétation et de leur bonne portance au printemps. Ce sont les coteaux profonds et la plaine qui fournissent le stock de fourrages nécessaire pour les cinq mois d'hiver.

Ainsi, un diagnostic des systèmes d'exploitation ovin-lait (Kagone, 1992) préalable à la mise en place d'expérimentation en ferme propose que les actions soient accomplies dans deux domaines :

- le développement des prairies temporaires de longue durée sur coteaux maigres pour concilier la préservation du sol et son exploitation par le pâturage ;
- la recherche de pratiques culturales qui limitent l'érosion sur les coteaux profonds.

Le protocole mis en place depuis 1993 à la station expérimentale de Verrières s'organise en trois volets :

- l'implantation d'un couvert végétal pérenne sur coteaux maigres ;
- la recherche d'itinéraires de travail du sol sur coteaux profonds mieux adaptés aux risques d'érosion.
- l'aménagement durable des bassins versants ;

II-3-1 Implantation d'un couvert végétal pérenne

Depuis l'hiver 1993-1994, une station fourragère est implantée sur l'exploitation de Verrières. Les techniciens de la Chambre d'Agriculture y sélectionnent, avec l'appui des spécialistes de l'INRA de Montpellier, des espèces pérennes qui assurent une meilleure autonomie fourragère. Cette station comprend :

- une parcelle d'arbustes à pâturer (*Amorpha fruticosa* et mûrier) ;
- une collection de 18 variétés de trèfles annuels ;
- une collection de luzernes médic ;
- une parcelle d'associations graminée-légumineuse ;
- une parcelle d'associations céréale-luzerne médic.

Après deux années de suivi, une variété de dactyle, de brome et une espèce de luzerne médic se détachent du lot par la réussite de leur implantation. En 1995, 60 agriculteurs de 2 cantons (Belmont et Camarès) ont semé ces espèces sur des coteaux maigres de pente supérieure à 15%. Ils ont perçu une aide de 2000 F.ha⁻¹ dans le cadre de la mesure de reconversion des terres arables en herbages extensifs. Au total, 425 ha sont convertis en prairie temporaire de 5 ans. Cela représente une enveloppe de 850 000 F pour l'année 1995.

En 1995, la croissance prometteuse des arbustes à pâturer amorpha sur la station fourragère a permis d'obtenir des fonds nationaux du FGER (540 000 F) pour en planter 30 ha sur les coteaux maigres de quelques exploitations. Les agriculteurs qui participent à ces essais perçoivent une aide de 18 000 F.ha⁻¹. A ce jour, 2.5 ha sont semés et 10.5 ha plantés. Les 17 ha restant seront plantés en 1996.

II-3-2 Adaptation des pratiques culturales

La recherche de pratiques culturales mieux adaptées à la fragilité du milieu est menée avec l'appui des compétences des chercheurs du Laboratoire d'étude du comportement des sols cultivés de l'ORSTOM-Montpellier.

En 1994, des expériences de simulation de pluie et de simulation de ruissellement ont permis de caractériser la sensibilité à l'érosion de parcelles expérimentales, situées sur des coteaux maigres, et travaillées selon quatre pratiques culturales représentatives de la région (labour + 2 hersages, labour + 2 hersages avec cultipaker, vibroculteur + 2 hersages, semis direct). A l'issue de ces expériences, il ressort que les itinéraires techniques doivent être simplifiés car, si le travail du sol peut favoriser une certaine infiltration, il augmente également la détachabilité du sol. Le semis direct se révèle être une pratique culturale assez bien adaptée aux coteaux maigres car il limite la dégradation de la structure du sol, qui bénéficie d'une couverture végétale protectrice. Néanmoins, le ruissellement reste très important sous le semis direct et il est nécessaire de prévoir une bonne gestion de l'eau à l'échelle du bassin versant.

Enfin, le passage du rouleau cultipaker pour préparer un lit de semence fin est à proscrire car il augmente les pertes en terre (Moussa, 1994).

En 1995, le rôle du fumier de brebis sur l'amélioration des propriétés physiques et chimiques des sols de coteaux maigres a été testé. Les expériences ont permis de comparer l'effet de 4 doses de fumier (0, 20, 40, 80 t.ha⁻¹) enfoui par un labour à plat sur les propriétés physiques du sol et sur le rendement d'une culture d'avoine. Trois mois après l'enfouissement, la dose de 80 t.ha⁻¹, quoique difficilement applicable dans ces milieux, a permis d'améliorer les caractéristiques physiques du sol. En revanche, le rôle fertilisant du fumier est démontré par des rendements supérieurs, en particulier avec la dose de 40 t.ha⁻¹ (Assogba, 1995).

II-3-3 Aménagement des bassins versants

Le bassin versant du Riaudou, avec une superficie de 400 ha couvrant les communes de Montlaur, Belmont-sur-Rance et Rebourguil, doit être aménagé dès l'automne 1996. Les financements pour cet aménagement pilote proviennent du FGER, avec 100 000 F d'enveloppe nationale pour la méthodologie et la communication, et 200 000 F d'enveloppe départementale pour la réalisation des ouvrages.

Un second projet est envisagé pour entretenir les berges de la Sorgues et du Dourdou. Les agriculteurs percevront 3000 F.ha⁻¹ par an pendant 20 ans lorsqu'ils s'engageront à installer une bande enherbée de 15 m en haut des berges. Les aides attribuées dans le cadre de la mesure d'entretien des ripisylves seront versées au Syndicat Intercommunal d'Aménagement Hydraulique (SIAH). Ce dernier sera chargé de contrôler l'aménagement effectif des hauts de berges par les agriculteurs. L'enveloppe réservée pour ce projet est de 60 000 F / an. Cela permettra de retirer 20 ha de SAU sous forme de bandes enherbées.

III L'ETUDE

Actuellement, les exploitants des Rougiers sont conscients des contraintes économiques et environnementales qui imposent de limiter le travail du sol sur les coteaux maigres en y implantant des prairies temporaires de longue durée. Cette année, la réflexion est donc axée sur les coteaux profonds. Pour limiter leur érosion, il n'est pas possible de reproduire les mesures adoptées sur les coteaux maigres ; en effet, l'autonomie fourragère et céréalière des exploitations nécessite l'implantation de cultures à cycles relativement courts (luzerne, ray-grass, céréale). Puisque, sur les coteaux profonds, le travail du sol relativement fréquent est inévitable, il faut rechercher des itinéraires techniques qui limitent l'érosion.

L'année précédente, les expérimentations en ferme ont permis de vérifier que l'incorporation de fumier améliore les propriétés physiques et organiques du sol. Or, tous les ans, les agriculteurs des Rougiers épandent sur leurs parcelles des quantités importantes de fumier issues des bergeries. Plutôt que d'être un chantier de travail peu valorisé, l'apport de fumier peut devenir une pratique conservatoire pour le sol des coteaux profonds. En effet, parmi ses nombreuses propriétés, la matière organique (dans le cas présent du fumier) "a un rôle important pour stabiliser les sols cultivés, aider la diffusion de l'air, la rétention et l'infiltration de l'eau, réduire l'érosion du sol et contrôler l'efficacité et le devenir des pesticides" (Carter, 1996). Un facteur déterminant de l'érodibilité du sol est la résistance au détachement des particules et à l'éclatement des agrégats. L'érodibilité d'un sol peut être définie comme son aptitude intrinsèque à être détaché et transporté sous l'action des pluies et du ruissellement (Le Bissonais et Le Souder, 1995). Ainsi, en plus du rôle fertilisant pour les cultures, l'apport de fumier doit améliorer les propriétés organiques et physiques du sol de façon à diminuer l'érodibilité du sol, en l'occurrence des coteaux profonds.

Cette année, l'objectif de l'action est donc de proposer des itinéraires techniques d'apport du fumier qui limitent l'érosion hydrique sur le sol des coteaux profonds, sans pour autant compromettre le niveau des rendements.

Pour pouvoir expliquer aux agriculteurs quelles sont, parmi leurs pratiques culturales avec apport de fumier, celles qui sont les moins érosives, il faudra en faire un inventaire. On cherchera ensuite à caractériser leur impact sur le statut organique et physique du sol des parcelles situées sur des coteaux profonds. Enfin, en comparant expérimentalement l'érodibilité du sol travaillé selon ces différentes pratiques, on pourra déterminer celles qui préservent le mieux le sol de l'érosion hydrique.

DEUXIEME PARTIE

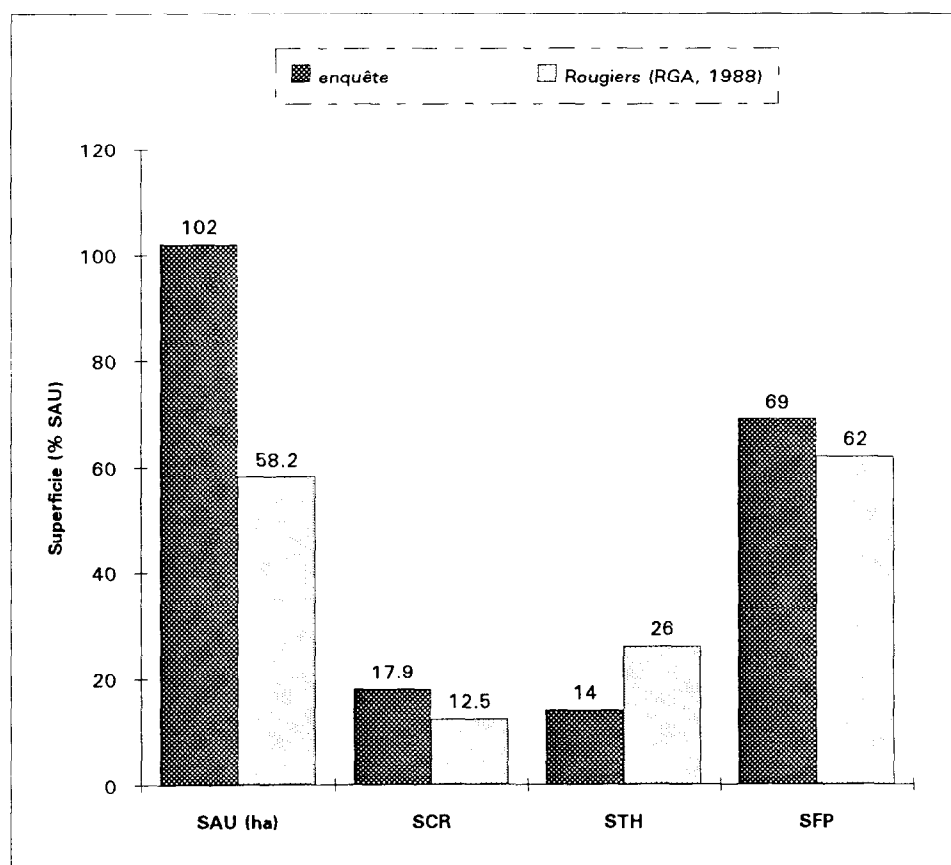
ENQUETE

SUR LES PRATIQUES CULTURALES : STATUT ORGANIQUE ET PROPRIETES PHYSIQUES DES SOLS

Tableau 1 : Caractéristiques générales des 15 exploitations

	Moyenne sur les 15 exploitations (année 1996)	Moyenne du RGA (année 1988)
UTH	3	2.5
Effectif du troupeau	390	298
SAU (ha)	102	58.2
SCR (% SAU)	17.9	12.5
STH (% SAU)	14	26
SFP (% SAU)	69	62

Graphe 1 : Structuration de la SAU



SAU : Surface agricole utile
 SCR : Surface en céréales récoltées en grain
 STH : Surface toujours en herbe
 SFP : Surface fourragère principale

I ENQUETE SUR LES PRATIQUES DES AGRICULTEURS

Pour échantillonner des parcelles représentant différentes pratiques culturales avec apport de fumier, 15 exploitants de la zone sont soumis à une enquête. Les données de l'enquête servent à établir une typologie des pratiques. Cette dernière constitue une référence pour prélever des échantillons de sol sur les parcelles appartenant aux exploitants enquêtés. Les échantillons permettent de mettre en évidence quel est l'impact du travail du sol et de l'apport de fumier sur le statut physique et organique des sols de coteaux profonds.

I-1 Elaboration de l'enquête

Monsieur Auguy, conseiller au CDASA, a fourni une liste de 15 exploitations qui ont toutes pour caractéristiques communes :

- d'être situées dans les Rougiers de Camarès ;
- de fonctionner dans un système ovin-lait (prédominant sur la zone) ;
- de posséder une partie non négligeable de leur SAU sur des coteaux profonds.

Sous ces conditions, on espère ainsi recueillir des données semi-quantitatives représentatives du travail du sol et de l'apport de fumier.

La grille d'enquête utilisée pour chaque exploitation est donnée en annexe 2. Elle est construite sur la base de trois grands objectifs :

- décrire sommairement l'exploitation (taille du troupeau, SAU, superficie de coteaux profonds) ;
- évaluer l'importance de la production de fumier et comprendre la stratégie mise en oeuvre pour le gérer ;
- définir les pratiques culturales sur les coteaux profonds.

I-2 Description générale des 15 exploitations

La localisation géographique des 15 exploitations enquêtées figure en annexe.

Le tableau 1 résume les principales caractéristiques de ces exploitations.

Dans l'ensemble, la moyenne du nombre de personnes travaillant sur l'exploitation est de 3 UTH. Ce chiffre est supérieur à la moyenne des Rougiers qui est de 2.5 UTH (RGA, 1988) car 8 exploitations sur 15 sont en GAEC (c'est-à-dire un regroupement de 2 ou 3 familles vivant sur la

Tableau 2 : Les types de sol des Rougiers de Camarès (qualités et inconvénients selon les agriculteurs)

	SOL DE PLAINES, COMBES	SOL DE COTEAUX PROFONDS	SOL DE COTEAUX MAIGRES
QUALITES	<ul style="list-style-type: none"> - profondeur du sol > 50 cm - surfaces irrigables (diversification des cultures) - rendements fourragers et céréaliers les plus élevés de l'exploitation 	<ul style="list-style-type: none"> - profondeur du sol > 25 cm - bons rendements fourragers et céréaliers (céréales moissonnées) - pente non limitante pour les travaux du sol et les récoltes mécaniques 	<ul style="list-style-type: none"> - surfaces réservées au pâturage du fait de la faible hauteur d'herbe - parcelles permettant un pâturage précoce au printemps car précocité de végétation et ressuyage rapide
INCONVENIENTS	<ul style="list-style-type: none"> - sols hydromorphes, présence de mouillères - parcelles en bordure de rivière soumises à la réglementation sur l'épandage du fumier 	<ul style="list-style-type: none"> - sol assez hétérogène avec des zones de profondeur voisine à celle des coteaux maigres - sols sujets à une érosion en nappe et linéaire - problèmes de portance si le sol est mouillé 	<ul style="list-style-type: none"> - profondeur du sol < 25 cm, très souvent voisine de 15 cm - texture sableuse = faible fertilité et faible réserve en eau - pentes limitantes pour le travail du sol et la récolte (céréales à pâturer uniquement) - parcelles très sensibles à l'érosion hydrique sous toutes ses formes, y compris le stade ultime de ravinement généralisé
MESURES AGRI-ENVIRONNEMENT	<ul style="list-style-type: none"> - entretien des ripisylves 	<ul style="list-style-type: none"> - reconversion des terres arables en herbages extensifs pour les pentes > 15% 	<ul style="list-style-type: none"> - reconversion des terres arables en herbages extensifs pour les pentes > 15% - plantation d'<i>Amorpha</i> (arbustes à pâturer)

même exploitation). Pour dégager un revenu suffisant qui puisse être partagé entre les familles associées dans le GAEC, l'exploitation doit fonctionner avec une SAU et une taille du troupeau importantes. La forte proportion de GAEC dans les exploitations enquêtées explique donc que les principales données descriptives soient supérieures aux moyennes du RGA.

I-2-1 Le troupeau ovin

Avec une moyenne de 390 brebis présentes à la mise bas, les effectifs des troupeaux varient entre 225 et 683 têtes. Huit exploitations ont moins de 400 têtes et 6 ont plus de 400 têtes, avec un troupeau de diversification ovin-viande pour les trois plus gros troupeaux.

I-2-2 Structuration de la SAU (Cf graphe 1)

La SAT (Surface Agricole Totale) moyenne est de 129 ha et la SAU (Surface Agricole Utile), assez variable, est en moyenne de 102 ha par exploitation. Dix exploitations ont entre 60 et 100 ha de SAU et les 5 autres ont 100 à 180 ha de SAU.

D'après le RGA, les 15 exploitations enquêtées sont donc plus largement dotées (1.8 fois plus) en SAU que ne le sont les exploitations classiques des Rougiers de Camarès. De plus, la structuration des cultures dans la SAU diffère de celle qui existait sur les trois cantons en 1988 :

- **la surface moyenne en céréales récoltées en grain (SCR)** est nettement supérieure ; depuis 1988, la réforme de la PAC, avec les aides sur les céréales, a eu pour effet d'augmenter ces surfaces.

- **la surface toujours en herbe (STH)** est identique à celle donnée par le RGA (14-15 ha), mais représente presque deux fois moins de surface par rapport à la SAU ;

- **la surface fourragère principale (SFP)** est légèrement supérieure à celle des trois cantons.

Les 15 exploitations enquêtées fonctionnent donc selon le système d'exploitation traditionnel des Rougiers qui est basé sur le stockage des fourrages, au détriment du pâturage.

I-2-3 Les assolements

Avant d'évaluer les pourcentages respectifs des différents types de sols par exploitation et de décrire les assolements qui y sont réalisés, la terminologie des différents sols des Rougiers est définie en accord avec les agriculteurs. Elle est résumée dans le tableau 2 qui synthétise les qualités et les inconvénients que les 15 agriculteurs attribuent au sol selon sa situation dans le

Tableau 3 : Superficies et assolements des trois types de sol des Rougiers

	SOL DE PLAINES ou COMBES	SOL DE COTEAUX PROFONDS	SOL DE COTEAUX MAIGRES
Superficie totale pour les 15 exploitations (ha)	400	580	480
Superficie moyenne par exploitation (ha)	27	39	32
Assolement	luzerne/céréales	luzerne/ray-grass/2 céréales	prairie ou (ray-grass/céréales à pâturer)
Nombre de fois où le sol est travaillé	3	3 ou 4	1 ou 2

paysage des Rougiers. Le tableau 3 présente la répartition des surfaces agricoles par unités paysagères et les assolements qui y sont réalisés.

Globalement, les agriculteurs organisent les assolements en fonction des caractéristiques du sol. Plus les parcelles ont des sols épais et peu sensibles à l'érosion, plus les assolements sont rapides.

Sur la plaine et les combes, les assolements durent en moyenne 5 à 6 ans et sont basés sur une rotation rapide de luzerne/céréales afin de réaliser des stocks (ensilages, foins, grains).

La luzerne est semée soit pure, soit en mélange avec du trèfle, de la fétuque, de la fléole ou du dactyle. Son implantation dure de 3 à 4 ans en moyenne. Coupée 2 fois par an avant d'être pâturée à l'automne, elle fournit des rendements de 8 à 9 t MS.ha⁻¹.

Les céréales sont installées pendant 2 années successives avec, pour 2/3 des surfaces, de l'orge, fournissant des rendements de 45-55 q.ha⁻¹ et pour le tiers restant, du blé, avec des rendements de 50-70 q.ha⁻¹.

Outre ces deux types principaux de cultures, du maïs irrigué, des cultures dérobées (colza et sorgho), du ray-grass italien ou hybride (destiné à l'ensilage) peuvent être introduits dans l'assolement.

Sur les coteaux profonds, les assolements durent de 7 à 8 ans et sont basés sur une rotation de luzerne/ray-grass/céréales qui permet de faire des stocks.

Les luzernes sont implantées plus longtemps que sur la plaine, en moyenne de 3 à 5 ans. Elles procurent au mieux 2 coupes par an ou le plus souvent une seule coupe avant le pâturage. Les rendements ne dépassent pas 5 à 6 t de MS.ha⁻¹. Rarement seules, les luzernes sont associées avec du trèfle ou du dactyle.

Le ray-grass italien et/ou hybride est d'avantage cultivé qu'en plaine afin d'être ensilé puis pâturé.

Les céréales sont semées pendant 2 années successives, avec des rendements sensiblement inférieurs à ceux de la plaine. Elles sont plus souvent pâturées en vert que moissonnées en raison des pentes qui empêchent le passage des engins et des rendements plutôt faibles. Les dérobées et les prairies naturelles sont une variante dans l'assolement classique.

Sur les coteaux maigres, les agriculteurs cherchent à minimiser le travail du sol en implantant des espèces fourragères qui se pérennisent (Cf. essais en station fourragère).

I-3 Les pratiques culturales sur les coteaux profonds

I-3-1 Le travail du sol

Les cultures fourragères et céréalières sont généralement semées sur un sol travaillé jusqu'à une profondeur de 25-30 cm. Le travail du sol comprend toujours deux étapes. Le sol est tout d'abord travaillé grossièrement par le labour ou une technique de travail plus superficielle. Les premiers centimètres sont ensuite repris par des outils qui préparent plus finement le lit de semence.

Sur l'ensemble des 15 exploitations, le travail du sol se fait aussi bien par le labour que par une technique de remplacement, en général plus superficielle. Les agriculteurs adoptent l'une ou l'autre de ces deux techniques selon les rendements qu'ils escomptent obtenir. Si les rendements attendus sont élevés, les agriculteurs labourent le sol. Si la parcelle ne fournit pas de bons rendements, les agriculteurs préfèrent utiliser un outil de pseudo-labour qui travaille le sol moins profondément. Ainsi, les agriculteurs tiennent compte des caractéristiques du sol dans leurs pratiques de travail. En effet, la réalisation d'un pseudo-labour évite de travailler trop profondément un sol peu épais, généralement sableux et peu stable.

=> Le labour

Il est systématiquement réalisé par trois exploitants pour toutes les cultures, dix le font avant les luzernes et les ray-grass et dix avant les céréales. La profondeur de travail estimée par les agriculteurs est de 20 à 30 cm.

Le labour retourné (conventionnel) est réalisé par 8 exploitants à l'aide d'une charrue à versoirs hélicoïdaux longs par tradition, mais également dans un objectif d'enfouir les adventices pour les détruire.

Le labour dressé est pratiqué par 7 exploitants, qui utilisent un équipement approprié, une charrue à versoirs cylindriques droits, ou une charrue à versoirs hélicoïdaux longs avec les socs rapprochés. Selon eux, le labour dressé permet de drainer les champs hydromorphes avec les raies dans le sens de la pente. De plus, la répartition du fumier sur l'horizon de labour est plus homogène qu'avec le labour retourné. Cela évite d'enfouir l'herbe et le fumier au fond de l'horizon de labour et de créer des poches de matière organique non décomposée et compacte qui freinent la prospection du système racinaire et qui se minéralisent lentement.

=> Le pseudo-labour

Le travail superficiel, ou pseudo-labour, est pratiqué sur 10 exploitations, en particulier :

- si le sol est trop caillouteux, pour ne pas remonter les pierres ;
- avant de semer des mélanges luzerne/ray-grass (pour 7 exploitations), des céréales à pailles (orge, avoine), des associations de céréale-légumineuse comme les vesce-avoine (pour 9 exploitations) ou des cultures dérobées comme le sorgho et le colza (pour 5 exploitations).

Ce travail superficiel est obtenu à l'aide d'un outil à dents vibrantes comme le vibroculteur ou le forescar, travaillant sur 10-15 cm (pour 8 exploitations), d'un chisel travaillant sur 15-25 cm (pour 6 exploitations) ou d'une charrue à disque travaillant sur 10-15 cm (pour 6 exploitations). Le plus souvent, le matériel n'est pas sur l'exploitation mais peut être fourni par la CUMA.

Les 5 exploitants qui ne réalisent pas de travail superficiel pensent qu'il ne permet pas d'ameublir les sols compacts et lourds de certaines zones des Rougiers et qu'il crée des problèmes d'adventices en ne retournant pas le sol, contrairement au labour qui a un bon effet désherbant.

=> La reprise

La reprise du labour ou du pseudo-labour est réalisée avec des outils qui atteignent des profondeurs variables : un vibroculteur ou un forescar travaillant sur 5 à 15 cm (pour 11 exploitations), une herse rotative sur 8 à 15 cm (pour 14 exploitations), une herse rigide en Z sur 10 à 15 cm (pour 7 exploitations) ou un outil à disques sur 10 à 25 cm (pour 3 exploitations). L'outil le plus rencontré sur les exploitations est la herse rotative. Les agriculteurs la couplent à leur semoir pour éviter de la passer juste avant de semer. Les outils à dents vibrantes en forme de queue de cochon (vibroculteur ou forescar) sont aussi courants sur les exploitations. En revanche, les outils à disques sont plutôt disponibles en CUMA.

I-3-2 Les deux types d'itinéraires techniques

Il existe deux grands types d'itinéraires techniques, différenciés par le nombre de passages d'outils, et qui sont déterminés par la culture implantée. Dans le cas des céréales, la graine est assez grosse et peut germer, avec ses réserves amylacées, dans un lit de semence grossier. Les agriculteurs n'ont donc pas besoin de passer plusieurs outils de reprise. A l'opposé, dans le cas des fourragères comme les luzernes et les ray-grass, le lit de semence doit être fin pour assurer la germination des petites graines par leur contact avec le sol, et, par la suite, pour faciliter la croissance des jeunes pousses dans un milieu qui n'oppose pas de résistance. Les agriculteurs sont donc contraints de passer plusieurs fois différents outils ayant des effets complémentaires.

L'itinéraire simplifié comprend au maximum deux ou trois passages d'outils. Il est réalisé pour les céréales et les cultures dérobées. La première phase est le travail du sol par le labour (pour les céréales à moissonner et les dérobées) ou par le passage d'un outil de remplacement du labour comme le chisel, un outil à dents vibrantes ou à disques (pour les céréales à pâturer ou à paille). La seconde phase est une reprise grossière du labour ou du pseudo-labour, avec un ou deux passages de herse rotative. La herse est souvent couplée au semoir pour supprimer un passage d'outil. Pour finir, seuls deux exploitants sur 15 tassent le semis avec un rouleau cultipaker.

L'itinéraire affiné, avec plus de quatre passages d'outils, est réalisé lorsqu'une fourragère est semée. Comme pour le travail simplifié, la première phase peut être un labour, systématique pour une luzerne, ou un passage d'outil de travail plus superficiel pour les ray-grass qui sont plus vigoureux que la luzerne. La reprise du labour (ou du pseudo-labour) est lourde, avec au minimum trois passages d'outils, pour obtenir un lit de semence très fin. Comme pour l'itinéraire simplifié, le semoir est souvent couplé à une herse rotative. Cet itinéraire se démarque du précédent par l'utilisation systématique d'un rouleau qui tasse le sol sur la graine (cultipaker) avant et après le semis (pour 12 exploitants sur 15). Contrairement à la majorité des exploitants qui passent toujours le cultipaker après un semis de culture fourragère, trois exploitants tiennent compte des conditions d'humidité du sol et ne passent le cultipaker que si le sol est sec, afin de conserver un peu d'humidité pour la germination des graines.

I-3-3 Le semis direct

Il arrive, plus rarement, que le semis se fasse après un simple désherbage chimique de la végétation, sans aucun travail du sol. C'est la technique du semis direct où le semoir creuse des sillons dans le sol non travaillé, y dépose les graines au fond puis referme et tasse les sillons. Cette technique est employée depuis seulement 2 à 3 ans par 8 exploitants qui souhaitent diminuer leur temps de travail en l'adoptant. Le matériel est acheté par les CUMA. Les expériences réalisées par l'ORSTOM ont montré que le semis direct limite les pertes en terre. Les 15 exploitants la considèrent comme une "technique de rattrapage" des jeunes semis mal implantés, ou pour prolonger l'implantation d'une vieille prairie. Pour obtenir les primes attribuées dans le cadre de la mesure de lutte contre l'érosion intitulée "reconversion des terres arables en herbages extensifs", le semis direct est le seul recours pour ressemer, s'il y a échec d'implantation de la prairie temporaire, car le sol ne doit pas être travaillé pendant 5 ans.

Les cultures concernées par cette pratique sont essentiellement des fourragères, en particulier le ray-grass, semé sur un vieux ray-grass, une vieille luzerne ou une prairie temporaire. Dans une exploitation, les vesce-avoine sont implantées en semis direct sur des vieux ray-grass.

Les 7 exploitants qui n'utilisent pas cette technique émettent quelques critiques, sans pour autant rejeter l'éventualité de l'utiliser si elle est améliorée. Pour l'instant, ils jugent que les rendements obtenus sont trop faibles, que la réussite du semis est aléatoire et que cette technique provoque un salissement important si le désherbage n'est pas maîtrisé.

I-4 La gestion du fumier sur l'exploitation

I-4-1 Les quantités produites et évacuées des bergeries

On estime qu'une brebis adulte produit en moyenne 1 t de fumier par an. Sur les Rougiers, cette production est moindre du fait que le troupeau est conduit au pâturage matin et après-midi du mois de mars-avril au mois de septembre-novembre. Néanmoins, chaque exploitation des Rougiers évacue de la bergerie au minimum 200 t de fumier par an.

Les organismes qui contrôlent la qualité du lait conseillent de curer la bergerie toutes les trois semaines. Seuls trois exploitants appliquent cette fréquence, trois autres curent la bergerie une fois par mois tandis que la majorité (9 exploitants) le fait tous les 2 mois pendant la période de pâturage et tous les mois pendant la période de stabulation, soit 9 à 10 fois par an.

I-4-2 Le stockage

Il se fait en majorité sur une unique fumière (12 exploitations) qui est située à moins de 100 m de la bergerie et à même le sol ou la roche. Une stratégie d'épandage particulière sur 3 exploitations conduit à la présence de plusieurs fumières (2, 3 ou plus...). Elles sont éloignées de la bergerie afin de garder les abords des bâtiments propres et/ou de stocker le fumier en bordure de la parcelle où il sera épandu (dans 2 exploitations).

Le fumier frais est stocké le plus souvent sur l'ancien tas et la reprise lors de l'épandage se fait sans discernement d'âge, qui peut varier de 1 à 6 mois. Dans 5 exploitations, le fumier est stocké en séparant les tas de différents âges et repris pour être épandu selon l'âge du plus ancien. Avant le stockage, deux exploitants ont l'habitude de broyer grossièrement le fumier avec l'épandeur pour l'homogénéiser et accélérer sa décomposition.

I-4-3 Le matériel d'épandage

La qualité de l'épandage satisfait globalement les exploitants. En effet, 12 estiment que le fumier est épandu en débris émiettés contre 3 en mottes compactes. Bien souvent, les appréciations sont fonction du type d'épandeur utilisé, dont la capacité théorique moyenne est de 5-6 tonnes. Plus l'épandage est large, meilleure est l'homogénéité des doses apportées sur une parcelle. Les épandeurs les plus courants, utilisés sur 12 exploitations, possèdent des hérissons horizontaux, simples ou doubles, dont la largeur d'épandage ne dépasse pas 2 m. Il est plus rare de rencontrer des exploitations équipées d'un matériel garantissant de très bons résultats : une exploitation est dotée d'un épandeur avec une table d'épandage qui distribue le fumier sur 8 m et 2 exploitations utilisent un épandeur à hérissons verticaux, acheté en CUMA, qui assure une largeur d'épandage sur 6-7 mètres. Au moment de l'enquête, les CUMA de Montlaur, Rebourguil et Mounès ont acheté des épandeurs à hérissons verticaux utilisés dès le printemps par trois exploitants.

Pour connaître précisément les doses de fumier épandues par hectare, un exploitant a pesé son épandeur chargé de fumier dépassant de 10 cm la hauteur de la remorque de capacité théorique 7 t. Avec du fumier frais pailleux, elle pèse 5.8 t et avec un fumier vieux de 6 mois elle pèse 5.35 t. La capacité réelle des épandeurs semble donc être inférieure à la capacité théorique indiquée sur les remorques, et ce quel que soit l'âge du fumier. Ainsi, les doses que les agriculteurs pensent apporter à l'hectare peuvent être surestimées.

I-5 L'épandage du fumier

I-5-1 La stratégie générale sur l'exploitation

=> Répartition du fumier sur la SAU

Dans 9 exploitations, les parcelles situées sur la plaine et les coteaux profonds sont prioritaires dans les rotations du plan d'épandage. Seule une minorité d'agriculteurs (4) ne différencie pas le type de sol. En fait, les coteaux maigres sont très souvent mis en marge du plan de fumure. En effet, ils ne reçoivent du fumier qu'en fonction de sa disponibilité après l'épandage sur les meilleures terres. Une exploitation exclut même les coteaux maigres de tout apport de fumier. En revanche, les parcelles situées sur des coteaux profonds sont exceptionnellement exclues de la fumure, dans les cas d'éloignement, d'accès difficile ou de pente trop forte.

Exceptées ces parcelles marginales, tous les coteaux profonds reçoivent régulièrement du fumier depuis plus de 10 ans.

Sur les coteaux profonds et la plaine, c'est généralement (pour 13 exploitations) le type de culture implantée qui conditionne l'apport du fumier sur une parcelle. Seuls 2 agriculteurs épandent le fumier en tenant compte de la dernière année d'apport du fumier afin d'avoir des fréquences d'épandage identiques sur toutes leurs parcelles.

=> Quantités épandues

Globalement, les exploitants adoptent tous la même stratégie pour répartir la quantité de fumier dont ils disposent. Ils appréhendent l'épaisseur moyenne du sol de chaque parcelle et apportent des quantités de fumier proportionnelles à cette épaisseur. Ainsi, un même exploitant peut apporter des doses pouvant varier de 20 t. ha⁻¹ (souvent de 30 à 50 t. ha⁻¹), si l'épaisseur du sol de ses parcelles est hétérogène. En général, le sol des coteaux maigres ne reçoit pas plus de 30 t. ha⁻¹ alors que les sols les plus épais reçoivent au moins 50 t de fumier par hectare.

=> Périodes d'épandage

Le chantier d'épandage se déroule de façon rigide, pendant les deux périodes de l'année où le sol est travaillé : à l'automne (en août et septembre) et principalement au printemps (en mars et avril).

A l'automne, le fumier est principalement apporté avant de semer du ray-grass et, beaucoup plus rarement, avant de semer des céréales ou des cultures dérobées. En effet, 2 exploitations épandent toujours du fumier avant le semis de ray-grass tandis que les autres le font très souvent, 4 exploitations en apportent souvent avec des cultures dérobées. Il beaucoup plus rare que 8 exploitations apportent du fumier lorsqu'une céréale est semée. Enfin, 2 exploitations se distinguent en apportant du fumier sur une jeune ou une vieille luzerne en couverture et à faible dose (20 t. ha⁻¹).

Au printemps, le chantier d'épandage se situe en priorité sur les parcelles de luzernes, systématiquement fumées sur 12 exploitations ou très souvent pour les autres.

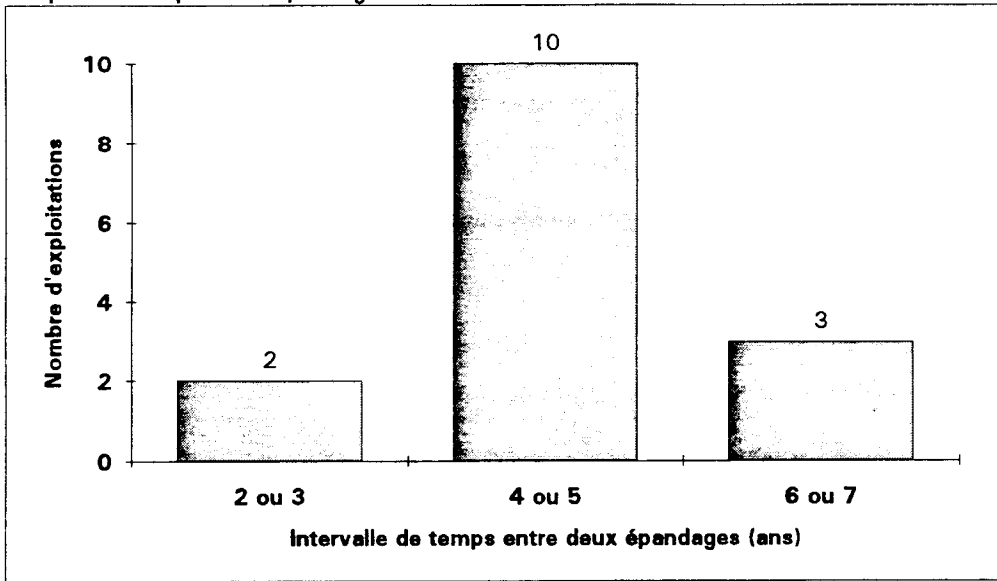
I-5-2 L'épandage sur les coteaux profonds

=> Fréquences d'épandage (Cf. graphe 2)

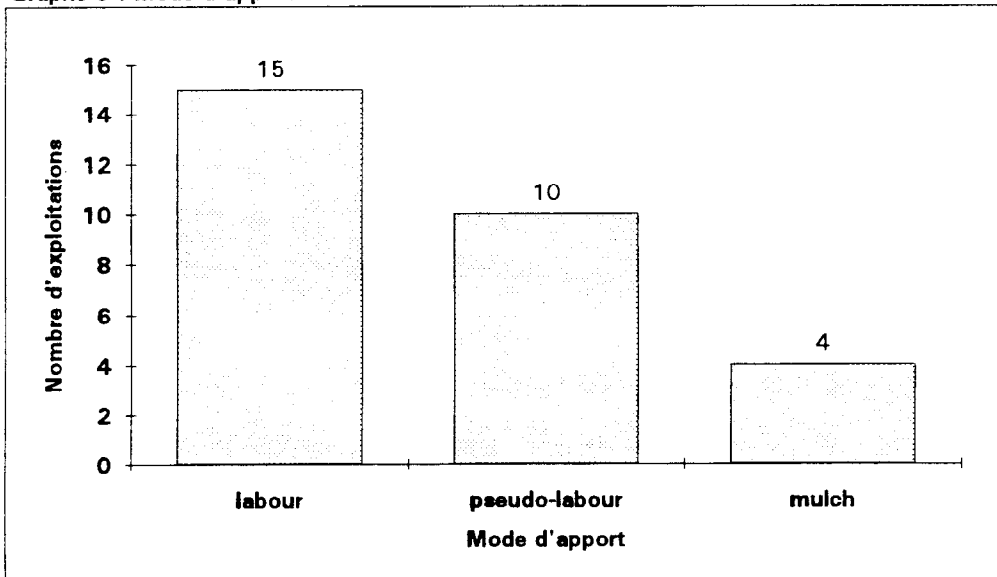
Le plus souvent, l'assolement sur les coteaux profonds (luzerne, ray-grass, céréale à grain, céréale à paille) comprend un apport de fumier avant la luzerne et la céréale à paille, soit une

EPANDAGE DU FUMIER SUR LES COTEAUX PROFONDS

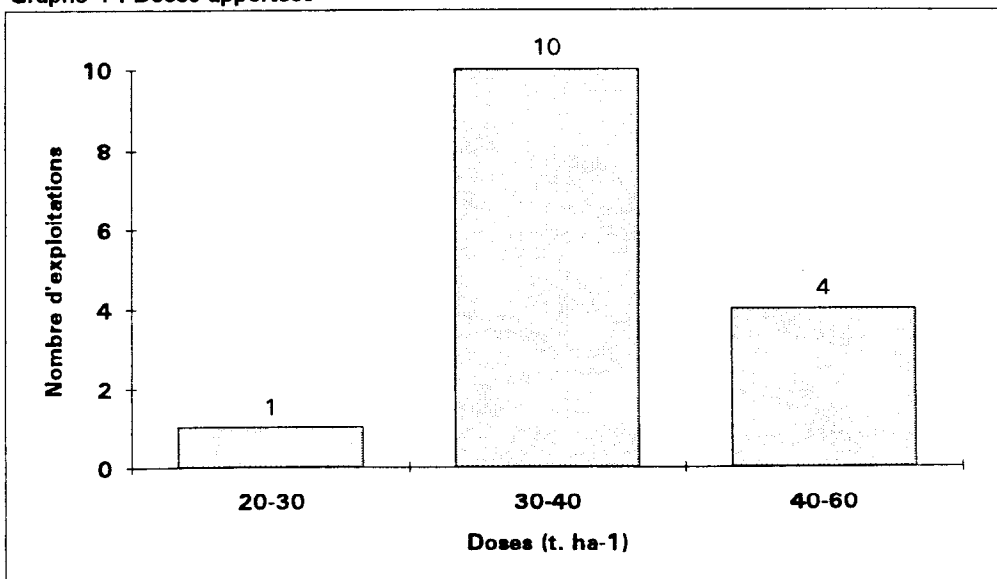
Graphe 2 : Frequence d'épandage



Graphe 3 : Mode d'apport



Graphe 4 : Doses apportées



fréquence de 4-5 ans qui est majoritaire dans 10 exploitations. Si la céréale à paille est exclue du plan de fumure, le fumier est apporté tous les 6-7 ans, comme c'est souvent le cas sur 3 exploitations. Dans 2 exploitations, les ray-grass reçoivent systématiquement du fumier, en plus des luzernes et des céréales à pailles. Les coteaux profonds sont alors fumés tous les 2-3 ans.

=> Mode d'enfouissement du fumier (Cf graphe 3)

Sur toutes les exploitations le fumier est enfoui par le labour.

Dans 10 exploitations, le fumier peut aussi être incorporé plus superficiellement lorsqu'un pseudo-labour est réalisé. Dans ce cas, différents outils sont utilisés (disques, chisel, vibroculteur, herse rotative). Un exploitant épand le fumier après le labour, et l'enfouit de façon superficielle, au vibroculteur.

L'épandage du fumier en fin d'itinéraire (en mulch) et à faible dose (15 à 30 t. ha⁻¹) est beaucoup plus rare. Cette technique est pratiquée par 4 exploitants, dont 2 depuis moins de deux ans. Un exploitant épand le fumier sur un jeune semis direct et les trois autres sur des prairies naturelles ou des ray-grass de 1 an. Les agriculteurs réticents pour épandre le fumier en mulch sur la culture ou un jeune semis pensent que le fumier n'est pas assez décomposé et risque de brûler le semis à la levée. Ils craignent le salissement des parcelles par le fumier qui contient des graines d'adventices. Ils redoutent de plus les maladies du troupeau si le pâturage est trop rapproché de la date d'épandage du fumier. Selon eux, l'utilisation d'un fumier décomposé et minéralisé (compost) permettrait de remédier à tous ces inconvénients. Cependant, la préparation d'un compost nécessite du temps de surveillance qui leur fait défaut.

=> Estimation des doses apportées par hectare (Cf. graphe 4)

Qu'il soit enfoui profondément ou superficiellement dans le sol des coteaux profonds, le fumier est le plus souvent apporté à des doses de 30 à 40 t. ha⁻¹. En effet, 10 exploitants sur 15 estiment qu'ils épandent à cette dose. Des doses plus faibles, de 20 à 30 t. ha⁻¹, ne sont appliquées que sur une exploitation. Depuis 2 à 3 ans, les doses épandues ont diminué de 10 t. ha⁻¹ en moyenne, passant de 40-50 t. ha⁻¹ à 30-40 t. ha⁻¹. Malgré cette évolution, 4 exploitations apportent encore des doses de 40 à 60 t. ha⁻¹. Les motivations de la tendance à la diminution des doses résident dans la volonté d'étendre le plan de fumure à un plus grand pourcentage de la SAU, y compris les coteaux maigres. Cependant, cet objectif n'est réalisable que si l'exploitation se donne la possibilité d'épandre à de faibles doses avec un matériel plus performant (hérissons verticaux).

I-6 Typologie des pratiques sur les coteaux profonds

Les données de l'enquête montrent que les pratiques agricoles en matière de travail du sol et d'apport de fumier résultent d'une combinaison de quatre facteurs principaux :

1- la fréquence d'apport du fumier : elle peut être de 2-3 ans (sur 2 exploitations), 4-5 ans (sur 10 exploitations) ou 6-7 ans (sur 3 exploitations) ;

2- les doses de fumier apportées ; parmi les 15 exploitants, 10 d'entre eux estiment épandre le fumier à 30-40 t. ha⁻¹, quatre à 40-60 t. ha⁻¹, et un seul à 20-30 t. ha⁻¹. Pour observer l'impact de ce facteur, on distingue les faibles doses (de 10 à 35 t. ha⁻¹), et les fortes doses (de 40 à 60 t. ha⁻¹);

3- le mode d'enfouissement du fumier ; ce dernier peut être enfoui plus ou moins profondément, par le labour retourné (conventionnel) ou le labour dressé (sur les 15 exploitations), à faible profondeur par un pseudo-labour (sur 10 exploitations), ou épandu en mulch à la fin de l'itinéraire technique (sur 4 exploitations) ;

4- le type d'itinéraire technique pour implanter la culture : il est lourd et la préparation du lit de semence est très affinée si une culture fourragère est implantée ; il est léger, avec 2 ou 3 passages d'outils, si une céréale ou une culture dérobée sont semées.

II ECHANTILLONNAGE DE 16 PARCELLES PAYSANNES

II-1 Le choix des parcelles

II-1-1 Détermination des parcelles à échantillonner

Pour établir une typologie des parcelles paysannes sur la base des pratiques culturales avec apport de fumier, on combine donc ces 4 facteurs. Ainsi, il existe théoriquement 3 (fréquences) x 2 (doses) x 4 (modes d'apport) x 2 (types d'itinéraires techniques), soit 48 types de parcelles à échantillonner. Cependant, les 4 modes d'apport de fumier n'existent que dans le cas des cultures fourragères, les céréales ne recevant du fumier que très rarement, et par le labour. Les prélèvements ne peuvent donc se faire qu'avec des cultures fourragères, en particulier la luzerne, qui reçoit systématiquement du fumier. Dès lors, on n'étudie pas l'itinéraire simplifié (non représenté dans la typologie), mais seulement l'itinéraire affiné, qui comprend 24 types de parcelles. On peut noter qu'on considère le type d'itinéraire technique le plus érosif, du fait du nombre important de passages d'outils pour une préparation fine du lit de semence.

Tableau 4 :**Typologie et fréquence des pratiques
(en nombre d'exploitations enquêtées)**

Mode d'enfouissement du fumier	Fréquences d'apport du fumier	Doses: 10-35 t. ha⁻¹	Doses: 40-60 t. ha⁻¹
Labour conventionnel	2-3 ans	2	1
	4-5 ans	5	2
	6-7 ans	2	1
Labour dressé	2-3 ans	0	2
	4-5 ans	1	4
	6-7 ans	1	4
Pseudo-labour	2-3 ans	3	3
	4-5 ans	5	4
	6-7 ans	2	2
Mulch, non enfoui	2-3 ans	1	0
	4-5 ans	1	0
	6-7 ans	1	0

La typologie des parcelles paysannes est présentée au tableau 4. Après avoir estimé le nombre d'agriculteurs susceptibles de posséder une parcelle type, il ressort que les pratiques les plus courantes d'enfouissement du fumier sont un apport de fumier une fois tous les 4-5 ans, par le labour conventionnel à faibles doses, par le labour dressé à fortes doses, par le pseudo-labour à faibles et fortes doses. Le fumier est aussi souvent apporté tous les 6-7 ans à fortes doses par le labour dressé.

II-1-2 Détermination des conditions de prélèvement

Afin de comparer l'impact du mode d'enfouissement, de la fréquence et des doses de fumier sur le statut physique et organique des sols de coteaux profonds, on se place dans des conditions qui induisent le minimum de variabilité entre les parcelles types, mis à part les facteurs que l'on a choisi de considérer.

On échantillonne des parcelles travaillées et fumées il y a deux ans pour apprécier un éventuel effet durable du fumier sur la teneur en carbone organique par rapport à la teneur de parcelles témoins (n'ayant jamais été fumées).

Sur chaque exploitation, un échantillon de fumier de 4 à 6 mois d'âge est prélevé afin de tester la variabilité inter-exploitations de leurs teneurs en carbone et azote organique. Si ces teneurs sont trop hétérogènes, elles seront intégrées dans l'interprétation des teneurs en carbone et azote organique des sols.

Parmi les trois fréquences d'apport du fumier, on considère la fréquence de 4-5 ans, qui est appliquée le plus souvent sur les 15 exploitations. En revanche, les fréquences d'apport de 2-3 ans et de 6-7 ans ne sont pas rencontrées dans toutes les exploitations. Dès lors, le nombre de parcelles types à échantillonner passe de 24 à 8. Si plusieurs parcelles de chaque type sont disponibles dans différentes exploitations, elles seront toutes prélevées afin d'avoir le maximum de représentativité.

En résumé, les prélèvements se font dans les conditions suivantes :

- **une luzerne, ou tout du moins une fourragère, est implantée ;**
- **la parcelle a été fumée et travaillée il y a deux ans, c'est-à-dire en 1994 ;**
- **la parcelle reçoit du fumier en moyenne tous les 4-5 ans depuis plus de 10 ans ;**
- **un échantillon de fumier est prélevé sur chaque exploitation.**

Tableau 5

Parcelles échantillonnées

Mode d'apport du fumier	Doses: 20-35 t.ha ⁻¹	Doses: 40-60 t.ha ⁻¹
Labour conventionnel (LBC)	COL, Colombarié, 20 t.ha ⁻¹ , T/D/L BOUT, Boutavy, 30 t.ha ⁻¹ , L/D/F/RGI * fumier tous les 2 ans de 79 à 83	CAMP, Les Camps, 45 t.ha ⁻¹ , L/D, * fumier tous les 6 ans MON, Montrouch, 40 t.ha ⁻¹ , RGH VER, Verrière, 60 t.ha ⁻¹ , L/D, * pâturage 1 fois (2 mois)
Labour dressé (LBD)		BOR, Les Borries, 40 t.ha ⁻¹ , L GAL, Galamans, 40 t.ha ⁻¹ , L MAZ, Mas de Mazel, 45-50 t.ha ⁻¹ , L/D, * fumier tous les 6 ans PUECH, Puechilloux, 40 t.ha ⁻¹ , L/S, * pâturage 1 fois (20 j)
Pseudo-labour (chisel, CHI)	BOR-RG, Les Borries, 25 t.ha ⁻¹ , RGH, * pâturage 1 fois (14 j) GRINE, La Grine, 30 t.ha ⁻¹ , D * fumier en 1993 et tous les 3/4 ans, pâturage 2 fois (10 j) BER, Campalviès, 30-35 t.ha ⁻¹ , RGH, * fumier tous les 8 ans (2 derniers apports), pâturage 2 fois (14 j)	
Non enfoui (mulch)	PRI, Saint-Privat, 10 t.ha ⁻¹ de compost sur L + (F/RGA/T)	EST, Saint-Estève, 50 t.ha ⁻¹ , L/D, * fumier en 1995 et jamais fumée avant

Témoin (jamais fumée): MON-T, Montrouch et PRI-T, Saint-Privat.

Abréviations:

L = luzerne, D = dactyle, T = trèfle, RG = ray-grass I = italien - A = anglais - H = hybride,
F = fétuque, S = sainfoin

II-1-3 Présentation des 16 parcelles échantillonnées

Sur la base de l'ensemble des conditions de prélèvement, 14 parcelles et 2 parcelles témoins (n'ayant jamais été fumées depuis au moins 10 ans) ont été échantillonnées. Le tableau 5 résume la répartition des 16 parcelles entre les 4 modes d'enfouissement du fumier et les 2 types de doses. Il précise l'identification de l'échantillon (lettres en capitales), son origine, la dernière dose de fumier que l'agriculteur estime avoir apportée, la culture en place depuis 1994, et éventuellement des remarques (précédées de *) sur un facteur non conforme aux conditions de prélèvement souhaitées.

Parmi 13 exploitations ayant fourni une parcelle type, toutes les situations de la typologie, avec un apport de fumier tous les 4-5 ans, n'ont pas pu être échantillonnées. En effet, deux types de parcelles ne sont pas représentés. Il s'agit du labour dressé avec de faibles doses de fumier et du pseudo-labour avec de fortes doses. Pour le labour dressé, cela est normal car, d'après la typologie, un seul exploitant était susceptible de fournir ce type de parcelle. En revanche, on aurait dû échantillonner autant de parcelles où de fortes doses de fumier sont enfouies par le chisel que celles avec de faibles doses. Les conditions fixées pour les prélèvements, notamment le fait de ne prélever que sur des parcelles de fourragères, ont certainement réduit la disponibilité des différents types de parcelles qui figurent dans la typologie. De plus, l'absence des fortes doses correspond à une pratique de fumure raisonnée, adoptée par la majorité des exploitants enquêtés. Ils évitent d'épandre de fortes doses si le fumier est enfoui superficiellement (*Cf.* enquête). La parcelle EST n'est pas conforme à cette pratique d'épandage car une très forte dose a été épandue en mulch. Comme la majorité des agriculteurs le redoutent, cet épandage en surface, et à très forte dose, a empêché une bonne installation de la prairie de luzerne/ray-grass. Lors du prélèvement, un an après l'épandage, il reste encore des mottes de fumier en surface et de rares pieds de ray-grass subsistent. La croissance de la luzerne semble avoir été totalement inhibée par de fortes concentrations d'azote organique libérées par le fumier.

Inversement, bien que l'enfouissement de fortes doses de fumier tous les 4-5 ans par le labour conventionnel (retourné) soit rare dans la typologie, trois parcelles sont échantillonnées. Ceci s'explique par le fait que, ces dernières années, les agriculteurs ont tendance à diminuer les doses de fumier, en particulier lorsqu'il est enfoui par le labour (*Cf.* enquête). Ainsi, en 1994, les doses étaient supérieures (d'environ 10 t. ha⁻¹) à celles que les agriculteurs apportent en 1996, lorsqu'ils sont enquêtés.

II-2 Prélèvements

Pour chaque parcelle échantillonnée, le même protocole est adopté. Avant tout échantillonnage, des informations sont recueillies. Un questionnaire est soumis à l'agriculteur pour connaître la superficie, la perception du type de sol, les précédents culturaux, les pratiques de fertilisation organique et chimique et les éventuelles techniques de lutte antiérosive réalisées sur la parcelle. Un exemplaire de ce questionnaire est donné en annexe 3. Sur la parcelle, on relève l'orientation, l'altitude, la position de la parcelle sur le versant, et la forme de la pente.

Une fois ces renseignements acquis, on procède aux prélèvements de sol. Si la parcelle a une épaisseur et un type de sol relativement homogène, les prélèvements se font dans le sens de la ligne de plus grande pente, à des intervalles réguliers comptés en pas. Dans le cas contraire, les prélèvements se font en croix, 4 dans une direction et 4 autres dans la direction perpendiculaire. Dans tous les cas, la pente est mesurée entre chaque point à l'aide d'un clinomètre. Sur chaque parcelle, huit échantillons sont prélevés à l'aide d'une tarière à 0-10, 10-20 et 20-30 cm de profondeur. Les huit échantillons de chaque profondeur sont réunis et mélangés pour constituer un échantillon composite représentatif du sol de la parcelle. Tous les deux points de prélèvements, un cylindre de 500 cm³ est enfoncé dans le sol afin de mesurer la densité apparente.

II-3 Observations des témoignages d'érosion

A partir d'une observation systématique sur un rayon de 1 m autour des 8 points de prélèvement à la tarière, on estime le pourcentage de surface couverte (par de la végétation, des résidus de culture ou de fumier) et de surface nue, soit ouverte (avec des fissures et des mottes), soit fermée (avec des croûtes et des cailloux inclus dans le sol). Le tableau 6 synthétise les observations qui ont été notées pour chaque parcelle.

=> Etats de surface

Les états de surface sont le plus souvent constitués par une couverture très dense de végétation ou de résidus de récoltes (touffes de fourragères et andains). En effet, le tapis de végétation est quasi continu (95%) sur 9 parcelles. Pour les 7 autres parcelles, la surface nue n'atteint pas plus de 20 ou 30% de la surface totale. Sur ces surfaces nues, on peut remarquer un état de surface fermé et compact laissant apparaître très peu de zones ouvertes avec des mottes ou des fentes.

Tableau 6 : Etats de surface des parcelles paysannes

PARCELLES	Témoignages d'érosion	Surface couverte / totale	Surface ouverte / nue
LBC (Doses < 35 t.ha-1)			
BOUT	NON	80% (végétation)	20 % (fentes de retrait)
COL	N: cailloux concentrés en surface	80% (végétation)	0 %
LBC (Doses > 40 t.ha-1)			
CAMP	L: griffes - N: cailloux concentrés en surface	95% (végétation)	X
MON	NON	95% (résidus)	X
VER	NON	95% (végétation)	X
LBD (Doses > 40 t.ha-1)			
BOR	N: touffes surélevées et cailloux concentrés en surface	70% (résidus)	12 % (mottes < 2 cm)
GAL	NON	95% (végétation)	X
MAZ	N: cailloux concentrés en surface	70% (résidus)	10 % (mottes < 2 cm)
PUECH	L: griffes - N: cailloux en surface et touffes surélevées	80% (végétation)	0%
CHI (Doses < 35 t.ha-1)			
BER	N: touffes surélevées - M: décrochements	95% (végétation)	X
BOR-RG	NON	95% (végétation)	X
GRINE	L: griffes - N: touffes surélevées - M: décrochements	80% (végétation)	0 %
MULCH			
EST (Dose > 40t. ha-1)	NON	95% (végétation et fumier)	X
PRI (Dose < 35 t. ha-1)	L: griffes	95% (résidus)	X
T (Dose nulle)			
MON-T	NON	75% (végétation)	20 % (fentes)
PRI-T	NON	95%	X

L: érosion linéaire
 N: érosion en nappe
 M: érosion en masse

X : Surface nue peu différente de 0

=> Témoignages d'érosion

Malgré la présence du couvert végétal développé ou des résidus de culture, les témoignages d'érosion sont visibles sur 8 parcelles représentant les 4 modes d'apport du fumier. C'est l'érosion en nappe qui est la plus fréquemment rencontrée (7 parcelles sur 8). Elle est visible par la présence de cailloux concentrés en surface et de touffes surélevées. Dans cinq cas sur huit et pour les quatre modes d'enfouissement du fumier, l'érosion linéaire est présente sous le stade initial des griffes. Sur deux parcelles travaillées au chisel, on observe des micro falaises (décrochements) en aval des touffes et dans le sens du semis. Les parcelles travaillées par le labour dressé et le chisel sont, malgré le couvert végétal, souvent touchées par l'érosion en nappe. En effet, on en observe des traces sur trois des quatre parcelles travaillées par le labour dressé et sur deux des trois parcelles travaillées par le chisel. Ainsi, bien que les parcelles échantillonnées soient sous un couvert végétal permanent depuis deux ans, elles présentent une certaine sensibilité à l'érosion. Néanmoins, ces observations ne sont pas suffisantes pour caractériser l'impact du travail du sol et de l'enfouissement du fumier sur l'érodibilité des parcelles. Il faut déterminer les propriétés physiques et organiques du sol pour mettre en évidence un éventuel impact du travail du sol et de l'apport de fumier.

III CARACTERISATION DU STATUT PHYSIQUE ET ORGANIQUE DES 16 PARCELLES PAYSANNES

Pour une grande partie des sols cultivés les plus fertiles, l'érosion résulte du ruissellement lié à la diminution de l'infiltrabilité consécutive à la dégradation structurale superficielle sous l'action des pluies (Le Bissonnais et Le Souder, 1995). La stabilité structurale du sol dépend de nombreux facteurs (nature des constituants, texture, précédents culturels, etc...) et, en particulier, de la qualité et du niveau des stocks organiques (Albrecht, Rangon et Barret, 1992). Des mesures de la composition granulométrique, de la densité apparente et des teneurs en carbone et azote organiques totaux ont donc été réalisées sur les échantillons des 16 parcelles paysannes.

III-1 Matériel et méthodes

Pour toutes les couches de sol 0-10, 10-20, 20-30 cm prélevées sur les parcelles, tout l'échantillon préalablement séché à l'air est tamisé à 2 mm. Il est ensuite partité afin de disposer de fractions représentatives pour les étapes ultérieures de dosage ou de broyage.

III-1-1 Statut organique

Le dosage du carbone (C) et de l'azote (N) organiques totaux est réalisé sur un échantillon de sol tamisé à 2 mm et broyé à 0.2 mm (on broie la totalité d'une fraction d'environ 20 g). La détermination des teneurs en C et N se fait avec un analyseur C, H, N, S CARLO ERBA - NA 2000 ®. Les caractéristiques de l'appareil sont données en annexe 4. Le dosage comprend trois principales phases :

- une prise d'essai, d'environ 4 g, est brûlée à 1020°C ;
- les gaz de combustion sont oxydés en CO₂ pour le C, en oxydes d'azote qui sont ensuite réduits en N₂ pour l'azote (N) ;
- les gaz (N₂, CO₂) passent, avec le gaz vecteur (l'hélium), dans une colonne de CPG (chromatographie en phase gazeuse) où ils sont séparés puis quantifiés par un détecteur à conductibilité thermique.

Les teneurs en C et N organiques totaux sont directement données en g. 100g⁻¹ de l'échantillon séché à l'air.

Du fumier séché à l'air, prélevé sur 13 exploitations situées sur la zone d'étude, a aussi été soumis au même dosage. Ce dernier se fait sur une fraction de l'échantillon broyée dans un moulin à café, jusqu'à l'obtention d'une poudre qui puisse être traitée par l'appareil de dosage.

III-1-2 Statut physique

=> Mesure de la densité apparente (Da) et de l'humidité pondérale (Hp)

La mesure de la densité apparente est réalisée à l'aide d'un cylindre métallique de 500 cm³ à bout biseauté que l'on enfonce entièrement dans le sol. Ce dernier est extrait du sol et on rabote avec un couteau les 2 extrémités du cylindre pour se rapprocher au mieux du volume de 500 cm³. L'échantillon est conservé dans un sachet plastique hermétique. Il est pesé frais (masse Pe en g) puis après séchage à l'étuve à 105°C pendant 48 h (masse Ps en g) afin de calculer :

- **la densité apparente**, égale à : $Da = Ps / V$ (en g. cm⁻³)

où V le volume de terre humide (500 cm³) ;

- **l'humidité pondérale**, égale à : $Hp = (Pe / Ps) \times 100$ (en g. 100g⁻¹).

Le résultat donné pour chaque parcelle correspond à la moyenne des 4 sondages réalisés à des intervalles réguliers (un sur deux prélèvements à la tarière).

Tableau 7 : Matières sèches, teneurs en C et en N organiques des fumiers

ECHANTILLONS	MS	MS	Teneur en C	Teneur en N	C/N
	Fumier frais (g.100g-1)	Fumier séché à l'air (g.100g-1)	Fumier frais C (g.kg-1)	Fumier frais N (g.kg-1)	Fumier frais
BER	23.6	88.2	69.3	6.2	11.2
BOR	23.8	87.8	99.7	6.9	14.5
BOUT	28.6	86.4	115.1	9.0	12.8
CAMP	17.5	87.5	69.4	6.0	11.6
COL	27.5	86.8	105.3	8.2	12.8
EST	20.6	87.7	80.2	6.3	12.8
GAL	29.1	90.6	108.2	6.7	16.3
GRINE	22.2	87.6	82.4	7.4	11.2
MAZ	22.4	87.1	80.9	6.6	12.3
MON	23.8	86.9	88.5	6.9	12.9
PRI	26.9	86.8	108.8	9.1	12.0
PUECH	24.6	86.7	88.5	7.4	12.0
VER	28.8	87	109.4	8.6	12.7
Moyenne	24.6	87.5	92.8	7.3	12.7
é. type	3.5	1.1	15.9	1.1	1.4
cv %	14.2	1.2	17.1	14.6	10.8

=> Composition granulométrique de la couche de sol 0-10 cm

L'objectif de l'analyse granulométrique consiste à différencier par la taille les éléments minéraux du sol et à quantifier leur répartition pondérale, dans des classes de diamètres prédéfinies (Musy et Soutter, 1991). Ces dernières sont les sables grossiers ($> 200 \mu\text{m}$), les sables fins ($50-200 \mu\text{m}$), les limons grossiers ($20-50 \mu\text{m}$), les limons fins ($2-20 \mu\text{m}$) et enfin les argiles ($< 2 \mu\text{m}$). L'analyse est réalisée sur une fraction (environ 40 g) de l'échantillon de sol tamisé à 2 mm après destruction de la matière organique à l'eau oxygénée et dispersion à l'hexamétaphosphate de sodium. Le principe de l'analyse (détaillé en annexe 5) repose sur la séparation progressive des particules selon leur dimension décroissante. Les résultats exploités sont bruts et sont exprimés en g. kg^{-1} de sol séché à $105 \text{ }^\circ\text{C}$. Par la suite, les teneurs en argiles et en limons sont projetées sur le triangle des textures du GEPPA afin d'identifier la texture de chaque parcelle.

III-2 Humidités et teneurs en C et en N organiques des fumiers

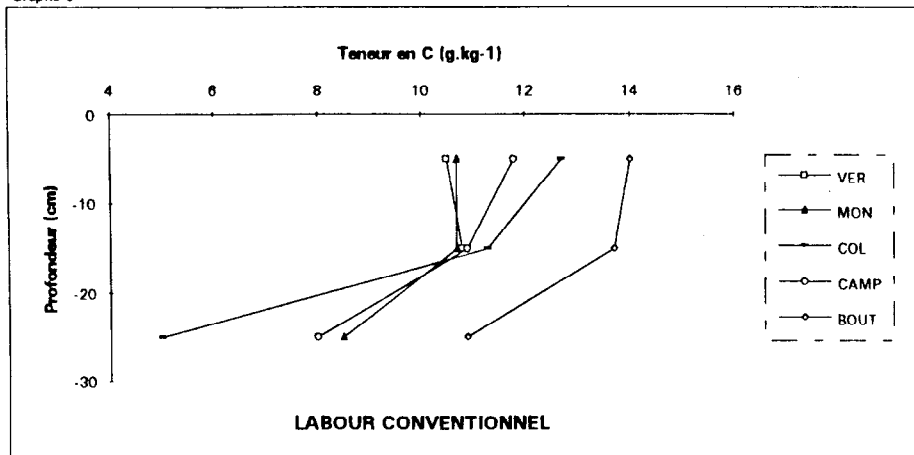
Le tableau 7 présente la teneur en matière sèche, et en C et N organiques totaux des fumiers frais des 13 exploitations ayant mis une parcelle à notre disposition.

Sur l'ensemble des 13 exploitations, les teneurs en C (et en N) organiques totaux des fumiers frais sont relativement variables, avec des coefficients de variation de 17% pour le C et de 15% pour l'N. Ces variations semblent être essentiellement dues à celles des teneurs en eau (coefficient de variation de 14.2%). Par exemple, le fumier CAMP a une faible teneur en C (69.4 g. kg^{-1}) et a aussi le plus faible taux de matière sèche (17.5%). Inversement, les fumiers BOUT, COL, GAL, PRI et VER ont les plus fortes teneurs en C (comprises entre 105 et 115 g. kg^{-1}) et aussi les matières sèches les plus élevées (comprises entre 26.9 et 29.1%).

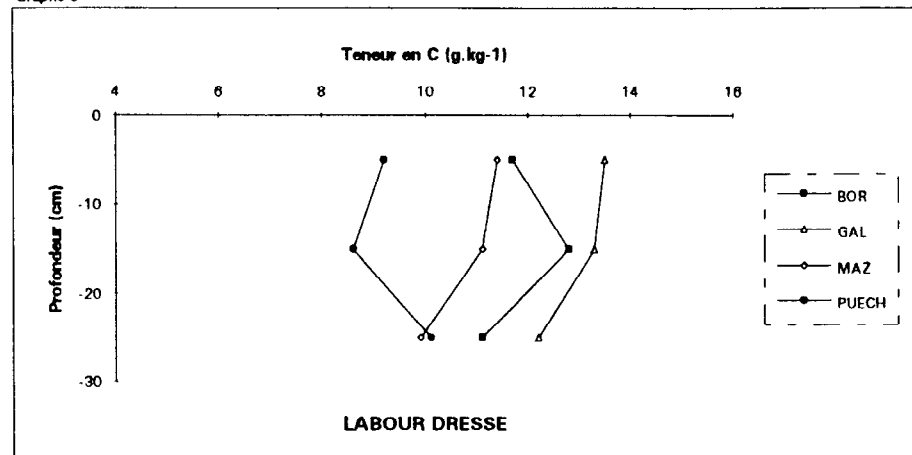
Les variations des teneurs en eau peuvent être attribuées aux fréquences de curage du fumier et aux conditions de stockage où l'écoulement du purin est plus ou moins favorisé. En revanche, l'âge des fumiers, compris entre 4 et 6 mois, ne doit pas influencer sur la variation des teneurs en eau. En effet, les fumiers sont dans un stade de maturation voisin, car les rapports C/N varient relativement peu autour de la valeur moyenne de 12.7 (coefficient de variation de 11%). Ce rapport C/N moyen est faible, mis à part celui des fumiers BOR et GAL qui est compris entre 14 et 17. Les fumiers sont donc dans un stade de décomposition assez avancé.

Teneur en C dans les couches de sol 0-10, 10-20, 20-30 cm en fonction de 4 modes d'apport du fumier

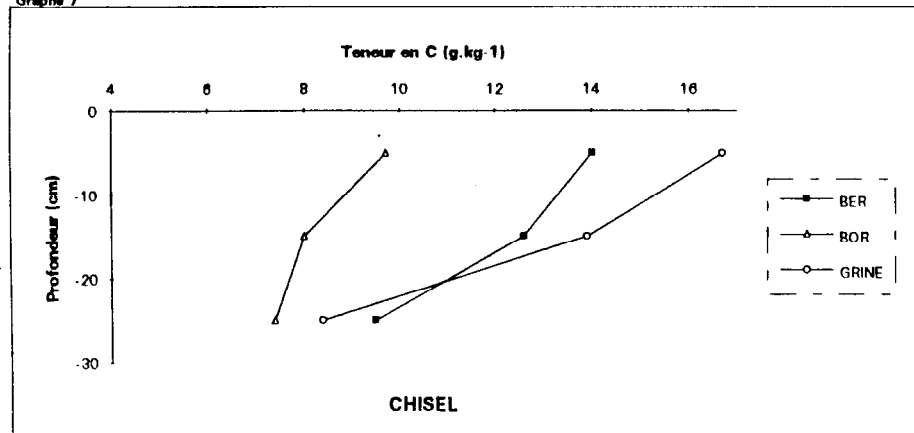
Graphe 5



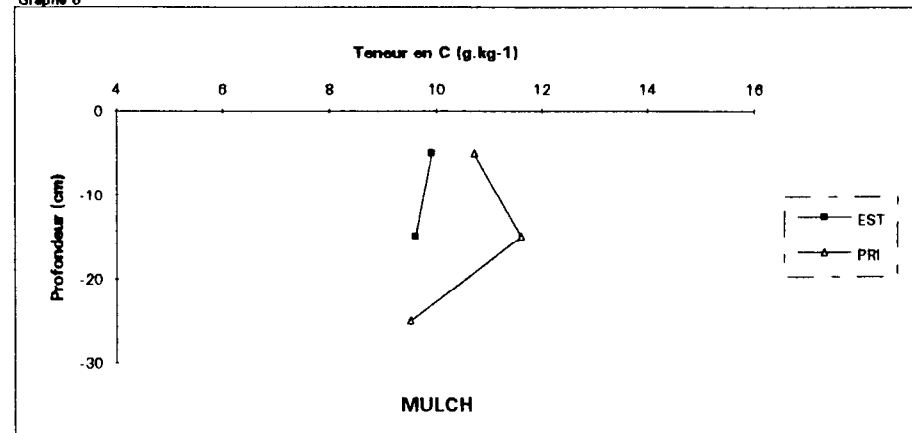
Graphe 6



Graphe 7



Graphe 8



Dans l'ensemble, les caractéristiques des 13 fumiers sont peu différentes. Le statut organique des 16 parcelles paysannes sera donc étudié indépendamment des teneurs en C et en N des fumiers.

III-3 Teneurs en C organique de 0 à 30 cm de profondeur

III-3-1 Profil des teneurs en C selon le mode d'enfouissement (Cf. graphes 5, 6, 7 et 8)

Il est difficile d'interpréter l'effet de l'apport de fumier en mulch à partir des données disponibles. Outre la donnée manquante pour la couche de sol 20-30 de la parcelle EST, les deux parcelles échantillonnées sont insuffisantes pour représenter significativement ce type d'apport.

Pour le labour conventionnel, les cinq parcelles échantillonnées ont une évolution relativement uniforme de la teneur en C en fonction de la profondeur du sol. De 0 à 20 cm, les teneurs en C restent quasiment constantes (BOUT, MON, VER) ou diminuent légèrement de 1 à 1.5 g. kg⁻¹ (CAMP, COL). Au delà de 20 cm, la teneur en C chute plus brutalement (de 2 g. kg⁻¹ à plus de 6 g. kg⁻¹ pour COL). La profondeur de labour semble donc être de l'ordre de 20 cm en moyenne.

Pour le labour dressé, et comparativement au labour conventionnel, les variations des teneurs en C entre les trois couches de sol des 4 parcelles sont mineures. Elles ne dépassent pas 1.7 g. kg⁻¹. Ces variations limitées laissent supposer que le labour dressé est plus profond que le labour retourné, et qu'il atteint environ 25 cm.

Pour le chisel, les teneurs en C des trois parcelles décroissent rapidement et régulièrement en fonction de la profondeur de sol. Entre 0 et 30 cm, la teneur en C chute de 4.5 g. kg⁻¹ pour BER et de 8.3 g. kg⁻¹ pour GRINE.

La profondeur d'enfouissement du fumier semble donc déterminer, au moins en partie, les variations de la teneur en matière organique dans la couche de sol arable.

III-3-2 Impact du mode d'enfouissement

L'enfouissement superficiel du fumier avec le chisel ne concerne que la couche de sol superficielle et induit, par conséquent, un gradient de teneur en C organique en fonction de la profondeur du sol. Par opposition, l'enfouissement du fumier par le labour dressé et le labour retourné dilue la matière organique sur une plus grande profondeur de sol et atténue le gradient

Tableau 8 : Statut physique et organique des 16 parcelles paysannes

PARCELLES	Texture	Argile (g. kg-1)	Argile + Limon F (g. kg-1)	Dap (g.cm-3) moy. (é. type)	Hp (g. kg-1) moy. (é. type)	C (0-10 cm) (g. kg-1)	C (10-20 cm) (g. kg-1)	C (20-30 cm) (g. kg-1)	C/N (0-10 cm)
LBC (Doses < 35 t.ha-1)									
BOUT	ALs	317	581	1.54 (0.15)	152 (31)	14	13.7	10.9	11.9
COL	As	329	464	1.49 (0.15)	182 (31)	12.7	11.3	5	9.4
LBC (Doses > 40 t.ha-1)									
CAMP	LAS	230	407	1.43 (0.08)	103 (25)	11.8	10.9	8	9.7
MON	LAS	227	506	1.53 (0.02)	99 (7)	10.7	10.7	8.5	8.4
VER	LAS	251	521	1.42 (0.03)	113 (11)	10.5	10.8		8.6
				<u>1.48 (0.05)</u>					
LBD (Doses > 40 t.ha-1)									
BOR	ALs	293	521	1.49 (0.04)	151 (13)	11.7	12.8	11.1	8.9
GAL	LAS	227	405	1.47 (0.09)	201 (45)	13.5	13.3	12.2	8.6
MAZ	ALs	350	698	1.49 (0.03)	147 (34)	11.4	11.1	9.9	8.3
PUECH	LAS	227	509	1.49 (0.08)	82 (11)	9.2	8.6	10.1	9.4
				<u>1.49 (0.01)</u>					
CHI (Doses < 35 t.ha-1)									
BER	LAS	239	437	1.42 (0.05)	151 (1)	14	12.6	9.5	12.4
BOR-RG	Sal	152	350	1.54 (0.09)	208 (31)	9.7	8	7.4	7.9
GRINE	LAS	224	500	1.38 (0.08)	209 (40)	16.7	13.9	8.4	9.6
				<u>1.45 (0.08)</u>					
MULCH									
EST (Dose > 40 t.ha-1)	LAS	209	386	1.42 (0.10)	154 (44)	9.9	9.6		10.6
PRI (Dose < 35 t.ha-1)	LAS	272	467	1.44 (0.08)	138 (42)	10.7	11.6	9.5	8.7
				<u>1.43 (0.01)</u>					
T (Dose nulle)									
MON-T	LAS	209	404	1.46 (0.08)	103 (6)	8.8	7.9		8.4
PRI-T	LAS	254	470	1.28 (0.03)	171 (21)	14.2	14		9.7
				<u>1.37 (0.13)</u>					

Texture (triangle du GEPPA, 1963) :

LAS : texture limono-argilo-sableuse

ALs : texture argilo-limono-sableuse

As : texture argilo-sableuse

Sal : texture sablo-argilo-limoneuse

Da et Hp : 4 mesures par parcelle

de la teneur en C organique. Cependant, avec le labour dressé, la dilution de la matière organique paraît plus homogène qu'avec le labour conventionnel car la teneur en C décroît moins sur la couche de sol arable. Ces résultats suggèrent que le labour dressé permet de travailler le sol plus profondément que le labour retourné. Cette remarque paraît vraisemblable quand on considère le travail que les deux labours réalisent. A vitesse du tracteur et à puissance équivalentes, la force motrice nécessaire pour retourner la terre est supérieure à celle qui la dresse, et ce d'autant plus que le sol est "lourd". Ainsi, la quantité d'énergie consacrée au retournement de la terre est utilisée au détriment de la profondeur d'enfoncement du soc et donc du labour.

Si le type de travail du sol détermine le gradient de teneur en matière organique dans l'horizon de culture, ce n'est certainement pas le seul critère explicatif du statut organique du sol. D'autres facteurs, à la fois externes et intrinsèques au sol, peuvent avoir un impact sur la teneur en C organique du sol. Pour les mettre en évidence, on se focalise sur la couche superficielle de sol car c'est à ce niveau que se détermine l'érodibilité.

III-4 Caractéristiques physiques et organiques du sol des 16 parcelles

Le tableau 8 synthétise les principales caractéristiques physiques et organiques de la couche superficielle du sol (0-10 cm) des 16 parcelles paysannes (texture, densité apparente, humidité, teneurs en argile, en argile + limon fin, en carbone et rapport C/N).

III-4-1 Les caractéristiques

=> Texture

Le détail de la composition granulométrique de la couche de sol 0-10 cm des 16 parcelles est donné en annexe 6.

Dans l'ensemble, les 16 parcelles échantillonnées sont relativement peu différenciées par leur composition granulométrique. La texture majoritaire, rencontrée sur 11 parcelles, est limono-argilo-sableuse (LAS) avec une teneur en argile variant entre 209 (EST) et 272 (PRI) g. kg⁻¹. Une texture plus argileuse (ALs) est rencontrée sur trois parcelles ayant des taux d'argiles compris entre 293 (BOR) et 317 (BOUT) g.kg⁻¹. Deux dernières parcelles se distinguent par leur type textural. L'une est argilo-sableuse (COL), avec un taux d'argiles de 329 g. kg⁻¹, l'autre est sablo-argileuse (BOR-RG), avec le plus faible taux d'argile qui est de 152 g. kg⁻¹. On peut noter que,

mis à part la parcelle BOUT, les parcelles qui ont une texture autre que LAS sont situées en bordure de la zone géologique des Rougiers, en particulier au niveau de la commune de Combret, zone de transition entre les Rougiers et les Monts de Lacaune. Par exemple, sur l'exploitation des Borries (échantillons BOR), on rencontre deux textures totalement différentes (ALs et Sal).

=> Densité apparente

La densité apparente des parcelles, indicateur de la porosité de l'horizon 0-10 cm, est relativement peu variable. En effet, les valeurs s'échelonnent entre 1.28 et 1.54 g. cm⁻³. Pour chaque type d'enfouissement du fumier, seules les trois parcelles travaillées par le chisel ont des densités apparentes assez variables : l'écart-type des moyennes des 4 mesures par parcelle est de 0.08. Pour les autres modes d'enfouissement, l'écart-type est faible. En comparant les moyennes de la densité apparente des parcelles représentant un mode d'enfouissement, seules celles qui sont travaillées par un labour dressé (Da = 1.49) peuvent être différenciées de celles ayant reçu du fumier en mulch (Da = 1.43) (test t significatif à 1%). Mais dans l'ensemble, les différences sur une même parcelle sont souvent supérieures aux différences entre les modes d'enfouissement. Il n'apparaît donc pas de variabilité nette de la densité apparente liée au mode de travail du sol. Les parcelles, travaillées 2 ans avant la mesure de la densité apparente, ont subi des impacts climatiques et mécaniques (notamment le tassement par le pâturage et les outils mécaniques) qui ont diminué la porosité créée par le travail du sol. Comme les sols sont génétiquement voisins, leur restructuration a conduit à une densité apparente peu variable.

=> Teneur en C organique total

Les deux parcelles témoins, bien que n'ayant jamais reçu de fumier en 10 ans, ont des teneurs en C organique variables. Les 14 autres parcelles ayant reçu du fumier ont elles aussi des teneurs en C organique hétérogènes. Elles s'échelonnent entre 9.2 g. kg⁻¹ pour PUECH et 16.7 g. kg⁻¹ pour GRINE. Néanmoins, les teneurs en C ne sont pas différenciées en fonction des doses de fumier. En effet, la moyenne des teneurs en C est de 11.3, pour les fortes doses, et 12.5, pour les faibles doses, avec des écarts-types respectifs de 1.3 et 2.6.

=> Rapport C/N

Le rapport C/N est généralement inférieur à 10 sauf pour les parcelles BOUT, BER et EST. Dans les sols cultivés, le C/N du sol traduit soit une bonne activité biologique (C/N inférieur à 10), soit une activité biologique réduite (C/N supérieur à 10) (Soltner, 1989). A priori, ces trois parcelles sont dans des conditions limitantes de minéralisation de la matière organique. La parcelle

BOUT est la plus tassée de toutes, avec une densité apparente de 1.54 g. cm^{-3} . Les conditions d'aération du sol doivent être limitantes pour la décomposition du fumier enfoui par le labour. La parcelle EST a quant à elle reçu du fumier en mulch depuis moins d'un an et à très forte dose. Bien qu'étant en surface, ce dernier est encore incomplètement décomposé. Le rapport C/N des parcelles représentant le même mode d'enfouissement est peu variable pour les parcelles de type LBC, MULCH, T et surtout LBD (comme les densités apparentes), avec un coefficient de variation de 5%. En revanche, celui des parcelles de type CHI est très variable (comme les densités apparentes) avec un coefficient de variation de 23%.

III-4-2 Les facteurs déterminants de la teneur en C dans la couche de sol 0-10 cm

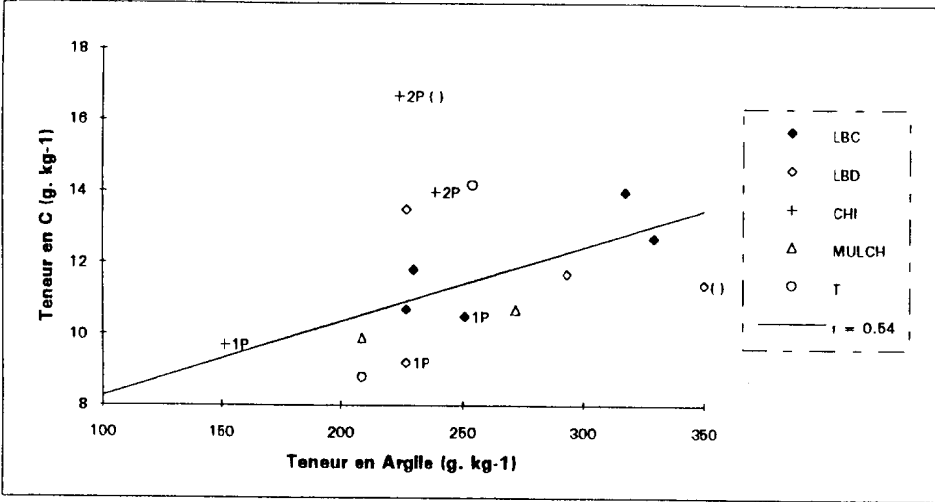
=> Composition granulométrique

Dans la matière organique du sol, on entend d'une part la matière organique fraîche ou libre, peu décomposée, qui correspond aux résidus, sécrétions et excréments de plantes, de microorganismes et d'animaux, d'autre part des produits transitoires de courte durée de vie, et enfin l'humus, sous-produit amorphe de la minéralisation de la matière organique fraîche. L'humus et les matières organiques transitoires s'associent avec la fraction minérale du sol et forment un complexe stabilisant de la structure du sol. Mais ces liaisons se forment surtout avec la fraction minérale la plus fine : 50% des argiles et 90% des argiles et des limons fins sont liés au carbone organique sous forme de macroagrégats organominéraux (Christensen, 1996).

Sur le graphe 9, la teneur en C des parcelles paysannes semble liée à la teneur argile. En excluant la parcelle GRINE (notée 2P ()), pâturée deux fois juste avant les prélèvements et fumée tous les 3-4 ans, et la parcelle MAZ (notée ()), qui a un sol différent des autres parcelles par sa forte teneur en argile, l'augmentation de la teneur en C est corrélée significativement (au seuil de 5%) avec la teneur en argile ($r = 0.54$). La teneur en argile explique 29% de la variabilité de la teneur en C de la couche de sol 0-10 cm. En revanche, il n'apparaît pas de corrélation significative dans le nuage de points plus dispersés du graphe 10, qui correspond à la teneur en C en fonction de la somme des teneurs en argiles et en limons fins. Plus que la teneur en éléments fins inférieurs à $20 \mu\text{m}$, la teneur en argile est donc un facteur explicatif du niveau du statut organique des parcelles paysannes.

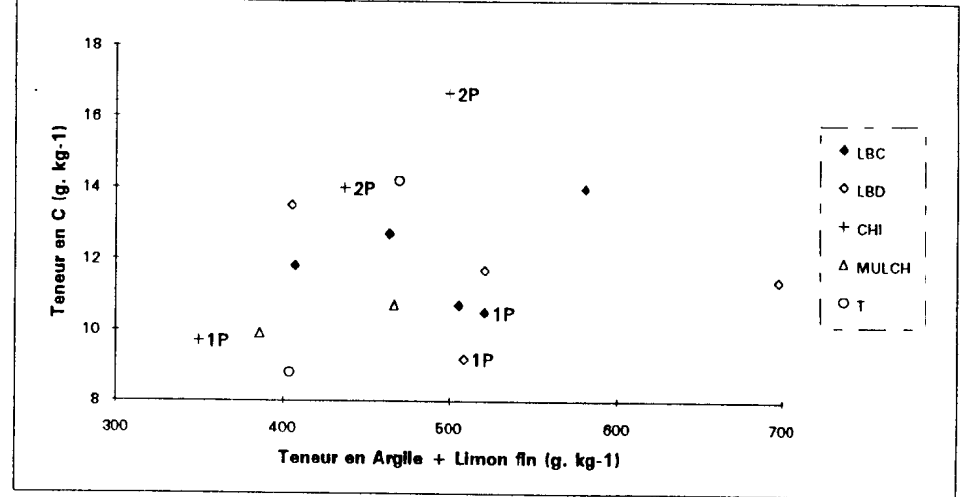
Statut organique de la couche de sol 0-10 cm des 16 parcelles paysannes

Graphe 9

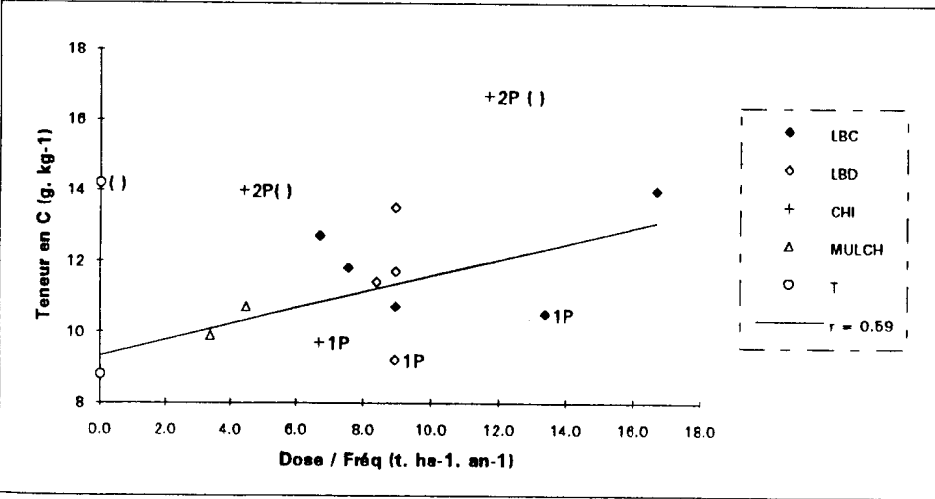


en excluant les points notés ()

Graphe 10

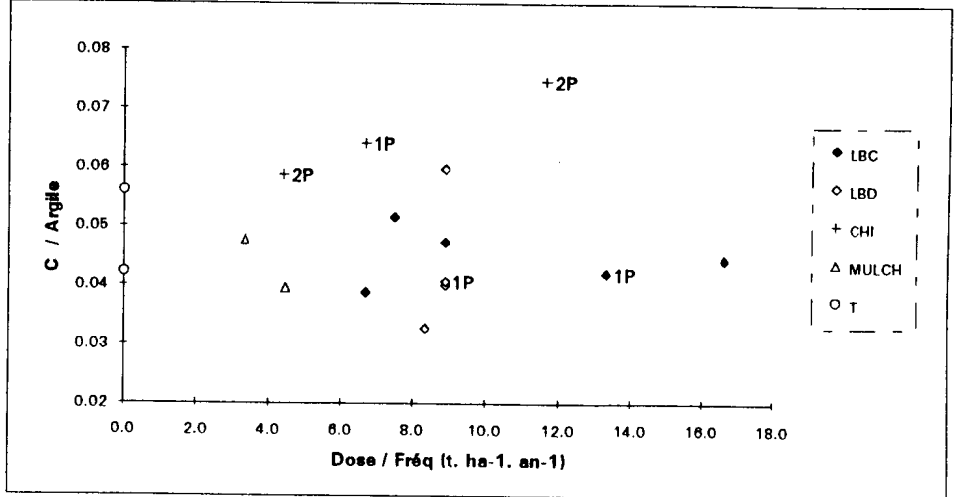


Graphe 11



en excluant les points notés ()

Graphe 12



2P : parcelle pâturée 2 fois avant les prélèvements

1P : parcelle pâturée 1 fois avant les prélèvements

=> Quantités de fumier apportées sur le long terme

Comme il a été précisé précédemment, la dernière dose de fumier apportée n'est pas déterminante pour la teneur en C des parcelles. Sur le graphe 11, on considère non pas la dernière dose, mais la quantité apportée à la parcelle sur le long terme. Elle est portée sur l'axe des abscisses qui est gradué de 0 à 18 t. ha⁻¹. an⁻¹. Cette quantité correspond à la dose moyenne que l'agriculteur estime épandre sur ses bons coteaux (données de l'enquête) pondérée par la fréquence moyenne d'apport du fumier depuis 10 à 20 ans sur la parcelle considérée. Cette dernière est connue grâce au questionnaire soumis aux agriculteurs avant les prélèvements d'échantillons. Le nuage de points du graphe 11 présente une tendance à l'augmentation de la teneur en C proportionnellement avec la quantité de fumier apportée. En effet, si on exclut les parcelles pâturées deux fois avant les prélèvements (GRINE et BER), et la parcelle témoin (PRI) qui a un statut organique particulier (parcelles notées ()), la teneur en C est corrélée positivement à la quantité de fumier ($r = 0.59$, significatif au seuil de 5%) qui explique 35% de sa variabilité.

Sur le graphe 12, la disposition des trois parcelles travaillées par le chisel suggère que la quantité de fumier apportée depuis plus de 10 ans a un impact notable sur le statut organique de la couche superficielle de sol : plus cette quantité est importante, plus le niveau du stock organique de surface est élevé. Pour les parcelles travaillées profondément par le labour, l'effet de la quantité de fumier apportée sur le long terme n'est pas aussi marqué. En effet, leur teneur en C varie peu sur toute l'échelle des quantités de fumier apportées. A l'issue de l'enquête, la logique d'épandage qui se dégage est l'enfouissement de doses de fumier au prorata de l'épaisseur du sol de la parcelle. Autrement dit, le fumier apporté à fortes doses est enfoui plus profondément que s'il est apporté à de faibles doses. Au final, la dilution de la quantité de fumier dans la couche de sol 0-10 cm est équivalente, quelles que soient les quantités de fumier apportées depuis plus de 10 ans. Cette adaptation des pratiques au milieu explique donc pourquoi la teneur en C organique de la couche de sol 0-10 cm des parcelles labourées est assez peu hétérogène.

=> Pâturage

Outre ce fait, on peut remarquer, sur le graphe 11, que les parcelles pâturées deux fois avant les prélèvements (notées 2 P) ont une teneur en matière organique particulièrement élevée. En revanche, celles qui ont été pâturées une fois (notées 1 P) ont les plus faibles teneurs en C organique. Les variations en fonction du pâturage restent délicates à interpréter d'autant que les modalités de pâturage (charge notamment) n'ont pas été étudiées.

=> Mode d'enfouissement du fumier

Sur le graphe 12, où la teneur en C est pondérée par la teneur en argile, l'hypothèse de l'enrichissement en C organique de la couche superficielle par le pâturage est infirmée. En effet, il apparaît clairement ce qui a déjà été mis en évidence en considérant la couche de sol 0-30 cm : l'enfouissement superficiel du fumier par le chisel hausse le niveau de la teneur en matière organique sur une profondeur de 10 cm. En effet, les trois parcelles travaillées par le chisel (notées +) ont les plus fortes teneurs en C. En analysant les pratiques des agriculteurs, on comprend pourquoi les trois parcelles travaillées par le chisel sont pâturées. L'enquête a montré que l'itinéraire technique de travail du sol est réalisé en fonction de la culture implantée et du rendement espéré. Dans le cas des prairies peu productives qui sont pâturées à défaut de pouvoir être fauchées, les agriculteurs ne travaillent pas le sol en profondeur et utilisent un outil de remplacement du labour, en particulier le chisel. Ainsi, ce n'est pas le pâturage mais l'enfouissement superficiel du fumier par le chisel qui enrichit la couche superficielle du sol en C organique.

=> Synthèse

Si les 16 parcelles paysannes ont des caractéristiques physiques (texture et densité apparente) peu différentes dans l'ensemble, leur statut organique est plus différencié. Un facteur proposé pour expliquer ces variations est la teneur en argile, qui explique 29% des variations des teneurs en C organique. Ajouté à ce facteur intrinsèque au sol, les quantités de fumier apportées sur le long terme ont tendance à rehausser le niveau du stock organique de la couche de sol 0-10 cm. Ceci est d'autant plus remarquable si le fumier est enfoui superficiellement (par le chisel). S'il est enfoui profondément par un labour retourné ou dressé, la pratique d'adaptation des doses en fonction de la profondeur de sol conduit à avoir des teneurs en C organique de la couche superficielle du sol relativement homogènes.

Le statut organique et physique des 16 parcelles des agriculteurs a donc été caractérisé par la teneur en C des couches de sol 0-10, 10-20 et 20-30 cm, et par la mesure de la densité apparente et de la composition granulométrique. Cela a permis de constater que le mode d'enfouissement du fumier a un impact notable sur le profil de la teneur en C organique dans une orofondeur de sol de 30 cm. Avec un enfouissement superficiel par le chisel, il existe un fort gradient de la teneur en C (qui décroît régulièrement) de 0 à 30 cm. La matière organique est concentrée en surface. Avec un enfouissement profond par un labour, la matière organique est mieux répartie sur toute la profondeur de 0-30 cm, surtout si le labour est dressé. Les

caractéristiques physiques de la couche superficielle de sol 0-10 cm, c'est-à-dire la texture et la densité apparente différencient peu les parcelles entre elles. En revanche, la teneur en C organique à 0-10 cm varie en fonction de plusieurs facteurs. La teneur en argiles est un facteur intrinsèque du sol ayant un impact non négligeable, mais les pratiques culturales, en particulier le fait d'enfourer du fumier depuis longtemps et selon différentes façons, permet de rehausser ou de modifier le statut organique de la couche superficielle du sol.

Ainsi, les pratiques culturales avec apport de fumier déterminent sans aucun doute le statut organique du sol des parcelles. Comme on suppose que la matière organique est importante pour stabiliser la structure du sol, les pratiques culturales avec apport de fumier doivent par conséquent influencer l'érodibilité du sol des coteaux profonds. C'est précisément ce qui reste à vérifier par des tests et des mesures expérimentales qui caractérisent l'érodibilité.

TROISIEME PARTIE

EVALUATION DE L'ERODIBILITE DU SOL EN PARCELLES EXPERIMENTALES ; APPORT DE FUMIER PAR LE LABOUR OU SUR SEMIS DIRECT

Photo n° 1 : Le site expérimental de Verrières



I LES ESSAIS SUR LA PARCELLE EXPERIMENTALE DE VERRIERES

I-1 Présentation de la parcelle

Les tests visant à caractériser l'érodibilité du sol des coteaux profonds en fonction des pratiques culturales de la zone sont réalisés sur une même parcelle expérimentale.

I-1-1 Choix du site

La parcelle expérimentale est située à Verrières (commune de Montlaur) dans le bassin versant du Riaudou, qui est au coeur de la zone des Rougiers (Cf. photo 1). Elle appartient aux associés du GAEC de Verrières, Messieurs Valat et Vernet. Le sol est caractéristique des coteaux profonds des Rougiers. Pendant quatre ans, il est resté sous une prairie de luzerne/dactyle, implantée au printemps 1991 après un apport de 60 t. ha⁻¹ de fumier ovin enfoui par un labour conventionnel. A l'automne 1995, l'échec d'un semis de ray-grass (après travail superficiel du sol au forescar) a constitué un événement déterminant pour retenir cette parcelle (nommée "la Sale") parmi toutes les surfaces de coteaux profonds du GAEC de Verrières. Cette parcelle offre de plus des commodités pour les essais du fait qu'elle est à côté du village, où le matériel est stocké, et assez proche du point d'eau nécessaire pour les tests de terrain.

I-1-2 Description du dispositif

Le dispositif croise trois types d'apport (colonnes) et cinq types de travail du sol (lignes), soit quinze parcelles de 18 m x 9 m couvrant près d'un quart d'hectare au total. (Cf. fig 1 et photo 2). Les associés du GAEC de Verrières ont effectué les travaux du sol avec leur propre matériel du 12 au 16 avril 1996.

Les trois types d'apport sont les suivants :

- **apport de fumier** , soit 30 t.ha⁻¹ de fumier ovin stocké 2.5 mois puis apporté au champ avec un épandeur à doubles hérissons horizontaux (largeur 2.5 m).
- **apport de fumier "composté"**, provenant du même fumier ovin grossièrement émiété par les hérissons de l'épandeur avant d'être stocké 2.5 mois ; ce fumier est épandu au champ à une dose correspondant à 30 t.ha⁻¹ de fumier frais ;

Photo n° 2 : La parcelle expérimentale



Fig 1 : Schéma du dispositif

NORD

AMONT	TS	LD	LC	SD	LM
ENGRAIS NPK					
FUMIER FRAIS		X	X	X	
FUMIER COMPOSTE					

x : parcelles étudiées dans ce mémoire

AVAL

TS : Travail Simplifié

LD : Labour Dressé

LC : Labour Conventionnel (retourné)

SD : Semis Direct

LM : Labour Conventionnel avec fumier en Mulch

- **pas d'apport de fumier , colonne "témoin"** avec fertilisation chimique à raison de 500 kg.ha⁻¹ d'engrais complet NPKS 14-8-20-20 (N sous forme ammoniacale, K sous forme de chlorure, P sous forme d'acide diphosphorique soluble et S sous forme de sulfate).

Cinq itinéraires techniques sont réalisés en reproduisant les pratiques en vigueur sur les coteaux profonds des Rougiers :

-**LC** : un itinéraire avec labour conventionnel, à plat ou retourné, après un éventuel épandage de fumier, avec une charrue qui descend à 25-30 cm de profondeur et dont l'écartement des socs est réglé à 16", l'apport d'engrais pour la colonne témoin, un passage de herse rotative (à 10 cm de profondeur) combinée à un rouleau-packer (rouleau léger crénelé), semis avec un semoir classique (écartement 15 cm) combiné à un rotalabour (fraise à dents droites tournant autour d'un axe horizontal perpendiculaire à la marche, travaillant à environ 10 cm de profondeur), puis un passage du cultipacker (outil comprenant deux rouleaux lourds, d'axes perpendiculaires à la marche, et constitués chacun de disques verticaux jointifs biseautés) ;

- **LD** : l'itinéraire labour dressé est le même que pour LC mais le labour, toujours à 25-30 cm de profondeur, est dressé du fait du rapprochement des socs à 12" (les agriculteurs qui réalisent un labour dressé se dotent en général d'une charrue à versoirs courts) ;

-**LM** : l'itinéraire labour avec mulch est le même que pour LC, mais l'épandage du fumier se fait en fin d'itinéraire, après passage du cultipacker ;

-**TS** : l'itinéraire de travail simplifié est composé d'un éventuel apport de fumier avant son enfouissement superficiel, c'est-à-dire dans les 10 premiers cm du sol, par un passage de forescar (outil à dents non animées en forme de "queue de cochon", comparable au vibroculteur à la différence que les dents sont plus espacées et rigides), l'apport d'engrais sur la colonne témoin, un passage de herse rotative combinée à un rouleau-packer, puis un passage du semoir classique combiné au rotalabour, et pour finir un passage du cultipacker ;

-**SD** : le semis direct (ou non travail) comprenant avant tout un désherbage sélectif des dicotylédones avec du Round Up® (produit actif : glyphosate) puis passage d'un semoir conçu pour le semis direct.

Le démarrage tardif des essais a imposé l'installation d'une culture de printemps. Un semis d'avoine alternative (à 130 kg. ha⁻¹), variétés Peniar (80%) et Fringant, a fourni un couvert végétal suffisamment développé pour comparer les productions de matière sèche par hectare et considérer ce couvert dans certains essais. La levée rapide du semis a été favorisée par des pluies de

printemps survenues juste après le semis et qui ont persisté pendant environ deux semaines avant une période d'ensoleillement durable.

I-1-3 Déroulement des essais et situations étudiées

Le CDASA a suivi la croissance de l'avoine et a mesuré la production de matière sèche par hectare. La conduite des essais visant à comparer l'érodibilité des différents itinéraires techniques est menée par l'équipe du LCSC de l'ORSTOM-Montpellier. Les expériences se déroulent à deux échelles différentes. Du 24 juin au 5 juillet, des tests d'érodibilité et des observations sont effectués sur la parcelle expérimentale. Des échantillons de sol prélevés sur la parcelle sont soumis à des mesures complémentaires de laboratoire.

Les situations étudiées dans le cadre de ce mémoire, et représentées par une croix sur le schéma du dispositif, sont :

- **le labour conventionnel, à plat, avec enfouissement de fumier (LCf) ;**
- **le labour dressé avec enfouissement de fumier (LDf) ;**
- **le semis direct avec épandage de fumier en mulch (SDf).**

En effet, tous les résultats des essais n'ont pu être dépouillés dans le temps imparti pour la rédaction du mémoire. Comme les propriétés du sol des parcelles paysannes ont précédemment été caractérisées en fonction de l'apport de fumier, l'érodibilité du sol est donc testée sur le sol qui a reçu du fumier. Sur l'ensemble des itinéraires techniques, on traite les cas pour lesquels on s'attend à observer des comportements bien différenciés, en l'occurrence le non travail du sol (semis direct) et le travail du sol par le labour. Comme l'enquête a révélé des divergences sur le choix de la technique de labour, les labours dressé et retourné sont étudiés simultanément.

I-2 Les mesures de laboratoire

I-2-1 Echantillonnage sur la parcelle

Les prélèvements d'échantillons sont réalisés pendant la période des essais.

Sur les trois parcelles étudiées (LCf, LDf et SDf), un échantillon des couches de sol 0-10, 10-20 et 20-40 cm est prélevé, en enfonçant un cylindre biseauté dans le sol, en trois points

équidistants situés à plus d'un mètre du bord de la parcelle. Ainsi, la structure du sol n'est pas perturbée. Les trois prélèvements par parcelle sont mélangés pour constituer un unique échantillon soumis à trois types de mesures :

- la composition granulométrique de la couche de sol 0-10 cm ;
- la teneur en C et en N organiques totaux des couches de sol 0-10, 10-20 et 20-40 cm ;
- un test de stabilité des agrégats (à l'immersion dans l'eau).

L'échantillon est séché à l'air et tamisé à 2 mm avant qu'une fraction représentative en soit extraite pour chaque mesure.

I-2-2 Composition granulométrique et teneurs en C organique total

La composition granulométrique et la teneur en C organique total sont déterminées de la même façon que pour les parcelles paysannes (préparation de l'échantillon et appareils de dosage identiques).

I-2-3 Test de stabilité des agrégats

La désagrégation et la battance du sol peuvent intervenir sans impact des gouttes de pluie, sous le simple effet de l'humectation. Le principal effet de l'humectation, lorsqu'elle est brutale, semble être lié à la formation de poches d'air occlus, en particulier dans les micropores des agrégats. L'augmentation de la pression de l'air, provoquée par la pénétration de l'eau dans les agrégats, peut alors être telle qu'elle excède la résistance mécanique des agrégats, et provoque leur éclatement (Musy et Soutter, 1991). C'est la résistance à l'éclatement des agrégats par immersion qui est testée avec la méthode de tamisage dans l'eau. Le protocole est joint en annexe 7. Seul le prétraitement 2.1 "immersion dans l'eau permutée froide" a été réalisé.

Pour chaque échantillon de la couche de sol 0-10 cm, on détermine la fraction stable supérieure à 200 µm restant sur le tamis (avec les sables grossiers) après immersion complète de l'échantillon pendant 30 mn et tamisage dans l'eau pendant 6 mn. Le pourcentage de sables grossiers est déterminé après avoir tamisé la fraction stable supérieure à 200 µm dans une solution dispersante de NaOH. Le pourcentage d'agrégats stables est obtenu par différence entre le pourcentage de la fraction supérieure à 200 µm (restant sur le tamis après le premier tamisage) et le pourcentage de sables grossiers. Dans un second temps, on cherche à quantifier la dispersion due à l'éclatement des agrégats en mesurant, sur la fraction inférieure à 200 µm, d'une part les

particules élémentaires de taille inférieure à 20 μm (argiles et limons fins) et d'autre part, par différence, la fraction de taille comprise entre 20 et 200 μm .

I-3 Les tests réalisés sur la parcelle

L'objectif d'un test est seulement de fournir des références sur le comportement d'un sol dans des conditions spécifiques, et de permettre des comparaisons entre sols ou l'étude de l'effet d'un paramètre particulier (Le Bissonnais et Le Souder, 1995). L'érosion hydrique est à la fois due à l'énergie des gouttes de pluie sur la surface sol et à l'énergie du ruissellement. Des tests de simulation de pluie et de ruissellement ont donc été réalisés afin de comparer, entre les différents itinéraires techniques, les principaux critères d'érodibilité du sol. La simulation de pluie (Asseline et Valentin, 1978) est pratiquée depuis plusieurs années sur le terrain pour tester la sensibilité du sol à l'arrachement des particules de terre, ou détachabilité, et à la battance. La simulation de ruissellement (Asseline, De Noni, Nouvelot et Roose, sous presse), mise au point plus récemment, permet d'observer l'organisation du ruissellement en fonction de la topographie et d'appréhender le comportement de l'hydrodynamique interne du sol (capacité d'infiltration, ruissellement hypodermique).

I-3-1 Simulation de pluie

=> Le principe du test

Au delà d'un certain seuil d'intensité de pluie, l'impact des gouttes de pluie provoque l'arrachement des particules terreuses, ou détachabilité, qui peuvent être projetées à une distance de quelques dizaines de cm (effet splash). Les particules terreuses se retrouvent dans les micro-dépressions locales et colmatent le système poral. Ajouté au fait que les dépôts lités constituent un frein pour la levée et le développement des plants, le colmatage du système poral entrave l'infiltration et contribue de façon importante à la genèse du ruissellement. Avec le simulateur de pluie, le comportement hydrodynamique de surface du sol est étudié : on évalue le degré d'infiltration et de ruissellement du sol régi par l'impact des gouttes de pluie sur l'arrachement des particules terreuses.

Fig. 2

La simulation de pluie : dispositif et principes de fonctionnement (d'après Asseline et al., 1978 et 93)

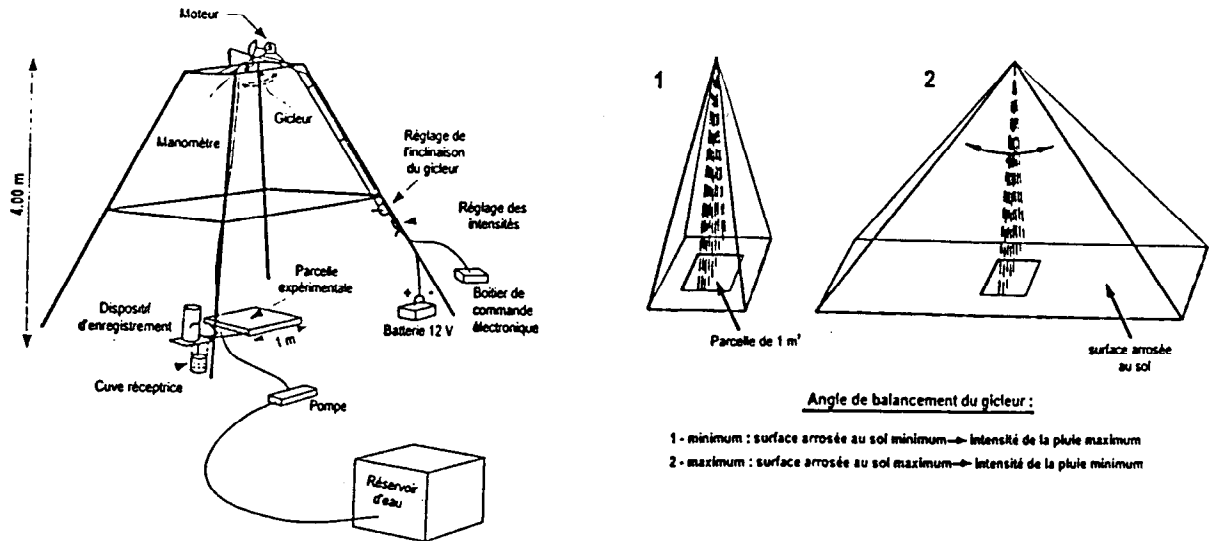
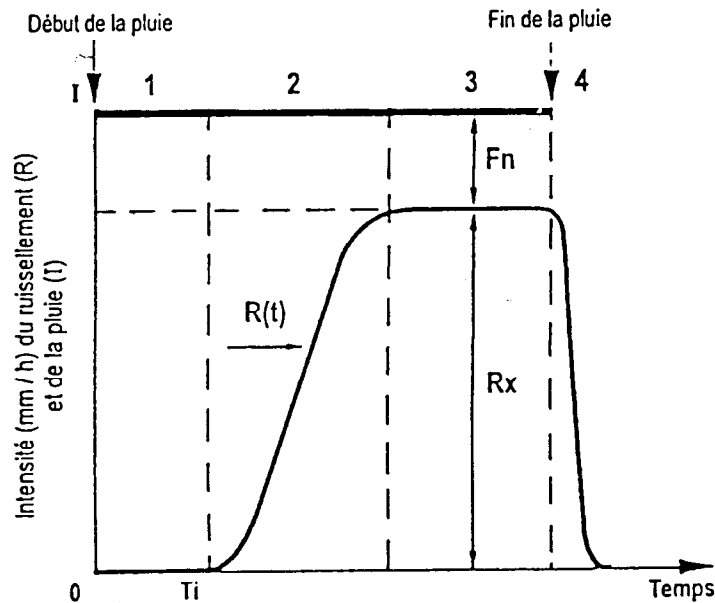


Fig. 3

Hydrogramme théorique de ruissellement pour une pluie d'intensité constante (d'après Lafforgue, 1977)



- 1 - Phase d'imbibition
- 2 - Phase de transition
- 3 - Phase d'écoulement permanent
- 4 - Phase de vidange

- I : intensité de la pluie
- R_x : intensité du ruissellement à régime constant
- F_n : intensité de l'infiltration à régime constant
- $R(t)$: courbe de ruissellement en fonction du temps

=> **Présentation du simulateur de pluie et des données mesurées**

Le simulateur de pluie (Cf. fig 2) est constitué d'un cadre métallique de 16 m² à la base et de 4 m de haut. Une bâche recouvre le cadre afin de s'affranchir de l'action parasite du vent. Au sommet du cadre, un gicleur, alimenté à débit constant, délivre un jet de gouttes d'eau à pression constante. En réglant la pression du gicleur, on obtient des gouttes d'eau identiques à celles des pluies naturelles. A débit constant et à pression constante, l'intensité des gouttes de pluie est uniquement fonction de l'angle de balancement du gicleur. Le gicleur est situé à la verticale du centre d'une parcelle de 1 m² délimitée par un cadre métallique enfoncé de 5 cm dans le sol.

La parcelle de 1 m² est positionnée perpendiculairement au sens de la plus grande pente de façon que l'eau non infiltrée soit collectée dans la gouttière placée en aval du cadre métallique. Une gouttière en tube PVC conduit cette eau dans une bassine où sont effectués des prélèvements. Ces derniers ont pour but de déterminer :

- **l'intensité du ruissellement** correspondant à un volume d'eau ruisselée pendant un temps déterminé ;
- **la lame totale d'eau ruisselée** pendant la durée de la pluie (L_r en mm), sachant que 1 l prélevé correspond à 1 mm de pluie tombée sur la parcelle ($1 \text{ mm} \times 1 \text{ m}^2 = 10^6 \text{ mm}^3$, soit 1 l) ;
- **la turbidité de l'eau** ruisselée, c'est à dire la concentration (g. l⁻¹) en particules de terre en suspension dans l'eau de ruissellement.

Ces trois principales données permettent de calculer d'autres facteurs détaillés en annexe 9.

=> **La dynamique de l'eau**

Au cours d'une averse d'intensité constante, quatre phases peuvent être observées :

1- Phase d'imbibition

Notée P_i , elle exprime la hauteur de la pluie qui tombe sur la parcelle avant que tout ruissellement ne commence. Au cours de cette phase, la capacité d'infiltration est en tout point supérieure à l'intensité de la pluie qui parvient au sol.

2- Régime transitoire

Durant cette phase, l'humidité du sol augmente, les agrégats de surface sont pulvérisés par l'impact des gouttes de pluie, les pores sont colmatés par les particules fines et l'infiltration diminue ; ainsi il se forme des flaques qui finissent par déborder et donnent naissance au ruissellement en filets ou en nappes.

3- Régime permanent

Durant cette phase, l'intensité du ruissellement se stabilise et atteint un palier de débit relativement constant jusqu'à la fin de l'averse.

Photo n° 3 : Le simulateur de ruissellement



Photo n° 4 : La parcelle testée



4- Phase de vidange

Lorsque la pluie s'arrête, le ruissellement continue, la quantité d'eau qui s'écoule représente la fraction non infiltrée de la détention superficielle mobilisable ou récupérable.

Ces quatre phases se retrouvent sur l'hydrogramme théorique de Lafforgue (Cf. fig 3) qui représente l'intensité du ruissellement, en mm. h^{-1} , en fonction du temps, en mn.

=> Les tests réalisés

Pour tester le comportement du sol à l'impact des gouttes de pluie, on arrache le couvert végétal puis on prépare un micro-relief en travaillant manuellement le sol sur les cinq premiers centimètres. Pour toutes les simulations, la pluie a une intensité de 60 mm. h^{-1} , ce qui correspond, d'après les données météo de la station de Millau-Soulobre, à une pluviométrie de fréquence décennale. L'intensité de 60 mm. h^{-1} est obtenue en réglant l'angle de balancement du gicleur à 98° . Sous cette intensité particulièrement élevée, on cherche à comparer, entre les différents itinéraires techniques, la hauteur de pluie nécessaire pour atteindre un ruissellement maximal (Rx en mm. h^{-1}). Pour cela, on simule la pluie jusqu'à l'obtention d'un régime permanent où le ruissellement est constant. Avant et après chaque simulation, on prélève un échantillon des 5 premiers cm du sol en bordure externe de la parcelle, afin de mesurer son humidité.

I-3-2 Simulation de ruissellement

=> Le principe du test

La simulation de ruissellement consiste à observer et à évaluer le ruissellement qui se forme, en fonction de la pente du versant, sur un sol nu recevant une lame d'eau sans énergie cinétique et de débit constant. De façon complémentaire au simulateur de pluie, ces conditions expérimentales permettent de comparer le comportement hydrodynamique interne des sols. En effet, on teste la capacité du sol à infiltrer une lame d'eau qui s'écoule avec la seule énergie qu'elle gagne en fonction de la pente. Dans ce cas, l'érosion est provoquée par l'énergie du ruissellement qui arrache et transporte les particules de sol.

=> Présentation du simulateur de ruissellement (Cf. photos 3 et 4)

Le simulateur de ruissellement est constitué d'une gouttière de 2 mètres de long à laquelle est fixée une rampe de trois tubes en PVC. Les tubes sont régulièrement perforés du côté de la face convexe de la gouttière. L'ensemble est placé perpendiculairement à une ligne de plus grande pente de façon que l'eau jaillisse verticalement dans la gouttière. Cette dernière amortit la pression

Tableau 9 : Synthèse des mesures de laboratoire

		PARCELLES		
		LCf	LDf	SDf
	FD : Fraction dispersée < 20μm (g.100g-1)	13.19	12.6	9.15
	é. type	1.56	3.55	2.06
	Test t (5%)		LCf/LDf : N#	SDf/LCf : #
				SDf/LDf : N#
TEST DE STABILITE AU TAMISAGE DANS L'EAU	AS : Agrégats stables > 200μm (g.100g-1)	36.44	44.39	43.77
	é. type	4.76	13.05	8.64
	Test t (5%)		LCf/LDf : N#	SDf/(LCf-LDf) : N#
	FD / F Totale < 20μm	0.23	0.24	0.2
	é. type	0.03	0.06	0.04
	Test t (5%)		LCf/LDf : N#	SDf/(LCf-LDf) : N#
# : différent				
N# : non différent				
COMPOSITION GRANULOMETRIQUE couche de sol (0-10) cm (g. kg-1 éch. tamisé à 2 mm)	Refus > 2 mm (g.kg-1 éch. brut)	90	80	148
	Argiles	290	335	242
	Limens fins	282	294	279
	Limens grossiers	133	134	141
	Sables fins	141	139	130
	Sables grossiers	118	81	179
TENEUR EN C (g. kg-1 éch. séché à l'air)	couche de sol :			
	0-10 cm	16.8	17	12.9
	10-20 cm	13.3	15.2	13.4
	20-40 cm	11	10.1	8.9

de sortie du fluide. Une bande de tissus, fixée à la base de la gouttière et reposant sur le sol, déverse une lame d'eau uniforme et sans énergie à l'amont de la parcelle testée. A l'aval, une rigole, perpendiculaire à la pente, permet de collecter les eaux de ruissellement jusqu'à une fosse où sont effectués des prélèvements. Globalement, on peut déterminer les mêmes facteurs qu'avec le test de simulation de pluie (lame totale ruisselée, intensité du ruissellement et turbidité de l'eau). Un compteur d'eau indique le volume d'eau amené sur la parcelle pendant la durée de la simulation.

=> Les tests réalisés

Les tests de ruissellement sont effectués sur deux parcelles pour lesquelles on s'attend à avoir un comportement très différencié et à pouvoir ainsi établir des comparaisons : la parcelle avec du fumier enfoui par le labour conventionnel (LCf) et la parcelle avec du fumier épandu en mulch après le semis direct (SDf). La simulation de ruissellement se fait sur un sol nu retourné superficiellement sur 5 cm pour créer un microrelief (comme pour les simulations de pluie). Elle comprend une première phase de ruissellement (qui dure entre 80 et 90 mn), sans prélèvement, puis un temps de ressuyage avant une seconde phase de ruissellement au cours de laquelle l'intensité de ce dernier est mesurée. Un débit d'environ 30 l. mn⁻¹ est maintenu jusqu'à l'obtention d'une intensité de ruissellement constante (régime permanent).

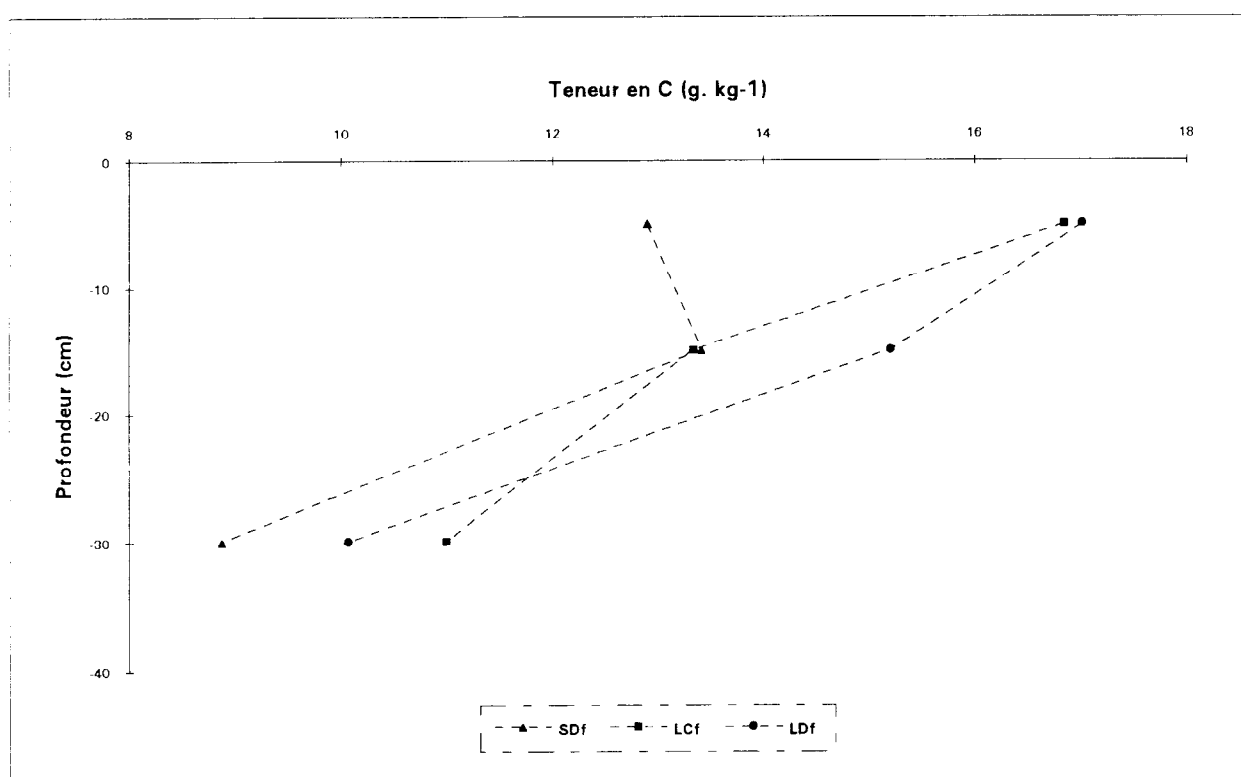
II COMPARAISON DE L'ERODIBILITE DU SOL DES SITUATIONS ETUDIEES

II-1 Les résultats des mesures de laboratoire (Cf. tableau 9)

II-1-1 Stabilité des agrégats

La résistance des agrégats à l'éclatement dans l'eau est évaluée par la fraction d'agrégats stables supérieurs à 200µm, exprimée en g. 100g⁻¹, après tamisage dans l'eau. Le pourcentage de la fraction dispersée inférieure à 20 µm est un indice de la dispersabilité des agrégats en particules élémentaires. Pour comparer, entre les trois parcelles, chaque fraction, on utilise un test statistique d'égalité des moyennes (test de Student) au niveau de signification 5%. Les résultats des moyennes des quatre répétitions par parcelle et du test de Student sont donnés dans le tableau 9. Ils sont repris en annexe 8 avec les résultats des quatre répétitions par parcelles.

Grphe 13 : Profil des teneurs en C organique sur LCf, LDf et SDf



L'hypothèse d'égalité des moyennes est toujours vérifiée pour la fraction d'agrégats stables (AS). Ainsi, la résistance du sol de LCf, LDf et SDf à l'éclatement des agrégats est peu différente.

Une fois éclatés, les agrégats des parcelles ont globalement la même propension à se disperser en particules inférieures à 20 μm , sauf ceux de la parcelle SDf qui génèrent significativement moins de particules élémentaires que ceux de la parcelle LCf.

Si on tient compte de la texture de la couche de sol 0-10 cm en pondérant la fraction dispersée inférieure à 20 μm par la fraction totale inférieure à 20 μm (indice de dispersion), la différenciation des parcelles SDf et LCf n'est plus possible. Cependant, la composition granulométrique n'est pas déterminée sur chaque prise d'essai soumise au test de stabilité mais sur une fraction de l'échantillon total. Il aurait fallu connaître la composition granulométrique de chaque prise d'essai soumise au test de stabilité pour conclure sur un impact de la texture du sol sur le comportement au tamisage dans l'eau. Il n'est cependant pas exclu qu'une texture fine contribue, en partie, à une plus grande dispersabilité des agrégats dans l'eau.

II-1-2 Teneurs en C organique

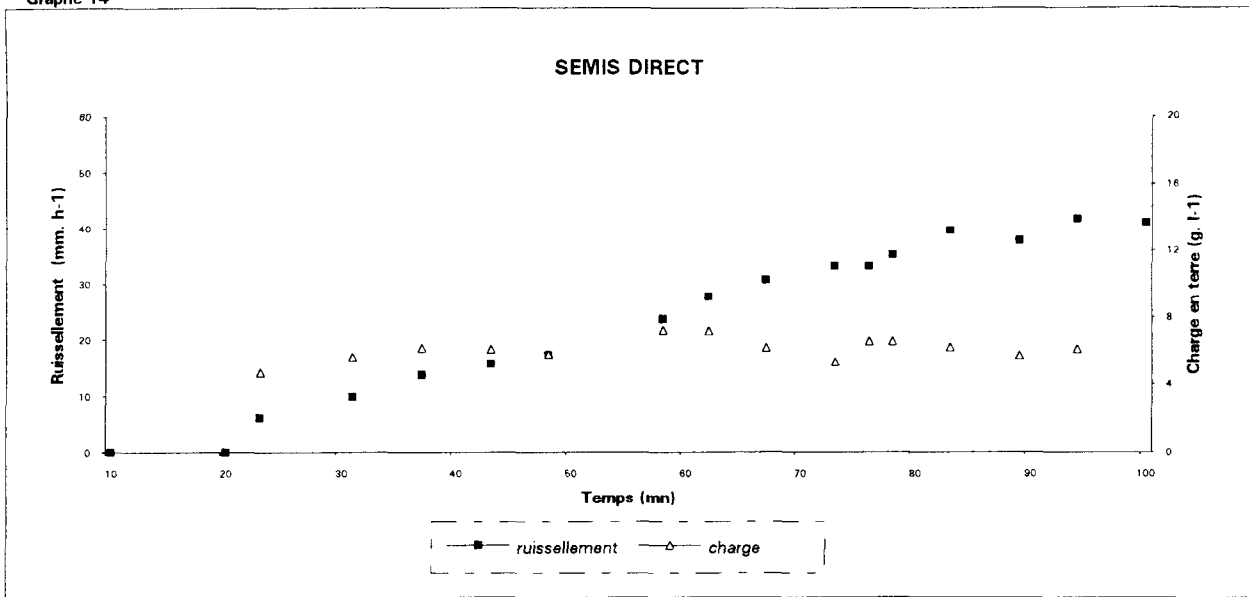
=> **Dans la couche de sol 0-30 cm** (Cf. graphe 13)

Sur la profondeur de sol de 0-30 cm, la teneur en C organique des parcelles labourées décroît fortement et régulièrement. Ce profil ne rappelle en rien celui du sol des parcelles paysannes labourées (Cf. partie 2) qui ont, au contraire, une teneur en matières organiques relativement homogène sur toute la profondeur 0-30 cm. L'enfouissement par le labour de 30 t. ha⁻¹ de fumier, après deux mois et demi, a un impact négligeable sur le statut organique du sol. Il semble, en revanche, que les antécédents culturels de la parcelle aient un fort impact sur le statut organique du sol. Avant l'installation du dispositif, le sol de la parcelle n'a pas été retourné pendant 6 ans. De plus, il est resté sous une prairie de luzerne-dactyle pendant plus de 4 ans, puis sous une prairie naturelle avec quelques pieds de ray-grass (après l'échec de son implantation par griffage superficiel). Or, un sol non travaillé, et d'autant plus s'il est sous prairie, a un profil de décroissance de la teneur en C identique à celui qui est observé sur les parcelles LCf et LDf. On note cependant que, contrairement au labour retourné, le labour dressé a tendance à estomper l'impact des antécédents culturels car la teneur en C organique chute moins entre 0 et 20 cm.

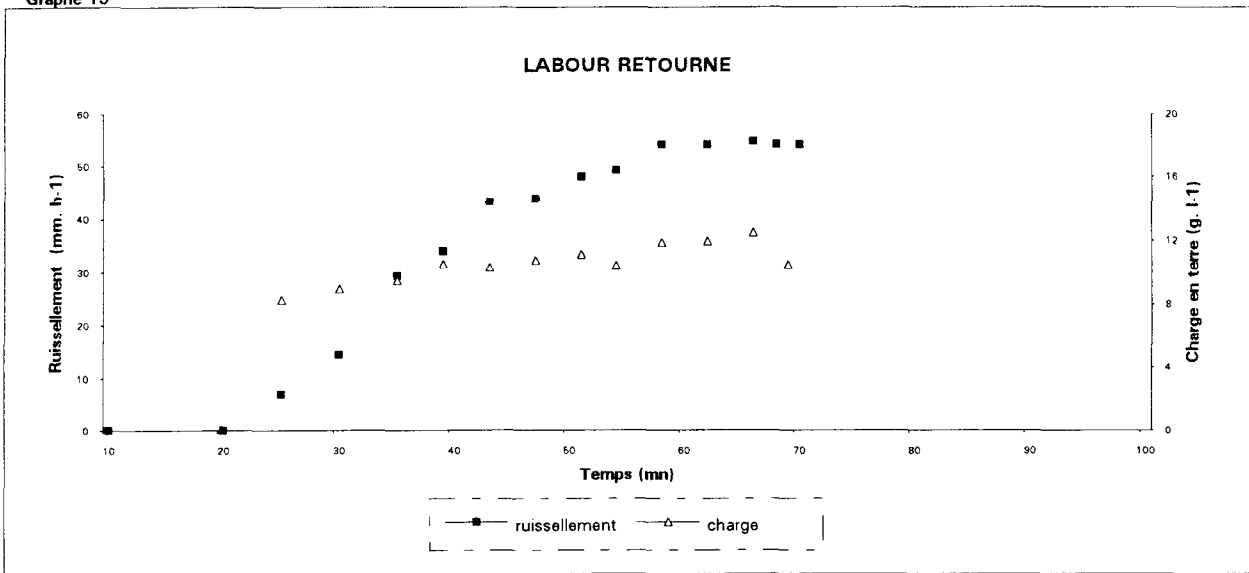
Sur la parcelle SDf, la couche de sol 0-10 cm a une teneur en C inférieure à celle de 10-20 cm. Lors du suivi de la croissance de la culture d'avoine, les parcelles SDf se sont démarquées des autres par le retard de la levée, puis par le faible développement des jeunes plantules. Mais, arrivé à un stade plus avancé, les pieds d'avoine se sont autant développés que sur les autres parcelles.

Simulations de pluie : Intensité 60 mm. h-1

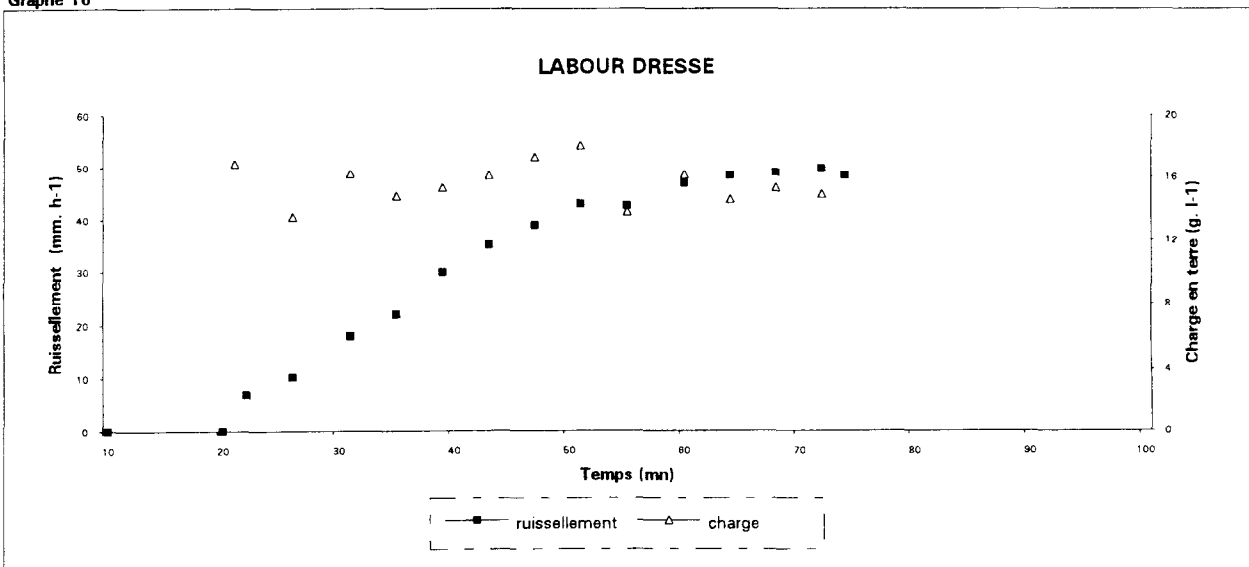
Graphe 14



Graphe 15



Graphe 16



Ces observations permettent de proposer une explication à la faible teneur en C organique dans la couche superficielle du sol. Ajouté au fait que le sol n'ait pas été ameubli en surface, l'épandage de fumier a compacté la couche superficielle du sol. A ce niveau, le système racinaire s'est peu développé car le sol y a opposé une résistance (d'où le retard de la croissance). Ainsi, la vie organique qui se crée autour des radicelles s'est concentrée dans la partie inférieure du sol, laissant la partie supérieure avec une moindre teneur en C, malgré l'épandage du fumier en mulch. La faible teneur en C à 0-10 cm peut aussi être due aux conditions de prélèvements ; le fumier épandu en mulch était sous forme de grosses mottes et les prélèvements de sol ont été faits ailleurs que sur ces mottes.

=> Dans la couche de sol 0-10 cm

La matière organique est très souvent considérée comme un facteur stabilisant de l'agrégation. Le dosage des teneurs en C fournit des résultats contradictoires : par rapport aux autres parcelles, la couche de sol 0-10 cm de la parcelle SDF est la moins riche en C organique total, et tend à être moins dispersable. A l'opposé, c'est sur les parcelles labourées, où la teneur en C est plus élevée d'environ 4 g. kg^{-1} , que les agrégats se dispersent le plus. Ce résultat contradictoire tient, peut-être, à la nature des matières organiques : la couche de sol 0-10 cm de la parcelle SDF est moins riche en C organique total, mais la fraction de C agrégeant peut être plus importante. En effet, le labour s'accompagne d'une minéralisation active des fractions organiques labiles, qui sont fortement agrégeantes (polysaccharides notamment).

II-2 Les résultats des tests réalisés sur la parcelle

II-2-1 Simulation de pluie

Les fiches des données de terrain des simulations sont jointes en annexe 10.

=> Comparaisons des hydrogrammes et des turbidigrammes (Cf. graphes 14, 15 et 16)

Pendant les vingt premières minutes de la simulation de pluie et quel que soit le type d'itinéraire technique, le sol a la même capacité à infiltrer toute la pluie qui tombe sur la parcelle. Le début du ruissellement apparaît après 20 à 25 mn. Lorsque survient le ruissellement, le sol non travaillé de la parcelle SDF a un comportement qui le différencie nettement du sol labouré : pendant la phase de régime transitoire, l'augmentation du ruissellement consécutive au colmatage

Tableau 10 : Résultats des simulations de pluie et de ruissellement

		PARCELLES		
		LCf	LDf	SDf
SIMULATIONS DE PLUIE Intensité : 60 mm. h-1	Pente (%)	5	5.5	5.5
	Teneur en eau (0-5)cm (g. 100 g-1)			
	t 0	4.7	5.9	5.0
	fin pluie	22.3	22.7	15.1
	Pu : Pluie utile (mm)	73.3	74.8	98
	Rx : Ruissellement maximal (mm. h-1)	54.6	48.7	41.4
	Fn (= 60 - Rx) : Capacité d'infiltration (mm. h-1)	8.2	11.1	17.4
	Turbidité max (g. l-1)	12.5	18.1	7.2
	Pertes totales en terre (g. m-2)	332	487	203
		longueur de pente (m)	5.7	
	inclinaison de la pente (%)	5		5.5
SIMULATIONS DE RUISSELLEMENT Débit : 30 l. mn-1	1er lame d'eau (L1)			
	Durée (mn)	80		90
	Surface mouillée en fin d'essai (m2)	11.4		26.1
	2 nd lame d'eau (L2)			
	Durée depuis L1	7 h		16 h 30
	Durée (mn)	55		14
	Rx : Intensité max. du ruis. (l. mn-1)	6.7		24
	Kr : Coef. moy. de ruis. (%)	8.1		54.7

des pores est plus progressive sur la parcelle SDf. La pluie d'intensité 60 mm. h^{-1} doit y être maintenue pendant 100 mn pour atteindre le régime permanent, soit environ 30 mn de plus que sur les parcelles labourées. De plus, les charges en terre de l'eau qui sort de la parcelle SDf restent inférieures à 8 g. l^{-1} , concentration toujours dépassée sur les parcelles labourées, même dans le régime transitoire.

Bien que les hydrogrammes de LCf et LDf aient des formes voisines, la turbidité des eaux de ruissellement est plus forte pour LDf. En effet, elle fluctue entre 14 et 18 g. l^{-1} , alors qu'elle reste toujours inférieure à 14 g. l^{-1} pour LCf. La parcelle LCf a un ruissellement final plus important mais avec une charge en terre moindre.

=> **Comparaison SDf / parcelles labourées** (Cf tableau 10)

Pour la parcelle SDf, la pluie utile (Pu en mm), qui permet d'avoir un ruissellement constant, est supérieure d'environ 25 mm par rapport à celle des parcelles labourées (LCf et LDf). L'humidité des cinq premiers centimètres du sol après la simulation est nettement plus faible sur SDf que sur les parcelles labourées. Bien que plus importante, la lame d'eau totale qui est tombée sur la parcelle SDf s'est d'avantage infiltrée en profondeur. En effet, la capacité d'infiltration finale (Fn en mm. h^{-1}) de la parcelle SDf représente respectivement 57 et 112% de plus que celle des parcelles LCf et LDf. Corrélativement, l'intensité du ruissellement final de la parcelle SDf est inférieure à celle des parcelles LCf et LDf (15 et 24% de moins).

Si le semis direct ruisselle moins que les deux labours (ou infiltre mieux), on peut supposer que c'est en partie dû à une moindre quantité de particules de terre détachées qui colmatent les pores d'infiltration. Un indice de la détachabilité des particules est la turbidité maximale des eaux de ruissellement. Celle de la parcelle SDf est de 60 et 42% inférieure à celle des parcelles LDf et LCf. Au total, les pertes en terre de la parcelle SDf représentent respectivement 42 et 61% de la quantité des pertes sur les parcelles LDf et LCf.

=> **Comparaison LCf / LDf** (Cf tableau 10)

La parcelle LCf a un ruissellement maximal de 12% supérieur à celui de la parcelle LDf et une capacité d'infiltration finale de 26% inférieure à celle de LDf. Cependant, l'intensité supérieure du ruissellement maximal sur la parcelle LCf n'est pas liée à une turbidité plus élevée des eaux. Au contraire, les pertes totales en terre de la parcelle LCf sont de 32% inférieures à celles de la parcelle LDf. On peut émettre deux hypothèses pour expliquer ces différences de comportement entre les deux parcelles labourées. Soit le sol de la parcelle LDf est plus sensible à l'impact des gouttes de pluie qui détachent d'avantage de particules, soit les eaux de ruissellement ont une plus

grande capacité de transport des particules ; cette seconde hypothèse est peu probable, car LDF ruisselle moins que LCf. Le test de stabilité des agrégats à l'immersion dans l'eau montre que les agrégats de LDF et LCf n'ont pas une sensibilité à l'éclatement et à la dispersion significativement différentes. Il se peut que sur LDF, la pluie détache et transporte plus de terre que sur LCf, surtout sous forme de macroagrégats.

=> Synthèse des comparaisons

Le test de la simulation de pluie présente la technique du semis direct comme une pratique conservatoire pour le sol. Il apparaît clairement que le sol non travaillé résiste mieux à l'impact des gouttes de pluie que le sol labouré. En effet, sur la parcelle non travaillée, la création du régime constant du ruissellement est plus tardive (de 30 mn), l'intensité du ruissellement maximal est plus faible (de 15 à 24%) et les pertes en terre moins importantes (de 40 à 58%). Avec des hydrogrammes comparables, les deux techniques de labour semblent avoir un impact peu différent sur l'érodibilité du sol. Cependant, la parcelle LCf génère moins de pertes en terre (de 32%) que la parcelle LDF tout en ayant une intensité finale du ruissellement légèrement plus importante (de 12%). Avec les résultats du test de stabilité à l'immersion dans l'eau, on peut supposer que le labour dressé induit une plus importante détachabilité des macroagrégats qui constituent la différence des pertes en terre entre LDF et LCf.

II-2-2 Simulation de ruissellement (Cf tableau 10)

Les conditions expérimentales ne sont pas complètement homogènes. En effet, le second passage de la lame d'eau se déroule 7 h (parcelle LCf) et 16 h 30 (parcelle SDF) après la première phase de ruissellement. Les stades de ressuyage du sol sont donc différents. En revanche, les essais se font sur des longueurs et des inclinaisons de pente peu différentes. Malgré le biais introduit par les différents stades de ressuyage des parcelles, leur comportement est très différent. Après le passage de la première lame d'eau, la surface mouillée est 2.3 fois plus importante sur la parcelle SDF. Lors du second passage, il suffit de 14 mn pour atteindre un ruissellement constant sur la parcelle SDF, alors qu'il en faut 55 sur la parcelle LCf. De plus, le coefficient moyen de ruissellement est presque 7 fois plus important sur la parcelle SDF que sur la parcelle LCf. Sur toute la durée de la simulation de ruissellement, le pic maximal est seulement de 6.7 l.mn^{-1} sur LCf contre 24 l.mn^{-1} sur SDF, soit, pour LCf, 28% du ruissellement maximal obtenu sur SDF.

Si le non travail confère une meilleure résistance du sol à l'impact des gouttes de pluie (Cf. résultats des simulations de pluie), le long d'une pente, et sans l'énergie de la pluie, il conditionne

Tableau 11 : Synthèse des essais sur LCf, LDf et SDf

		PARCELLES		
		LCf	LDf	SDf
SIMULATIONS DE PLUIE Intensité : 60 mm. h-1	Pu : Pluie utile (mm)	73.3	74.8	98
	Krx : Coefficient de ruissellement max. (%)	91	81.2	69
	Fn (= 60 - Rx) : Capacité d'infiltration (mm. h-1)	8.2	11.1	17.4
	Pertes totales en terre (g. m-2)	332	487	203
TEST DE STABILITE AU TAMISAGE DANS L'EAU	FD : Fraction dispersée < 20µm (%) Test t (5%)	13.19	12.6	9.15
			LCf/LDf : N#	SD/LC : # SD/LD : N#
TEST DE STABILITE AU TAMISAGE DANS L'EAU	AS : Agrégats stables > 200µm (%) Test t (5%)	36.44	44.39	43.77
			LCf/LDf : N#	SDf/(LCf-LDf) : N#
# : différent N# : non différent				
SIMULATIONS DE RUISELLEMENT Débit : 30 l. mn-1	Rx (l. mn-1)	6.7		24
	Durée (mn) pour avoir Rx	55		14
	Kr : coef. moy. de ruiss. (%)	8.1		54.7

en revanche un ruissellement plus important. Dans la simulation de ruissellement, c'est autant la macroporosité du sol superficiel que l'état de surface du sol qui déterminent l'intensité du ruissellement. Si le sol superficiel est compact, l'infiltration est freinée et le ruissellement de surface amplifié ; si le sol superficiel est meuble, l'infiltration de l'eau en profondeur est facilitée et le ruissellement diminué. On peut supposer que la reprise du labour confère une macroporosité des 15 premiers cm du sol assez développée pour favoriser l'infiltration de la lame d'eau en profondeur. En revanche, on a pu observer sur la parcelle SDf une structure de la couche superficielle de sol plutôt fermée, qui a dû freiner l'infiltration de la lame d'eau vers les couches de sol plus profondes.

III SYNTHÈSE ET CONCLUSION

Le tableau 11 résume les principaux résultats concernant l'érodibilité sur les parcelles LCf, LDf et SDf.

Le test de comportement du sol sous pluie simulée et le test de stabilité des agrégats à l'immersion dans l'eau aboutissent à des résultats complémentaires. Comparativement au labour, le semis direct limite deux facteurs déterminants de l'érodibilité du sol : la détachabilité des particules de terre et, par rapport à LDf, l'éclatement des agrégats. Ainsi, la parcelle non travaillée est globalement plus résistante que les parcelles labourées à l'action érosive de la pluie. La quantité de particules transportées et déposées dans les pores est plus faible que si le sol est labouré. Aussi, la capacité finale d'infiltration sous une pluie de forte intensité (60 mm. h^{-1}) est 1.6 à 2 fois plus élevée que pour les parcelles labourées.

Bien que le ruissellement s'installe plus lentement sur le sol non travaillé, les simulations de ruissellement montrent qu'une fois la lame d'eau créée, et en conditions non colmatantes, le ruissellement est plus important que sur un sol labouré. Lors du labour et de sa reprise, la couche superficielle du sol a une forte macroporosité qui constitue un terrain favorable à l'infiltration de l'eau en profondeur. Sur la parcelle SDf, on a pu observer que la couche superficielle du sol a une structure homogène et plutôt fermée. Ce terrain conditionne le ruissellement de la lame d'eau qui gagne de l'énergie en fonction de la pente.

Pour conseiller un itinéraire technique qui réponde à la fois aux deux objectifs de limitation de l'érosion et d'augmentation (ou à défaut de maintien) des rendements, toutes les situations du dispositif doivent être comparées.

Mais d'ores et déjà, le semis direct peut être considéré comme une pratique de travail du sol conservatoire au sens qu'elle limite les pertes en terre et freine l'installation du ruissellement. Cependant, que le sol soit labouré ou non travaillé, et même en apportant du fumier en mulch ou en profondeur, un ruissellement important est inévitable. La gestion des eaux de ruissellement sur toute l'échelle du bassin versant doit donc être organisée conjointement aux pratiques qui limitent l'érosion du sol (infiltration favorisée par des bandes enherbées et collecte des eaux de ruissellement organisée).

Si les agriculteurs distinguent le labour retourné (conventionnel) du labour dressé, l'ensemble des critères d'érodibilité obtenus pour le sol des parcelles LCf et LDf ne permet pas de bien différencier l'effet des deux types de labour. En effet, les comportements du sol sous l'impact des gouttes de pluie et à l'immersion dans l'eau sont peu distincts. Les légères différences de sensibilité à l'impact des gouttes de pluie n'ont pas été retrouvées avec le test de stabilité des agrégats. La seule différence notable vient des pertes totales en terre ; avec le labour dressé, elles sont de 50% supérieures à celles du labour retourné.

CONCLUSION GENERALE

Depuis les années 80, les agriculteurs des Rougiers de Camarès font face à une contrainte économique : la limitation du prix du lait imposée par la saturation du marché du fromage de Roquefort. A cette même époque, les agriculteurs ont aussi pris conscience d'une contrainte environnementale : la dégradation du sol par l'érosion hydrique (accentuée depuis le développement agricole de l'après-guerre). Ces deux contraintes sont à la source des mutations agricoles sur les Rougiers. De nos jours, les exploitations s'orientent vers un système de production plus autonome, pour diminuer leurs charges, et les agriculteurs remettent en cause leurs pratiques de travail du sol et de gestion du milieu.

Le présent travail s'insère dans le cadre d'une étude qui vise à proposer des pratiques culturales moins érosives sur les sols des coteaux profonds. Comme ces derniers sont les plus fertiles de la zone (avec les sols de plaine), ils sont travaillés fréquemment, pour implanter des cultures à cycle court (luzerne, ray-grass, céréales), qui garantissent l'autonomie en aliments du troupeau. Au cours des itinéraires de travail du sol, le fumier ovin, fortement disponible sur la zone, est couramment apporté. Comme la matière organique est connue pour son rôle stabilisant sur l'agrégation des sols, la recherche de pratiques moins érosives se fait en intégrant l'apport de fumier.

L'étude s'organise à deux échelles différentes. Au niveau des Rougiers, l'enquête de 15 agriculteurs permet de répertorier les pratiques agricoles (travail du sol et apport de fumier) et d'évaluer leur influence sur le statut organique et physique du sol. Au niveau d'une parcelle expérimentale, des tests, notamment de simulations de pluie et de ruissellement, visent à comparer l'impact de plusieurs de ces pratiques sur l'érodibilité du sol.

A l'issue de l'enquête, il ressort que les coteaux profonds sont des surfaces traditionnellement fumées, car fournissant de bons rendements, mais que les pratiques d'épandage sont en évolution, du fait d'une volonté d'apporter aussi du fumier sur les parcelles de coteaux maigres. L'épandage du fumier se fait plus fréquemment que par le passé, tous les 4-5 ans voire tous les 2-3 ans, au lieu de 6-7 ans ou plus, et à doses plus faibles, le plus souvent à 30-40 t. ha⁻¹, au lieu de 50-60 t. ha⁻¹. Le fumier est toujours apporté avant les luzernes et quelques fois avant les céréales et les ray-grass. La technique traditionnelle pour l'enfouir est le labour retourné ou bien le labour dressé. Mais l'enfouissement est plus ou moins profond car les agriculteurs adaptent la profondeur de travail du sol en fonction de son épaisseur. En effet, lorsque le sol est moins épais, ils évitent de labourer et enfouissent le fumier plus superficiellement par un pseudo-labour.

L'épandage du fumier en mulch sur une prairie ou après un semis direct est une technique peu employée car peu elle est peu maîtrisée.

En échantillonnant des parcelles paysannes représentatives des pratiques les plus courantes, l'impact du travail du sol et du fumier sur le statut organique est nettement mis en évidence. Si la teneur en C organique dépend, en partie, de la teneur en argile, la profondeur d'enfouissement et les quantités de fumier apportées sur le long terme déterminent également cette teneur. En effet, l'enfouissement superficiel du fumier concentre la matière organique en surface. Avec le labour, surtout s'il est dressé, le fumier est enfoui de façon relativement homogène, sur une plus grande épaisseur de sol (jusqu'à 20-30cm). Ainsi, l'enfouissement profond du fumier profiterait plutôt à la culture (meilleur stockage) alors que l'enfouissement plus superficiel permettrait plutôt de limiter la dégradation du sol.

Au niveau de la parcelle expérimentale, des simulations de pluie de forte intensité (60 mm. h⁻¹) et de ruissellement, complétées par des mesures de laboratoire, permettent de tirer les premières conclusions concernant l'apport de fumier par les deux types de labour et sur le semis direct. Le sol non travaillé (en semis direct) résiste mieux que le sol labouré aux phénomènes initiaux de dégradation par les gouttes de pluie, c'est-à-dire l'éclatement des agrégats et le détachement des particules. De ce fait, la genèse du ruissellement est plus progressive et les pertes en terre moins importantes. Entre les deux types de labour, la principale différence se situe au niveau des pertes en terre, qui sont supérieures de 50% si le labour est dressé. Pour les trois situations, et malgré l'apport de fumier, le ruissellement créé au niveau de la parcelle de 1 m² est très important : en régime permanent (intensité stabilisée), il représente plus de 70% de la pluie. Enfin, les simulations de ruissellement montrent qu'une fois créé, ce dernier est plus important si la surface du sol est non ameublie, car elle freine l'infiltration, comme c'est le cas du semis direct.

A l'avenir, il sera donc nécessaire d'agir conjointement sur plusieurs facteurs de l'érosion hydrique. Au niveau des parcelles travaillées fréquemment, il faudra adopter des pratiques culturales qui limitent à la fois les pertes en terre et la production de ruissellement. L'ensemble des essais réalisés sur la parcelle expérimentale, en cours d'interprétation, devraient fournir des références pour proposer des pratiques culturales moins érosives. Sur les parcelles de coteaux maigres, l'implantation d'un couvert végétal pérenne, qui protège le sol tout en fournissant des pâturages, devra se poursuivre en fonction des résultats obtenus en station fourragère. Mais l'adoption de ces pratiques ne permettra probablement pas d'annuler le ruissellement et l'érosion. Il sera nécessaire d'envisager une gestion simultanée des eaux de ruissellement à l'échelle des bassins versants.

BIBLIOGRAPHIE

- Albrecht A., Rangon L. et Barret P., Effets de la matière organique sur la stabilité structurale et la détachabilité d'un vertisol et d'un ferrisol (Martinique), Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. 27, 121-1333, 1992.
- Asseline J. et Valentin C., Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion, Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. 15, 1978.
- Asseline J., De Noni G., Nouvelot J.F. et Roose E., Caractérisation de l'érodabilité d'une terre de moyenne montagne méditerranéenne (Sud Aveyron - France), Bulletin du réseau érosion, vol. 15, 471-488, 1995.
- Asseline J., De Noni G., Nouvelot J.F. et Roose E., Note sur la conception et l'utilisation d'un simulateur de ruissellement, sous presse.
- Assogba F., Influence de la matière organique sur l'érodabilité des sols du Rougier de Camarès, Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur en agronomie tropicale, 1995.
- Carter M. R., Analysis of soil organic matter storage in agroecosystems, Advances in Soil Science : structure and organic matter storage in agricultural soils, CRC Press, 1996.
- Christensen B. T., Carbon in primary and secondary organomineral complexes, Advances in Soil Science : structure and organic matter storage in agricultural soils, CRC Press, 1996.
- Gèze B., Guides géologiques régionaux, Languedoc méditerranéen - Montagne noire, 2^e éd, Masson, 1995.
- Guillerm C., Diagnostic de l'érosion pluviale dans les Rougiers de Camarès : propositions de pratiques anti-érosives, Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'ITIA, 1994.
- Kagone H., Diagnostic préalable à la mise en place d'expérimentations en ferme dans les Rougiers de Camarès, Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur en agronomie tropicale, 1992.
- Le Bissonnais Y. et Le Souder C., Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion, Etude et gestion des sols, vol. 2, 43-56, 1995.
- Moussa M., Influence des techniques culturales sur le ruissellement et l'érosion dans les Rougiers de Camarès (Aveyron), Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur des techniques agricoles, 1994.
- Mussy A. et Soutter M., Physique du sol, col gérer l'environnement, éd Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1991.
- Roose E., Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES), Bulletin pédologique de la FAO, vol. 70, 1994.

- Soltner D., Les bases de la production végétale, Tome 1: le sol, 17^e éd, col Sciences et Techniques agricoles, 1989.
- Unger P.W., Conservation des sols et des eaux : façons culturales appropriées, Bulletin pédologique de la FAO, vol. 54, 1989.

DOCUMENTS ANNEXES

ANNEXE 1 : Localisation géographique des 15 exploitations enquêtées

ANNEXE 2 : Grille d'enquête

ANNEXE 3 : Questionnaire pour les prélèvements d'échantillons

ANNEXE 4 : Présentation de l'appareil de dosage du C, H, N, S (CARLO ERBA NA-2000)

ANNEXE 5 : Protocole de l'analyse granulométrique

ANNEXE 6 : Composition granulométrique de la couche de sol 0-10 cm des parcelles paysannes

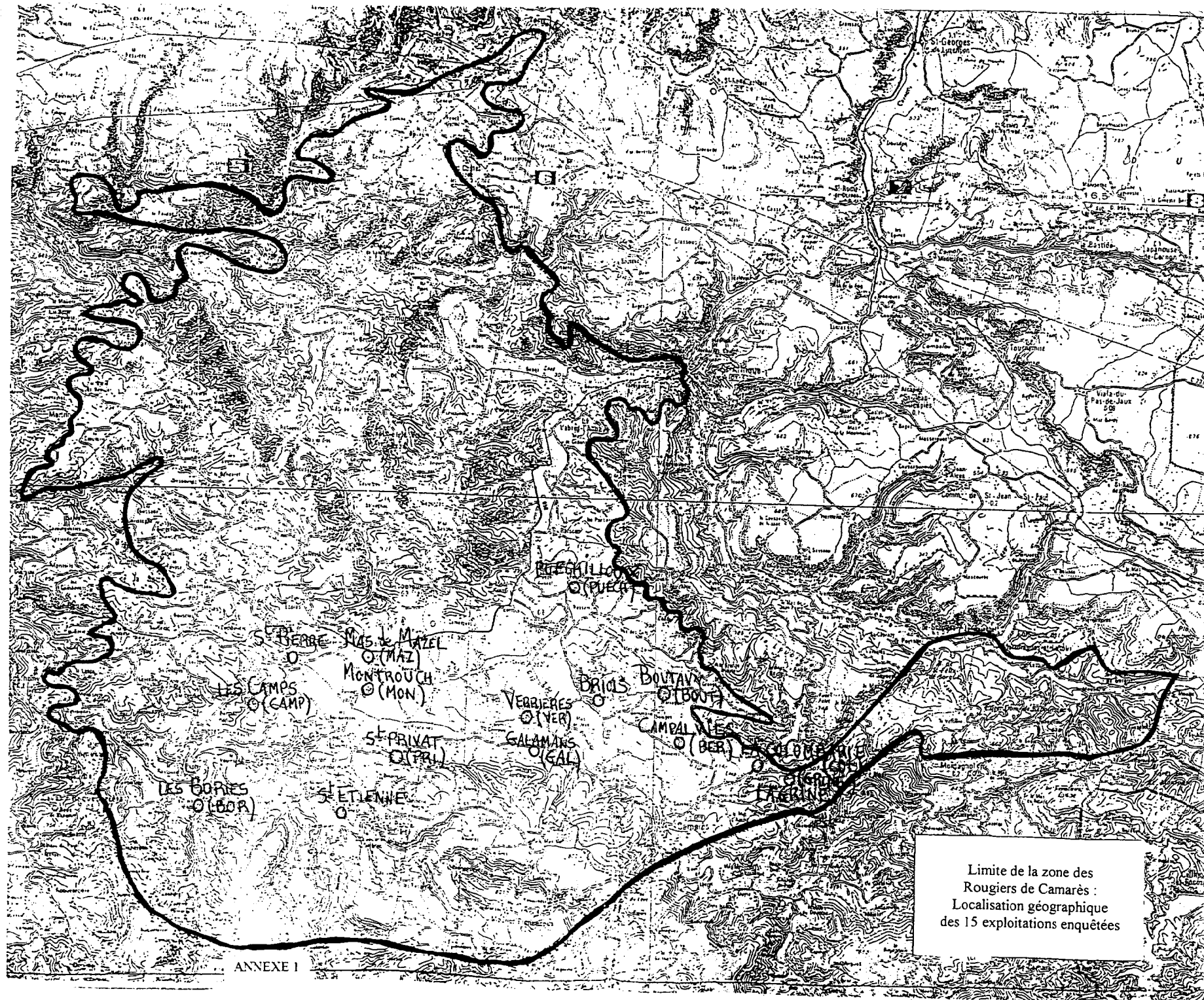
ANNEXE 7 : Protocole du test de stabilité des agrégats à l'immersion dans l'eau

ANNEXE 8 : Résultats du test de stabilité des agrégats sur LCf, LDf et Sdf

ANNEXE 9 : Facteurs déterminés à partir de la simulation de pluie

ANNEXE 10 : Fiches des données de terrain sur la simulation de pluie

(LCf = LEFI 1, LDf = LDFI 1 et Sdf = SDFI 1)



Limite de la zone des
Rougiers de Camarès :
Localisation géographique
des 15 exploitations enquêtées

GRILLE D'ENQUETE

Date :

Nom(s) :

Adresse :

Age(s) :

Depuis quand travaillez vous sur l'exploitation :

I L'EXPLOITATION

- nombre de personnes travaillant sur l'exploitation :

- main d'oeuvre familiale :

I-1 Gestion du troupeau ovin à la dernière campagne :

- effectif présent à la mise bas :

- nombre d'agnelles de renouvellement :

- nombre de brebis de réforme :

- y a t'il d'autres productions animales que l'ovin-lait :

- date de rentrée du troupeau à la bergerie :

- date de sortie au pâturage :

- date de début de traite :

- achetez vous de la paille, quelle quantité en kg :

- vendez vous de la paille, quelle quantité en kg :

- faites vous manger de la paille au troupeau :

I-2 Gestion des cultures

SAT (ha) :

SAU (ha) :

Surface en céréales récoltées en grain (ha) :

SFP (ha) :

STH (ha) :

Type de sol	Superficie ou %	Type de cultures et débouchés	Rendements moyens
PLAINES profondeur du sol > 50 cm pente # 0			
COTEAUX PROFONDS profondeur du sol > 25 cm pente < 15% céréales à récolter			
COTEAUX MAIGRES profondeur du sol < 25 cm pente > 15% céréales à pâturer			

II GESTION DU FUMIER SUR L'EXPLOITATION

II-1 Curage

- **Combien de fois tirez vous le fumier de la bergerie pendant l'année :**
- **Avec quel matériel :**

II-2 Stockage

- **Sur l'exploitation, vous avez :**

- une aire de stockage :
- plusieurs aires de stockage, combien :

- **Comment disposez vous le fumier que vous curez par rapport aux tas précédents :**

- **L'aire de stockage est :**

- bétonnée, avec collecteur de purin
- bétonnée, sans collecteur de purin
- à même le sol
- couverte
- en andain et retournée régulièrement pour faire du compost

- **ses dimensions font :**

- longueur, largeur, hauteur :

- **quelle est sa distance par rapport à la bergerie :**

II-3 Epandage

- Le fumier que vous épandez est préalablement :

- passé par l'épandeur pour le broyer et l'aérer afin de faire du compost
- laissé en tas au bord de la parcelle où vous allez l'épandre, combien de temps :

- Dans quel état est le fumier lorsque vous l'épandez :

- en grosses mottes compactes
- en débris émiettés
- les morceaux de paille sont bien visibles
- les morceaux de paille sont désagrégés

- Quelle est la capacité théorique en tonnes de l'épandeur :

- Quelles sont ses dimensions :

- longueur, largeur, hauteur :

- Quel type d'épandeur utilisez vous :

- à hérissons horizontaux, largeur d'épandage :
 - avec table d'épandage
- à hérissons verticaux, largeur d'épandage :

- l'épandeur est à vous à la cuma autre :

- Avez vous déjà pesé votre épandeur plein de fumier :

si oui, donnez son poids en tonnes :

III EPANDAGE DU FUMIER ET CULTURE DES BONS COTEAUX

- A quelle époque épandez vous le fumier et pour quelles cultures :

- Apportez vous une dose de fumier équivalente quel que soit le type de parcelle (plaine, bons ou mauvais coteaux) :

si oui, donnez le nombre d'épandeurs apportés par ha :

- Apportez vous du fumier sur toutes vos parcelles de bons coteaux :

- Vous épandez du fumier sur les bons coteaux depuis :

plus de 10 ans

moins de 10 ans

- A combien estimez vous le pourcentage (en superficie) de bons coteaux fumés chaque année :

- Qu'est-ce qui détermine le choix de la parcelle où vous épandez le fumier :

la dernière année d'apport de fumier

la culture implantée

l'état du sol

si oui, observez vous une amélioration :

la distance par rapport à l'aire de stockage :

si oui, rayon moyen d'épandage autour de l'aire :

- **Sur l'ensemble de vos parcelles de bons coteaux, apportez vous du fumier avec des intervalles de temps entre deux épandages :**

toujours identiques, combien d'années :

variable et pouvant être de :

1 fois par an

1 fois tous les 2/3 ans

1 fois tous les 4/5 ans

1 fois tous les 6/7 ans

jamais en 10 ans

- **Sur toutes vos parcelles de bons coteaux, travaillez vous le sol par :**

un labour profond

dressé

à plat

- à quelle profondeur :

- pour quelles cultures :

- **Vous reprenez le labour par quels outils et avec quelle profondeur de travail :**

un forescar

une herse animée (rotative)

une herse rigide

un disque

autre

- **Citez la succession des étapes de travail du sol jusqu'au semis :**

un pseudo-labour, avec un travail simplifié :

- pour quelles cultures :

- Vous utilisez quels outils avec quelle profondeur de travail :

- chisel
- disque
- forescar
- autre :

- Citez la succession des étapes de travail du sol jusqu'au semis :

la technique du semis direct

- pour quelles cultures :

- Passez vous le cultipaker :

avant de semer

si oui, pour quelles cultures :

après le semis

si oui, pour quelles cultures :

- Vous apportez le fumier:

en l'enfouissant dans le sol :

par un labour profond

par un enfouissement superficiel lors d'un travail simplifié avec quel type d'outil :

sans l'enfourir :

lors d'un semis direct : avant après

sur une prairie, avec quelle fréquence :

QUESTIONS POUR LES PRELEVEMENTS D'ECHANTILLONS

Nom :

Date :

Adresse :

Nom de la parcelle et superficie :

Situation sur le versant :

Homogénéité de la profondeur du sol: bonne moyenne mauvaise

Profondeur du sol :

Type de sol : asphyxiant léger

Depuis combien d'années est-elle fumée :

Les pratiques de fumure ont-elles changé (en dose, en fréquence d'apport) :

Si elles ont changé, pourquoi :

Précédents culturaux (rotation des cultures, mode de travail, apport de fumier) :

Culture en place depuis le printemps et/ou l'automne 1994 et débouchés :

Itinéraire technique employé (avec profondeur du travail) :

Mode d'apport du fumier, dose et profondeur d'enfouissement :

La parcelle a t'elle déjà été pâturée ou fauchée ce printemps :

Au cours de cette année, quelle fertilisation chimique (dates, type d'engrais, doses) :

Avez vous tenu compte de la valeur fertilisante du fumier dans votre plan de fertilisation chimique

DESCRIPTION DES PARCELLES / ETATS DE SURFACE

1. La pente

Position : sommet, 1/3 haut, mi-pente, 1/3 bas, bas-fond.

Forme générale de la pente : pente droite, convexe, concave, multiple (complexe), avec talus.

Forme sur la parcelle : pente droite, convexe, concave, multiple (complexe), avec talus.

Inclinaison : en degrés (mesure au clinomètre).

2. Etats de surface

Evaluer le pourcentage de chaque type de surface :

- **surface fermée** : croûte, cailloux ;
- **surface ouverte** : mottes petites, moyennes, grosses (préciser diamètre, en cm) ;
- **surface couverte** : végétation, résidus de culture, fumier, compost...

3. Témoignages d'érosion

Erosion linéaire : présence des figures suivantes (non creusées par l'agriculteur) : griffes (1 à 5 cm de profondeur), rigoles (5 à 25 cm), ravineaux (> 25 cm).

Erosion en nappe : présence des figures suivantes : demoiselles coiffées, coulées de sable, cailloux concentrés en surface, horizon décapé plus clair, touffes surélevées.

Erosion en masse : présence des figures suivantes : décrochements (micro falaises), bourrelets.

4. Végétation

Prairie : tapis continu, 25% plages nues, 50% plages nues.

Culture : résidus en surface, % de sol couvert par la canopée (végétation), hauteur.

Rotation : à préciser.

APPAREIL DE DOSAGE DE C, H, N, S (CARLO ERBA NA-2000)

Principes

1) Détermination du Carbone, de l'Hydrogène, de l'Azote et du Soufre

Cette technique est basée sur les méthodes classiques de DUMAS et de PREGL :

L'échantillon, contenu dans une petite capsule d'étain, est introduit automatiquement dans un réacteur constitué par un tube vertical en quartz maintenu à 1020°C et dans lequel passe un courant constant d'Hélium.

A l'introduction de l'échantillon, le courant d'Hélium est automatiquement enrichi par une quantité déterminée d'Oxygène pur, provoquant ainsi la combustion éclair de la capsule et de l'échantillon.

Les gaz de combustion, entraînés par le courant d'Hélium passent sur un catalyseur d'oxydation qui les transforment en CO₂, H₂ O, SO₂, SO₃, N_xO_y....

Ces gaz passent alors sur un deuxième catalyseur (Cuivre réduit) qui va réduire les oxydes d'Azote en Azote élémentaire, le SO₃ en SO₂ et piéger l'excès d'Oxygène. A la sortie du tube, on trouve en plus du gaz vecteur (Hélium) les gaz N₂, CO₂, H₂ O, SO₂.

Les produits non dosés sont piégés.

Les gaz ainsi obtenus sont alors séparés par une colonne de chromatographie et quantifiés par un détecteur à conductibilité thermique. Le signal obtenu est amplifié, puis envoyé à un enregistreur-intégrateur.

L'utilisation de la technique de l'étalon externe permet de calculer la teneur des éléments dosés.

2) Détermination de l'Oxygène

La méthode d'UNTERZAUCHER est à la base de cette technique :

La prise d'essai, contenue dans une capsule d'Argent, est introduite dans un tube réacteur en quartz pour y être pyrolysée à 1070°C. Les gaz de pyrolyse passent sur du Carbone activé recouvert de Nickel qui convertit l'Oxygène en oxyde de Carbone, celui-ci est séparé des autres gaz sur une colonne de chromatographie (Tamis Moléculaire 5A).

Les mêmes procédés de calculs que pour CHNS permettent d'obtenir le pourcentage d'Oxygène dans l'échantillon.

On a trouvé que l'addition de vapeurs d'Hydrocarbures chlorés au gaz vecteur favorise la décomposition des substances comportant de l'Oxygène. On utilise un mélange Heptane-Tétrachlorure de Carbone dans le rapport 95/5.

1.2 Spécifications techniques

L'analyseur Élémentaire EA 1108 est disponible en 3 configurations différentes :

- **CHN** : Détermination des concentrations en Carbone, Hydrogène et Azote en une seule analyse.

- **CHN-O** : Détermination des teneurs en Carbone, Hydrogène, et Azote en une seule analyse, et/ou, après une modification mineure, détermination de l'Oxygène avec une deuxième analyse de l'échantillon.

- **CHNS-O** : Détermination des teneurs de quatre éléments (C, H, N et S) en une seule analyse, et/ou, après une modification mineure, détermination de l'Oxygène avec une deuxième analyse de l'échantillon.

Spécifications techniques :

Les spécification techniques de l'Analyseur Élémentaire EA 1108 sont les suivantes :

- Eléments	:	C, H, N, S, et/ou O
- Gamme de mesure	:	100ppm à 100%
- Précision	:	< 0,3% absolu
- Répétabilité	:	< 0,2% absolu
Taille des échantillons capsules.	:	0,1 à 100mg, liquide ou solides en capsules.
Taille des échantillons liquides	:	0,1 à 25microlitres(Injection directe)
Durée d'analyse	:	CHNS < 12 Minutes CHN < 7 Minutes O < 5 Minutes

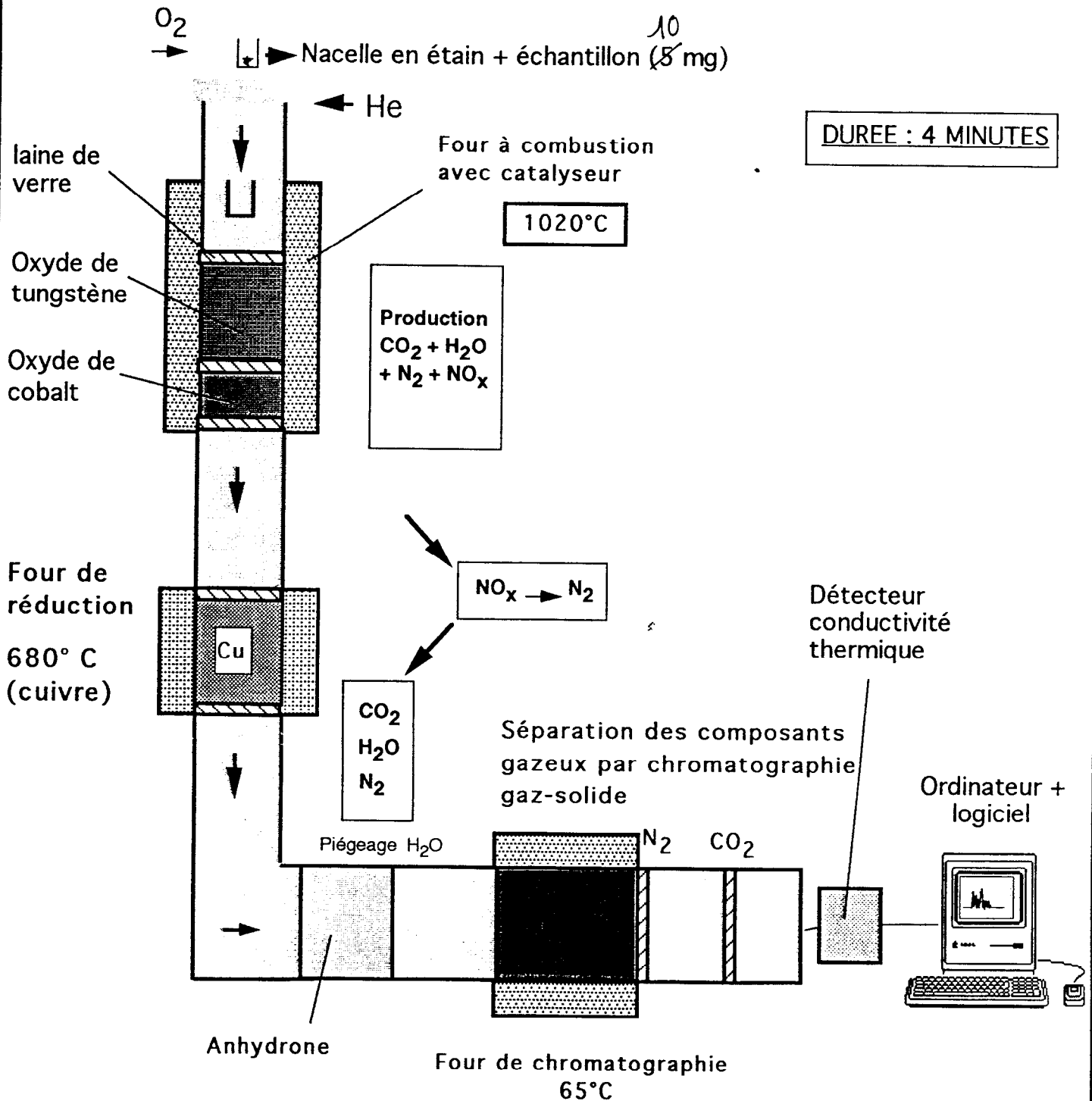
Détecteurs :

- Standard (CHNS-O) : Conductivité thermique
- Optionnel (traces de soufre): Détecteur à Capture d'Electrons
(ECD 40)
- Enregistreur : Enregistreur graphique
- Sortie pour enregistreur : 0-10mV/O-1V
- Sortie pour intégrateur : 0-1/0-10V
- Contrôles par télécommande: Marche/Arrêt

Gaz :

- He Débit en fonctionnement: 100ml/min
- He Débit en standby : 5-10ml/min
- O₂ : Boucle d'injection de 10 ou 25 ml
- Débit O₂ : 10-15ml/min
- Air comprimé : 350 kPa
- Alimentation électrique : 220 ± 10% V, 50/60Hz, 1350 VA
- Dimensions : 765 x 480 x 530mm
- Poids : 70Kg

ANALYSEUR ELEMENTAIRE C N



ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS **(Calcaires ou non)**

A - DISPERSION DE LA TERRE

1 - Destruction de la matière organique

- Peser 10 g de terre fine séchée à l'air (20 g pour les sols très sableux) dans un bécher de 600 ml.
- Ajouter 50 ml d'eau oxygénée (20 à 50 volumes).
- Laisser au repos une nuit.
- Porter sur plaque chauffante (éviter une ébullition trop forte, car l'eau oxygénée serait décomposée trop rapidement).
- Renouveler les additions d'eau oxygénée jusqu'à destruction complète de la matière organique.
- Éliminer entièrement l'excès d'eau oxygénée en faisant bouillir et, au besoin, en ajoutant quelques gouttes d'ammoniaque.

2 - Dispersion proprement dite

- Transvaser en allonge.
- Ajouter de l'eau distillée jusqu'à 300 à 400 ml.
- Ajouter 25 ml d'une solution de pyrophosphate ou d'hexamétaphosphate de sodium à 40 g/l.
- Agiter deux heures à l'agitateur mécanique.

B - ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE PROPREMENT DITE

- Amener la suspension à 1 litre avec de l'eau distillée.
- Agiter énergiquement par retournements en s'assurant que tout le dépôt qui a pu se faire au fond de l'allonge est entièrement remis en suspension.
- Abandonner l'allonge débouchée sur une paillasse loin de toute source de chaleur pendant le temps correspondant aux particules à prélever.

1 - Argile + Limon

- Au bout de 4 minutes 48 secondes à 20°, on prélève à 10 cm de profondeur une partie aliquote (20 ml, soit 1/50) de la fraction argile + limon (il est nécessaire de toujours commencer par le prélèvement de cette fraction pour que le deuxième prélèvement, celui de l'argile, corresponde à 1/50 de l'argile totale. En opérant en sens inverse on obtiendrait 1/50 de l'argile et 1/49 de la fraction argile + limon).

- Fermer le robinet à trois voies.
- Descendre la pipette jusqu'à ce que la pointe touche le niveau supérieur de la suspension et noter la position de l'index sur la règle graduée ; 20 à 30 secondes avant la fin du délai de sédimentation déterminé par le tableau 1 de la température de la suspension, descendre la pipette de 10 cm.
- Ouvrir lentement le robinet et, au temps voulu, aspirer pour remplir doucement la pipette en 10 secondes réparties également de part et d'autre du temps de chute pour 10 cm.
- Lorsque le liquide arrive au-dessus du robinet, fermer celui-ci.
- Vider le trop-plein par l'ajutage latéral.
- Remonter la pipette et vider son contenu dans une boîte à tare de 50 ml environ.
- Evaporer à sec, sécher à l'étuve à 105° et peser le résidu sec.
- Calculer la correction à apporter aux résultats en prélevant une fraction aliquote d'une solution contenant pour 1 000 ml, 25 ml de la solution de pyrophosphate de sodium utilisée comme dispersant.

2 - Argile

- Opérer exactement de la même façon après repos de huit heures à 20°. Suivant la température moyenne de la suspension, modifier à l'aide du tableau le temps de sédimentation, ou, si celui-ci ne convient pas, adopter la profondeur correspondant au temps choisi.

3 - Sables

- Eliminer ensemble l'argile et le limon par décantations successives, en adoptant le temps de sédimentation du limon comme dans la méthode précédente, mais en ajoutant à chaque fois, sauf au dernier lavage, un peu d'agent dispersant (3 ml de pyrophosphate de sodium). Opérer de préférence sur une hauteur de sédimentation de 20 cm.
- Fractionner ensuite les sables par tamisage (tamis à maille de 50 et 200 μ).

EXPRESSION DES RÉSULTATS

Soit, en grammes :

- a - le poids d'argile prélevé dans 20 ml
 - b - le poids d'argile et de limon prélevé dans 20 ml
 - c - le poids de limon grossier
 - d - le poids des sables fins
 - e - le poids des sables grossiers.
- } après avoir effectué la correction
} due au poids de pyrophosphate

La prise d'essai étant de 10 g, on a, en % de la terre séchée à l'air :

$$\text{argile \%} \dots\dots\dots a \times \frac{1\,000 \times 100}{20 \times 10} = a \times 500$$

$$\boxed{A \% = \frac{a}{2} \text{ mg}}$$

$$\text{limon \%} \dots\dots\dots \frac{(b - a) \times 1\,000 \times 100}{20 \times 10} = 500 (b - a)$$

$$\boxed{L \% = \frac{b}{2} \text{ mg} - \frac{a}{2} \text{ mg}}$$

limon grossier % $\boxed{10 c} < 50$

sables fins % $\boxed{10 d} > 50$

sables grossiers % $\boxed{10 e} > 200$

**COMPOSITION GRANULOMETRIQUE (résultats bruts)
DE LA COUCHE DE SOL 0 - 10 cm DES PARCELLES PAYSANNES
(Echantillons tamisés à 2 mm)**

PARCELLES	Argiles (0-2 μm) (g. kg-1)	Limons F (2-20 μm) (g. kg-1)	Limons G (20-50 μm) (g. kg-1)	Sables F (50 -200 μm) (g. kg-1)	Sables G (200 -2 mm) (g. kg-1)	Refus (> 2 mm) (g. kg-1) éch. total
LBC (Doses < 35 t.ha-1)						
BOUT	317	264	111	131	183	253
COL	329	135	87	145	295	266
LBC (Doses > 40 t.ha-1)						
CAMP	230	177	176	269	140	417
MON	227	279	148	156	206	205
VER	251	270	94	147	237	284
LBD (Doses > 40 t.ha-1)						
BOR	293	228	104	128	227	370
GAL	227	178	133	221	233	48
MAZ	350	348	118	98	99.0	320
PUECH	227	282	147	140	186.9	401
CHI (Doses < 35 t.ha-1)						
BER	239	198	72	143	311	324
BOR	152	198	160	298	182	240
GRINE	224	276	126	211	146	300
MULCH						
EST (Dose > 40 t. ha-1)	209	177	127	279	199	353
PRI (Dose < 35 t. ha-1)	272	195	84	265	177	266
T (Dose nulle)						
MON	209	195	80	154	335	146
PRI	254	216	82	138	280	320

Stabilité des agrégats : méthode Kouakoua & Sala (LCSC 1)

Kouakoua, E., Sala, G.H., Barthès, B., Larré-Larrouy, Albrecht, A. & Feller, C., 1996. La matière organique soluble à l'eau chaude et la stabilité de l'agrégation. Aspects méthodologiques et application à des sols ferrallitiques du Congo. Soumis à European Journal of Soil Science.

1. Prélèvement et préparation des échantillons

. Echantillons séchés à l'air, tamisés à 2 mm.

2. Prétraitement

. 4 g de sol pesés directement dans tamis cylindrique.

2.1 Immersion dans l'eau permutée froide

Tamis avec éch. plongé pendant 30' dans becher contenant 100 ml eau permutée froide.

2.2 Immersion dans eau permutée froide, portée à l'autoclave

. Tamis avec éch. plongé dans becher contenant 100 ml eau permutée froide. Le tout est recouvert d'un papier alu, aussi étanche que possible, pour éviter pertes par évaporation.

. L'ensemble est porté à l'autoclave, et y reste 1 h à partir du moment où l'autoclave est en "régime stationnaire". L'autoclave reste *soit sous pression atmosphérique* à 90-95°C, *soit sous 100 kPa* à 120°C.

2.3 Immersion dans l'eau permutée froide, portée à l'étuve

Comme précédemment, mais l'ensemble becher+tamis+éch. (sous alu) est mis pendant 1 h à l'étuve à 90°C sous pression atmosphérique.

2.4 Brumisation

. Ech. est humecté par un brouillard fin d'eau permutée, avec appareil de type Kemper et al. (1985).

. Temps d'humectation long (contrôler humectation visuellement).

3. Tamisage

. Même appareil que Kemper & Rosenau (course : 1.3 cm ; fréquence : 35/mn), mais tamis de 200 µm.

. Tamisage dans l'eau permutée du becher pendant 6'.

. La fraction restant sur le tamis est séchée 16 à 24 h à l'étuve à 105°C puis pesée.

. Puis tamisage dans becher contenant 100 ml solution dispersante (2 g/l de NaOH, soit 0.05M) pendant 6', suivi d'un "forçage doux" avec une tige de verre ; l'opération est répétée pour que ne restent sur le tamis que les sables grossiers (et des débris végétaux, dont le poids est négligé), qui sont séchés à l'étuve à 105°C puis pesés.

. La teneur en A+LF dispersés dans les bechers contenant l'eau permutée est mesurée par la méthode de la pipette Robinson (= le contenu des bechers est transféré dans une allonge de 100 ml, en s'aidant d'une pissette d'eau permutée ; le volume contenu dans l'allonge est noté, puis l'allonge subit 30 retournements manuels et est posée sous la pipette ; un prélèvement de 20 ml est effectué en enfonçant doucement la pipette de 10 cm dans l'allonge, après un temps de sédimentation dépendant de la température ; le contenu de la pipette est versé dans une boîte tarée, qui est placée à l'étuve à 105°C pendant 16 à 24 h puis pesée).

4. Résultats

Agrégats stables > 200 µm = fraction > 200 µm - SG
(en % sol < 2 mm séché à l'étuve)

TEST DE STABILITE DES AGREGATS A L'IMMERSION DANS L'EAU
COUCHE DE SOL 0-10 cm - (Echantillons tamisés à 2 mm)

	FD1 (g. 100g-1)	FD1/FTot	FD2 (g. 100g-1)	AS (g. 100g-1)	SG (g. 100g-1)
SDf 1	10.15	0.20	35.56	38.56	15.73
SDf 2	10.43	0.20	35.65	39.68	14.24
SDf 3	6.07	0.12	23.06	56.69	14.17
SDf 4	9.94	0.19	35.02	40.14	14.89
Moyenne	9.15	0.18	32.32	43.77	14.76
é. type	2.06	0.04	6.18	8.64	0.72
SCE	12.75	0.00	114.62	223.98	1.58
LDf 1	14.96	0.24	40.47	33.88	10.7
LDf 2	15.75	0.25	40.29	34.81	9.15
LDf 3	7.96	0.13	20.9	61.75	9.4
LDf 4	11.72	0.19	30.2	47.13	10.95
Moyenne	12.60	0.20	32.97	44.39	10.05
é. type	3.55	0.06	9.37	13.05	0.91
SCE	37.80	0.01	263.19	511.11	2.46
LCf 1	13.41	0.23	40.29	34.92	11.39
LCf 2	11.97	0.21	36.28	40.28	11.47
LCf 3	12.08	0.21	36.56	40.18	11.19
LCf 4	15.31	0.27	44.46	30.36	9.87
Moyenne	13.19	0.23	39.40	36.44	10.98
é. type	1.56	0.03	3.84	4.76	0.75
SCE	7.26	0.00	44.20	68.01	1.68
t LCf/LDf	0.307	0.970	1.271	-1.145	1.582
	N#	N#	N#	N#	N#
t SDf/					
LDf	-1.681	-0.716	-0.115	-0.080	8.112
	N#	N#	N#	N#	#
LCf	-3.132	-2.293	-1.945	1.486	7.247
	#	N#	N#	N#	#

FD1 : Fraction dispersée < 20 µm
 FD2 : Fraction dispersée [20-200] µm
 FTot : Fraction < 20 µm
 AS : Agrégats Stables > 200 µm
 SG : Sables Grossiers > 200 µm

t : test de Student d'égalité des moyennes (au niveau de confiance 5%, t = 2.447)

moyennes différentes

N# moyennes non différentes

FACTEURS DETERMINES A PARTIR DE LA SIMULATION DE PLUIE

Pu = Pluie utile (mm) : Intensité (mm. h⁻¹) x Durée de la pluie (h)

Pu = Pi + Pe

Pi = Pluie d'imbibition (mm) : Intensité (mm. h⁻¹) x Durée de la pluie jusqu'à l'apparition du filet à la sortie de la gouttière

Pe = Pluie efficace (mm) : Pu - Pi

Lr = Lame d'eau ruisselée (mm)

W = Lame d'eau infiltrée (mm) : Pu - Lr

Kru = Coefficient de Ruissellement Utile (%) : Lr / Pu

Kre = Coefficient de Ruissellement Efficace (%) : Lr / Pe

Rx = Intensité maximale du ruissellement (mm. h⁻¹) : moyenne des 4 derniers prélèvements

Fn = Capacité d'infiltration finale (mm. h⁻¹) : Intensité de la pluie - Rx

Krx = Coefficient de ruissellement maximum (%) : Rx / Intensité de la pluie

Pertes en terre totales (g.m⁻²)

Charges en terre (g. l⁻¹)

Temps minutes	Volume ml	Durée secondes	Num. éch.. charges	Volume de l'échant. ml	charge par échantillon grammes	charge g / L	intensité corrigée mm/h	charge sur une minute g
25	58	30	102	216	1.79	8.29	6.96	0.96
26	74	30				8.29	8.88	1.23
27	84	30				8.29	10.08	1.39
28	56	20				8.29	10.08	1.39
29	73	20				8.29	13.14	1.81
30	80	20	103	300	2.69	8.97	14.40	2.15
31	100	20				8.97	18.00	2.69
32	120	20				8.97	21.60	3.23
33	144	22				8.97	23.56	3.52
34	157	20				8.97	28.26	4.22
35	163	20	104	331	3.14	9.49	29.34	4.64
36	168	20				9.49	30.24	4.78
37	138	15				9.49	33.12	5.24
38	146	15				9.49	35.04	5.54
39	142	15	105	294	3.1	10.54	34.08	5.99
40	152	15				10.54	36.48	6.41
41	104	10				10.54	37.44	6.58
42	114	10				10.54	41.04	7.21
43	120	10	106	237	2.45	10.34	43.20	7.44
44	117	10				10.34	42.12	7.26
45	115	10				10.34	41.40	7.13
46	123	10				10.34	44.28	7.63
47	122	10	107	244	2.63	10.78	43.92	7.89
48	122	10				10.78	43.92	7.89
49	128	10				10.78	46.08	8.28
50	128	10				10.78	46.08	8.28
51	200	15	108	200	2.23	11.15	48.00	8.92
52	204	15				11.15	48.96	9.10
53	200	15				11.15	48.00	8.92
54	137	10	109	272	2.84	10.44	49.32	8.58
55	135	10				10.44	48.60	8.46
56	143	10				10.44	51.48	8.96
57	146	10				10.44	52.56	9.15
58	150	10	110	295	3.5	11.86	54.00	10.68
59	145	10				11.86	52.20	10.32
60	150	10				11.86	54.00	10.68
61	147	10				11.86	52.92	10.46
62	150	10	111	304	3.63	11.94	54.00	10.75
63	154	10				11.94	55.44	11.03
64	150	10				11.94	54.00	10.75
65	156	10				11.94	56.16	11.18
66	152	10	112	304	3.79	12.47	54.72	11.37
67	152	10				12.47	54.72	11.37
68	150	10				12.47	54.00	11.22
69	234	15	113	234	2.45	10.47	56.16	9.80
70	150	10				10.47	54.00	9.42
								331.89
								331.89

SIMULATION DE PLUIE

LOCALISATION: Verrière Num. feuille terrain: 20 Références de la pluie: LDFI 1
 Parcelle et répét.: Labour Dressé Couverture: nu motteux fin Pente %: 5.5

DATE: 28/06/1996
 Date dernière pluie: 23/06/1996 ? heure fin pluie(h-mn)
 Temps depuis dernière pluie (h-mn): 5 jours

CONTRÔLE INTENSITES :		Après		59.80		Retenue		59.80 (mm/h)	
Avant	volum. ml :	980	510	495					
	Temps, " :	60	30	30	10	10	10	10	10
	int. mm/h	58.88	61.20	59.40					
Après	volum. ml								
	tiempo s	10	10	10	10	10	10	10	10
	int. mm/h								

HEURE DEBUT pluie (h,mn):	13.30	Heure FIN pluie (h-mn):	14.45	Durée	75.00 (mn)
TEMPS début de : (mn,s):	Flaques : 8.00	Goute à G. : 9.00	Filet : 20.34		
TEMPS fin de : (mn, s)	Filet : 75.00	Chorro : 76.00	Goute à G. : 77.15	Flaques : 76.45	
LAMES (mm) : : mm	Pluie utile (Pu): 74.75	Pluie d'imbibition (Pi): 20.27	Pluie efficace (Pe) :	54.48	
	Total lame ruisselée (Lr) mm: 30.20	Kru %: 40.41	Kre %:	55.44	
(Rx) Int. MAXI etablie(mm/h):	48.67	(Fn) Int. infiltr.Minimale : (mm/h)	11.13	(W) Lame infiltrée:	44.55
(Dm) Detention sup. mobili. (ml):	370.00	en mm :	0.37		

HUMIDITE DU SOL AVANT LA PLUIE

Profond.	N° échant.	Humidité %	N° échant.	Humidité %	N° échant.	Humidité %	N° échant.	Humidité %	Moyenne
0 - 5 cm		avant	h 21-5						
5 - 10 cm									
		après	h 22-5						

MESURES DE L'ECOULEMENT ET DES SEDIMENTS

Superficie parcelle (m2):	1	Volume échant. eau de pluie:	250					
Coefficient de corection:	1.00	Charge échant. pluie, (g):	0.001					
		Charge échant. pluie (g/l) :	0.00					
VOLUME (cuve en ml):	1890	1640	2000	1640	1720	1400	1920	1700
	1740	1560	1680	1600	1350	1640		
							Total: (ml)	23480
VOLUME (éprouvettes en ml):	6723						TOTAL écoulé (ml):	30573

Rugosité, chainette : 116, 122, 132, 131, 128.

Temps minutes	Volume ml	Durée secondes	Num. éch.. charges	Volume de l'échant. ml	charge par échantillon grammes	charge g / L	intensité corrigée mm/h	charge sur une minute g
20								
21	46	30		126	2.13	16.90	5.52	1.55
22	57	30	114			16.90	6.84	1.93
23	69	30				16.90	8.28	2.33
24	82	30				16.90	9.84	2.77
25	86	30				16.90	10.32	2.91
26	57	20	115	176	2.38	13.52	10.26	2.31
27	55	20				13.52	9.90	2.23
28	64	20				13.52	11.52	2.60
29	80	20				13.52	14.40	3.24
30	88	20				13.52	15.84	3.57
31	100	20	116	212	3.45	16.27	18.00	4.88
32	112	20				16.27	20.16	5.47
33	140	25				16.27	20.16	5.47
34	106	20				16.27	19.08	5.17
35	122	20	117	256	3.8	14.84	21.96	5.43
36	134	20				14.84	24.12	5.97
37	138	20				14.84	24.84	6.14
38	154	20				14.84	27.72	6.86
39	166	20	118	336	5.17	15.38	29.88	7.66
40	169	20				15.38	30.42	7.80
41	172	20				15.38	30.96	7.94
42	132	15				15.38	31.68	8.12
43	146	15	119	294	4.75	16.15	35.04	9.43
44	148	15				16.15	35.52	9.56
45	102	10				16.15	36.72	9.89
46	107	10				16.15	38.52	10.37
47	108	10	120	216	3.74	17.31	38.88	11.22
48	108	10				17.31	38.88	11.22
49	114	10				17.31	41.04	11.84
50	110	10				17.31	39.60	11.43
51	119	10	121	267	4.82	18.05	42.84	12.89
52	148	12				18.05	44.40	13.36
53	120	10				18.05	43.20	12.99
54	128	10				18.05	46.08	13.86
55	118	10	122	248	3.42	13.79	42.48	9.76
56	242	20				13.79	43.56	10.01
57	130	10				13.79	46.80	10.75
58	182	15				13.79	43.68	10.04
59	132	10				13.79	47.52	10.92
60	130	10	123	246	3.98	16.17	46.80	12.62
61	128	10				16.17	46.08	12.42
62	116	10				16.17	41.76	11.26
63	130	10				16.17	46.80	12.62
64	134	10	124	272	3.97	14.59	48.24	11.73
65	138	10				14.59	49.68	12.08
66	134	10				14.59	48.24	11.73
67	134	10				14.59	48.24	11.73
68	136	10	125	271	4.15	15.31	48.96	12.49
69	135	10				15.31	48.60	12.40
70	130	10				15.31	46.80	11.94
71	135	10				15.31	48.60	12.40
72	138	10	126	276	4.11	14.89	49.68	12.33
73	138	10				14.89	49.68	12.33
74	134	10				14.89	48.24	11.97
75	142	10				14.89	51.12	12.68
dépôt terre canal (g) :								486.61
% dans canal :								486.61

Temps minutes	Volume ml	Durée secondes	Num. éch.. charges	Volume de l'échant. ml	charge par échantillon grammes	charge g / L	intensité corrigée mm/h	charge sur une minute g
20								
21								
22								
23	52	30		260	1.22	4.69	6.24	0.49
24	44	30				4.69	5.28	0.41
25	50	30	88	260	1.22	4.69	6.00	0.47
26	64	30				4.69	7.68	0.60
27	64	30				4.69	7.68	0.60
28	72	30				4.69	8.64	0.68
29	78	30				4.69	9.36	0.73
30	80	30				4.69	9.60	0.75
31	82	30	89	269	1.52	5.65	9.84	0.93
32	90	30				5.65	10.80	1.02
33	97	30				5.65	11.64	1.10
34	102	30				5.65	12.24	1.15
35	114	30				5.65	13.68	1.29
36	110	30				5.65	13.20	1.24
37	114	30	90	218	1.35	6.19	13.68	1.41
38	104	30				6.19	12.48	1.29
39	116	30				6.19	13.92	1.44
40	124	30				6.19	14.88	1.54
41	130	30				6.19	15.60	1.61
42	136	30				6.19	16.32	1.68
43	130	30	91	270	1.65	6.11	15.60	1.59
44	140	30				6.11	16.80	1.71
45	142	30				6.11	17.04	1.74
46	146	30				6.11	17.52	1.78
47	148	30				6.11	17.76	1.81
48	144	30	92	300	1.73	5.77	17.28	1.66
49	156	30				5.77	18.72	1.80
50	166	30				5.77	19.92	1.91
51	110	20				5.77	19.80	1.90
52	112	20				5.77	20.16	1.94
53	128	20				5.77	23.04	2.21
54	120	20				5.77	21.60	2.08
55	138	21				5.77	23.66	2.27
56	142	20				5.77	25.56	2.46
57	140	20				5.77	25.20	2.42
58	138	21	93	284	2.05	7.22	23.66	2.85
59	146	20				7.22	26.28	3.16
60	142	20				7.22	25.56	3.07
61	150	20				7.22	27.00	3.25
62	154	20	94	304	2.19	7.20	27.72	3.33
63	150	20				7.20	27.00	3.24
64	118	15				7.20	28.32	3.40
65	126	15				7.20	30.24	3.63
66	130	15				7.20	31.20	3.75
67	128	15	95	248	1.53	6.17	30.72	3.16
68	120	15				6.17	28.80	2.96
69	130	15				6.17	31.20	3.21
70	134	15				6.17	32.16	3.31
71	94	10				6.17	33.84	3.48
72	130	15				6.17	31.20	3.21
73	92	10	96	172	0.92	5.35	33.12	2.95
74	80	10				5.35	28.80	2.57
75	86	10				5.35	30.96	2.76

Temps minutes	volume ml	Durée secondes	Num. éch.. charges	Volume de l'échant. ml	charge par échantillon grammes	charge g / L	intensité corrigée mm/h	charge sur une minute g
76	92	10		200	1.31	6.55	33.12	3.62
77	94	10				6.55	33.84	3.69
78	98	10	97	200	1.31	6.55	35.28	3.85
79	102	10				6.55	36.72	4.01
80	102	10				6.55	36.72	4.01
81	102	10				6.55	36.72	4.01
82	102	10				6.55	36.72	4.01
83	110	10	98	220	1.37	6.23	39.60	4.11
84	110	10				6.23	39.60	4.11
85	100	10				6.23	36.00	3.74
86	102	10				6.23	36.72	3.81
87	104	10				6.23	37.44	3.89
88	162	15				6.23	38.88	4.04
89	105	10	99	219	1.25	5.71	37.80	3.60
90	114	10				5.71	41.04	3.90
91	114	10				5.71	41.04	3.90
92	112	10				5.71	40.32	3.84
93	114	10				5.71	41.04	3.90
94	116	10	100	234	1.43	6.11	41.76	4.25
95	118	10				6.11	42.48	4.33
96	116	10				6.11	41.76	4.25
97	116	10				6.11	41.76	4.25
98	118	10	101	230	1.36	5.91	42.48	4.19
99	112	10				5.91	40.32	3.97
100	114	10				5.91	41.04	4.04
								206.29
								206.29