

Institut Supérieur Technique D'Outre - Mer

IPSL ISTOM, 32 Boulevard du Port, 95 094 Cergy Pontoise cedex

Mémoire de fin d'études

SUIVIS DES REORGANISATIONS
SUPERFICIELLES DE PARCELLES
DE SOLS ET DE TEPETATES
(TEXCOCO- MEXIQUE).

Yann LEROUX

81^{ème} promotion

Stage effectué au sein de l'ORSTOM et du Colégio des
Postgraduados, Texcoco, Mexique.

du 18/06/94 au 15/11/94

Remerciements

Pour ce travail je tiens tout d'abord à remercier Monsieur Claude ZEBROWSKI et Monsieur Paul QUANTIN pour m'avoir accepté au sein du programme O.R.S.T.O.M.: "réhabilitation des sols volcaniques indurés de la vallée de Mexico", ainsi que Monsieur Joger ETCHEVERS qui m'a accueilli au Colégio de Postgraduados de Montecillo.

Je suis particulièrement reconnaissant envers Christian PRAT pour son accueil chaleureux et ses conseils éclairés.

Un grand merci à mon second maître de stage Jean Louis JANEAU qui a su me conseiller lors de mon travail, m'éclairer lors de la rédaction et m'apporter confiance et amitié lors de mon séjour au Mexique.

Merci à Alfonso, Hermilio et Xavier mes compagnons de tous les jours, ainsi que mes amis du Colégio et de Texcoco.

Je tiens à remercier Angélica LOPEZ, qui m'a apporté soutien et aide pour ce travail.

Enfin, un grand merci fraternel à Jérôme POULENARD et Marc LAUFFER.

Plan

Introduction----- p.1

Contexte général
Le projet de réincorporation des tepetates

Première Partie: Les tepetates: problématique et cadre de l'étude

1. Les Tepetates----- p.4

1.1. Origine

- 1.1.1. Définition
- 1.1.2. Localisation
- 1.1.3. Genèse
- 1.1.4. Origine de l'induration des tepetates----- p.5

1.2. Caractérisation des tepetates----- p.6

- 1.2.1. Affleurement
- 1.2.2. Cause de l'affleurement
- 1.2.3. Différenciation

2. Problématique et objectif de notre étude----- p.7

- 2.1. La réhabilitation des tepetates**
- 2.2. Les tepetates de la vallée de Mexico**----- p.8
- 2.3. Le projet de réincorporation des tepetates dans la vallée de Mexico**
- 2.4. Objectif de notre étude**----- p.9

Deuxième Partie: Terrain d'expérimentation et méthodes

1. Zone d'expérimentation----- p.10

- 1.1. Géographie**
- 1.2. Géologie**
- 1.3. Climat**----- p.11
- 1.4. Végétation**----- p.12
 - 1.4.1. La végétation naturelle
 - 1.4.2. Les cultures----- p.13

2. Le site d'étude

- 2.1. Les parcelles**----- p.14
 - 2.1.1. Le terrassement
 - 2.1.2. Caractéristiques granulométriques
 - 2.1.3. Caractéristiques physico-chimiques des parcelles de tepetates t 3- p.15

3. Matériel et méthodes

3.1. Méthodologie du programme global

- 3.1.1. Le ruissellement
- 3.1.2. L'érosion----- p.16
- 3.1.3. La pluviométrie

3.2. Méthodologie de l'étude

- 3.2.1. Les états de surfaces sur tepetates
- 3.2.2. Problématiques----- p.17
- 3.2.3. Méthodologie----- p.18

3.3. Caractéristiques des parcelles pour l'année 1994----- p.19

- 3.3.1. Différenciation des parcelles
- 3.3.2. Caractéristiques des travaux pour l'année 1994----- p.20
- 3.3.3. Définition des périodes----- p.21

3.4. Description des méthodes de l'étude----- p.22

- 3.4.1. Les observations
- 3.4.2. Les mesures----- p.23
- 3.4.3. Les mesures du point quadrat----- p.25

Troisième Partie: Résultats

1. Caractéristiques pluviométriques----- p.27

1.1 Répartition des pluies sur les périodes d'études

2. Les observations----- p.28

2.1. Observations visuelles de la formation des croûtes

- 2.1.1. Evolution de la surface
- 2.1.2. Interprétations----- p.32

2.2. Observations pratiques----- p.35

- 2.2.1. Stabilité structurale des agrégats
- 2.2.2. Les griffes d'érosion----- p.38
- 2.2.3. Comportement sur différents agrégats isolés du sol----- p.40

3. Les mesures----- p.41

3.1. L'humidité superficielle

- 3.1.1. Résultats et interprétations
- 3.1.2. Conclusion----- p.42

3.2. Le Diamètre minimum----- p.43

- 3.2.1. Résultats et interprétations
- 3.2.2. Conclusion----- p.45

3.3. La fonte des agrégats

- 3.3.1. Résultats et interprétations
- 3.3.2. Conclusion----- p.47

3.4. Les mesures du point quadrat----- p.48

- 3.4.1. Evolution des structures du micro relief
- 3.4.2. L'exportation de matière----- p.52

Quatrième partie: Synthèse et conclusion

<u>1. Dynamiques des réorganisations superficielles sous l'action des pluies</u> -----	p.55
1.1. La formation de la croûtes structurale	
1.2. L'évolution de la croûte structurale	
<u>2. Les acteurs de la réorganisation superficielle</u> -----	p.56
2.1. L'agent direct: le climat	
2.2. Les facteurs secondaire influençant la dynamique de la réorganisation superficielle -----	p.57
2.2.1. Les facteurs agronomiques	
2.2.2. Les facteurs pédologiques-----	p.59
2.2.3. Les facteurs géomorphologiques-----	p.60
<u>3. Influence de la réorganisations superficielles</u> -----	p.61
<u>4. Recherche de solutions</u>	
Conclusion -----	p.64
Table des figures	p. 65
Table des photos	p. 66
Table des tableaux	p.67
Annexes	p. 68
Bibliographie	p. 75

Introduction

Le Mexique est un pays de 1 967 200 km², appartenant au continent Nord Américain. Les pays limitrophes sont les Etats Unis au nord, le Guatemala et le Belize au sud. Il se situe entre les 85° et 120° degré de longitude ouest. Son climat, ses biotopes sa faune sa flore se caractérisent par leur grande diversité.

En effet, au nord on rencontre un climat aride à semi aride, au sud un climat tropical humide et entre ces deux extrêmes se trouve un large éventail de climat s'échelonnant du climat tempéré au climat méditerranéen avec de nombreuses variations comme le climat tropical d'altitude. Pays de montagne, il se situe sur le plateau continental à l'ouest du rift de l'océan Atlantique qui chevauche la plateau océanique du Pacifique ce qui lui confère un relief très prononcé et une activité sismique constante menaçante.

Le plateau continental nord Américain a subi de grandes transformations durant une majeure partie du Tertiaire après les grandes glaciations et la formation de la Sierra Nevada qui commença il y a 1,5 millions d'années. Alors que d'énormes fractures et soulèvements se produisirent en réponse aux mouvements tectoniques suivant l'orientation nord-ouest et sud-est, il s'avère que les plateaux méridionaux de l'altiplano et la Sierra Volcanique sont le résultat d'éruptions appartenant à une zone tectonique transversale. Cette zone s'étend des Antilles jusqu'au Nord de l'Amérique Centrale suivant la direction est-ouest. L'activité volcanique diminue vers la fin du tertiaire, d'abord dans une zone de la Sierra Madre Occidentale et plus tard dans la région comprise entre le 18° et 22° de latitude nord, d'où la dénomination de cette zone comme la cordillère Néovolcanique.

Ainsi, plus de 25% du territoire Mexicain est constitué de pentes de plus de 25%. Versants ravinés, champs de lave, plateaux et bassins endoreïques, pentes volcaniques marquent la "meseta" centrale. Les cours d'eau permanents sont rares. D'un point de vue agronomique, les terres les plus fertiles se trouvent sur les versants et au pied des volcans là où le risque d'érosion est le plus fort.

Le climat peut varier considérablement d'une région à une autre, on rencontre des précipitations annuelles atteignant 2 200 mm au pied est de la cordillère volcanique, et au sud du Golfe du Mexique; d'autres ne dépassent pas les 40 mm en Basse Californie et dans le désert de Sonora. L'altitude joue un rôle très important en tant que régulateur de température. Ainsi, dans la vallée de Mexico à une altitude moyenne de 2 200 m les températures moyennes sont de 25° alors que nous sommes à 4° en dessous du tropique du cancer.

Il n'existe pas un climat propre au Mexique, toutefois les 2/3 du Mexique peut être classés comme zones semi aride, car la mauvaise répartition annuelle des pluies donne lieu à de trop forts contrastes de périodes sèches et humides (Dumont citer par Jérôme G. 1991).

Actuellement le Mexique compte près de 89 millions d'habitants dont 50% ont moins de 20ans. Et si la croissance annuelle se maintient aux 2,2% actuels, on estime que la population doublera dans les 32 ans à venir. La densité de population de 44,8 hab./km² au niveau nationale masque les concentrations humaines rencontrées dans les grandes villes. En effet, 73% de la

population est urbaine et presque 1/4 de cette population se trouve dans la vallée de Mexico et son agglomération soit 22 millions d'habitants.

Cette situation annonce de sérieux problèmes techniques et humains dans un proche avenir. La pollution provenant des usines et des véhicules de transport dépasse, en fonction de l'orientation des vents des seuils dangereux pour l'organisme dans la ville de Mexico. L'approvisionnement en eau pose actuellement de graves problèmes, et le drainage excessif des anciens lacs de Mexico (Mexico était encore une cité lacustre il y a moins d'un siècle) a fait apparaître de grandes surfaces impropres à l'agriculture, riches en sel et sujettes à l'érosion éolienne.

Le Mexique apparaît comme l'un des pays phares de l'Amérique Latine, avec l'entrée en vigueur des accords de l'ALENA (accord de libre échange nord Américain), les Mexicains s'attendent à un redressement économique spectaculaire. Pourtant de nombreux problèmes économiques et agricoles semble bien loin d'être résolues.

A la tête du gouvernement néo-libéral se trouve le PRI (parti révolutionnaire institutionnel) depuis maintenant 65 ans. Le coût du décollage économique a grossi une dette extérieure qui s'élève à 106 milliard de dollars malgré la richesse pétrolière du pays. Aussi, le gouvernement attire les capitaux étrangers (spécialement Américains), on assiste à de nombreuses privatisations. Avec la suppression des barrières tarifaires de l'ALENA, on attend la création de 600 000 à 800 000 emplois dans le secteur de la sous traitance ou "maquiladoras" (Ly B T. 1993).

Une des actions mises en place pour le redressement économique a été la révision en 1992 de la réforme agraire de 1920, (réforme qui donna lieu à la création des parcelles et biens comunaux confiées en usufruit, individuel ou collectif, aux travailleurs des campagnes, ou "Ejidos" (Lemoine M. 1988) pour permettre une commercialisation des terres et une exploitation à des fins exportatrices. Aussi, depuis quelques années le gouvernement mexicain recherche des solutions au manque de surface cultivable, et donc s'intéresse à la mise en valeur de terres susceptibles d'être exploitables. En effet, le Mexique ne cultive guère que 10% de son territoire et 25% de sa population active travaillent pour l'agriculture.

Le Mexique peut être représentatif d'une majeure partie des pays de l'Amérique Latine situées sur la Cordillère des Andes. L'une des particularités commune a ces pays est l'importance des sols volcaniques sur leurs territoires, et notamment des sols possédant un horizon induré. Cet horizon est difficilement exploitable par des travaux traditionnels, et mis à nu par l'érosion, sa dureté empêche l'installation de plantes.

Depuis une vingtaine d'années, le gouvernement Mexicain a engagé des programmes de développement dont les finalités sont de protéger ces horizons indurés de l'érosion par le biais de reforestation. En effet les ressources en eau de la capitale sont affectées par la perte en sédiment de la "Sierra" qui l'entoure. Dans un second temps, les efforts se sont portés aussi sur l'habilitation de ces terres infertiles, afin de stopper leur érosion mais surtout de les valoriser à des fins agricoles.

Les objectifs du programme sur l'étude des sols volcaniques indurés, appelés "tepetate" de la vallée de Mexico et de Tlaxcala qui commença en 1988, est d'apporter des réponses scientifiques et technologiques aux problèmes de la mise en valeur de ces sols stériles. Le projet est financé par

l'Union Européenne et a pour collaborateurs le collège de "Postgraduados" de Montcillo, l'université de Tlaxcala, l'université de Giessen en Allemagne et l'ORSTOM.

La première phase consiste à mieux connaître l'évolution de la desertification causée par l'érosion sur les tepetates, et de connaître les propriétés, l'origine de ce matériau, ainsi que les conditions les mieux appropriées pour envisager une réhabilitation agricole à long terme. Ce programme se décompose ainsi:

- l'inventaire, la caractérisation de ces formations et la cartographie des différents types de tepetates.

- la régénération de la fertilité des tepetates et la préservation de ces sols à des fins agricoles.

L'autre partie est consacrée à l'aspect socio-économique, et l'objectif consiste à évaluer les demandes et les conséquences de la rentabilité de ces terres sur la population rurale.

Notre travail s'inscrit dans l'étude de la préservation de ces sols, et porte principalement sur l'étude des réorganisations superficielles des tepetates préparées au bulldozer et travaillées sous différents techniques culturales. L'intérêt principal étant de mettre en évidence la relation existant entre le développement d'une croûte structurale superficielle, et l'érosion hydrique. En effet la première étape de l'érosion hydrique sur sol travaillé est la baisse de l'infiltration et la dégradation de la porosité, provoquant le début du ruissellement et le départ de matières solides et dissoutes.

Le deuxième intérêt de notre étude réside dans la comparaison des comportements à l'érosion de différentes parcelles. Notre site d'étude comporte 6 parcelles de tepetates cultivées, une parcelle de sol d'origine (éolico-coluvial) et un petit bassin versant de tepetate nu (non ripé par un bulldozer). Chacune des parcelles possèdent des caractéristique différentes (pente, amendement organique ou minéral, monoculture de maïs ou polyculture, profondeur de préparation). A coté de l'étude globale consistant au, suivi et mesure du ruissellement par parcelle, de l'érosivité des pluies, des écoulement hydrogéologiques; l'étude des réorganisations superficielles à été effectué sur des aires de mesures de 198 cm² par l'intermédiaire du point quadrat. Cet outil se compose d'un cadre amovible monté sur pieds de 90 cm de hauteur, sur lequel se déplace tous les 10 cm une règle et où coulissent verticalement 18 aiguilles. La fixation des pieds au sol reste stable et horizontale tout le long de l'étude. Les aiguilles par translation verticale reportent la hauteur de la surface, et en notant la nature du point rencontré nous pouvons caractérisé statistiquement les différentes organisations au cours de notre étude.

Nous pouvons alors caractériser le comportement de chacune des parcelles par la dynamiques de disparition, et d'apparition de ses organisations tout en appréciant la nature des matériaux. Nos résultats permettront d'apprécier les facteurs influençant la perte de matière et ainsi d'emmètre des hypothèse quant aux itinéraires techniques les mieux appropriés pour préserver les parcelles de tepetates de l'érosion. Ces parcelles étant représentatives des techniques agricoles régionales, le transfert de conseil se fera par une vulgarisation auprès des agriculteurs.

Les tepetates: problématique et cadre de l'étude

1.1. LES TEPETATES

1.1.1. Origine

1.1.1.1. Définition

L'origine du mot tepetate provient de la langue Nahuatl que, l'on peut traduire par "lit de pierre". Cet horizon se retrouve à différentes profondeurs et, le terme tepetate est souvent employé par les paysans pour désigner tous les sols durs, difficiles à travailler (Zebrowski C., 1991).

A l'époque préhispanique, les Aztèques classifièrent ces matériaux selon des critères de couleur, et de dureté. Ce n'est réellement qu'en 1972 que les tepetates commencèrent à être étudiés par Williams B. et la fondation Allemande représentée par Aeppli et Werner.

Du point de vue pédologique, le terme de tepetate désigne un horizon induré, présent dans le profil d'un sol volcanique et composé d'une succession de dépôts d'origine pyroplastique. Dans de nombreuses régions ces couches affleurent à la suite de l'érosion des horizons supérieurs. C'est un horizon massif, à faible porosité et capacité de rétention en eau; le degré d'induration, très variable, dépend du matériau originel, de la nature du ciment et du type de soudure au sein du matériau. Selon la classification US, les tepetates sont considérés soit comme des duripans (durs à l'état humide) soit comme des frangipans (résistants à l'état sec et friables à l'état humide).

1.1.1.2. Localisation

Ces formations se rencontrent au Mexique mais aussi dans la plupart des pays d'Amérique centrale et de la Cordillère des Andes. Au Mexique elles couvriraient entre 30.000 et 170.000 km² ce qui représente 1,5% du territoire Mexicain. 30.700 km² de tepetates se situent sur l'axe volcanique Mexicain (Zebrowski C., 1991).

Leurs appellations varient suivant les pays et, au Nicaragua, Salvador et Honduras, on les nomme "talpetates", en Colombie et au Pérou, se sont les "hardpans", et en Equateur et au Chili ils sont désignés sous le terme de "cangahuas". On les rencontre essentiellement dans les régions où le climat présente une période sèche bien marquée, et à pluviométrie < 1000 mm jour.

1.1.1.3. Genèse

La genèse de ces sols volcaniques indurés sur une aussi grande surface provient du fait que les régions andines concernées ont toutes des conditions climatiques analogues: un climat subhumide (P< 800-900), et un déficit hydrique durant plus de 5 mois. Ces conditions vont de pair avec les situations topographiques, et l'on rencontre la majorité des sols volcaniques indurés dans les zones aux pentes douces: piémonts, glacis et plaines (Quantin P., 1993).

Le processus de formation des tepetates de la vallée de Mexico est le résultat d'éruptions de cendres volcaniques. Ils se caractérisent par une distribution granulométrique bimodale, un squelette minéral en forme de fragments anguleux, qui permet d'expliquer une redistribution des cendres par le vent à la manière d'un loess (Quantin P. 1993).

Les travaux de Prat C. (1991) sur les talpetates au Nicaragua, nous permettent d'expliquer par corrélation que les tepetates sont le résultat de dépôts pyroplastiques, suite à une explosion volcanique en présence d'eau (lac ou nappe phréatique) à proximité du magma. Il s'agit plus précisément d'un dépôt mis en place par la déferlante de l'explosion volcanique où les éléments solides et gaz sont en suspension et se retrouvent stratifiés en une couche plus ou moins régulière épousant les reliefs de la surface.

Paul Quantin (1993) explique que les effets du climat et de la pédogenèse influent les processus de formation des sols volcaniques indurés de la vallée de Mexico, en fonction de leur localisation sur la toposéquence piémont-glacis. Ainsi, sur le piémont, les horizons de tepetates possèdent une consistance de frangipan. Ils se composent alors d'horizons d'altération de cendres volcaniques enrichies en argile et silice. On rencontre parfois un horizon de tuffés volcaniques inaltérables à peu altérables et durs. Sur le glacis au bas du piémont, les tepetates sont des horizons péro-calcaïques, avec des encroûtements calcaires durs.

1.1.1.4. Origine de l'induration des tepetates

Actuellement, il n'existe pas de réponses définitives quant à l'origine de l'induration des tepetates. Deux hypothèses, l'une géologique et l'autre pédologique expliquent les processus majeurs de leur induration. Et, ces deux processus pouvant parfois se superposer il existe une certaine confusion entre les pédologues et les géologues.

L'induration d'origine géologique se serait effectuée lors de la mise en place de la coulée qui aboutit aux tepetates; il se serait produit une fusion des verres volcaniques qui aurait soudé l'ensemble du matériau primaire. Et, le fait de trouver des verres palagonitisés (verre basaltique jaunâtre hydraté) dans les tepetates mais aussi dans les cinérites (roche pyroplastique à grain <2mm, formée par accumulation de cendres volcaniques en présence d'eau) laisse à penser dans ce cas, que l'induration procéderait d'un processus de formation primaire, antérieur à la formation du sol, et donc géologique.

Dans d'autres cas, l'abondance d'argile, d'oxyde de fer et de silice, conjuguée à un climat sec renforce l'idée que l'origine de la cimentation serait pédogénétique. Mais comme l'affirme Quantin P., (1993), le fait de retrouver ces éléments aussi dans l'horizon B, horizon supérieur aux tepetates ne soutient pas cette hypothèse. L'idée la plus plausible serait que conjuguée à une pédogenèse sous régime climatique sec, la compactation du matériel originel aurait réduit la vitesse d'altération, et provoqué l'accumulation des argiles, de la silice, et des oxydes de fer. Puis la silice et les oxydes de fer auraient recouvert les argiles sous forme de gel et de cristobalite. Après une dessiccation marquée, cela aurait contribué à la cimentation du matériel (Quantin P., 1993).

Nous pouvons remarquer d'autres interprétations quant à l'origine de l'induration des tepetates, mais qui ne doivent pas être prises en compte dans notre étude car elles se situent dans une zone à climat tropical humide. Leur intérêt réside dans le fait qu'elles expliquent l'influence directe du climat sur la dynamique d'induration des tepetates. Ainsi, Campos A., (1991) met en évidence une évolution latérale guidée par le sens d'écoulement hydrodynamique interne du sol et qui continue encore maintenant, par l'influence du climat: "la silification est associée à un processus d'accumulation relative de la silice par rapport à l'aluminium dans les eaux du sol. [...] les teneurs en silice sont contrôlées par un phénomène saisonnier, alors que celles de l'aluminium sont contrôlées par le volume de chaque précipitation. il est donc logique de penser qu'un climat à saisons contrastées facilite la mobilisation de la silice...".

1.1.2. Caractérisation des tepetates

1.1.2.1. Affleurement

Dans le profil d'un sol volcanique induré, on trouve généralement plusieurs horizons de tepetates, correspondant à différentes émissions de matériaux pyroplastiques. Et, dans notre région de Santa Catarina, que nous décrivons en détail par la suite, Zebrowski C. 1991, a identifié trois séries de dépôts. Chaque dépôt étant représenté par un horizon meuble superposé d'un horizon induré (tepetate), lui-même superposé d'une autre couche meuble.

La plus ancienne, la série T 3, correspond à des émissions de 20 000 ans; la seconde, la T 2, correspond à des émissions 13 500 ans, et la troisième, la T 1 (tepetate indifférencié), de 10 000 ans. Une quatrième série de faible épaisseur (10 à 50 cm) correspond à un apport éolico-coluvial mélangé à des dépôts plus récents de cendres volcaniques. L'affleurement de ces horizons dépend de plusieurs facteurs, le plus important étant la pluie, mais aussi, l'activité anthropique, le couvert végétal et, la nature même des tepetates. D'après Zebrowski C. plus de la moitié des tepetates affleurent au Mexique.

1.1.2.2. Cause de l'affleurement

Les premières hypothèses quant à la cause de l'érosion importante des tepetates, sont nombreuses et controversées. On propose comme explication une mauvaise exploitation des terres: les indigènes, pour des raisons religieuses et cosmiques, auraient cultivé leurs terres en suivant des axes sacrés dans le sens des pentes. D'autres rendent responsables de cette érosion les colons espagnols qui auraient modifié les pratiques agraires par l'introduction de l'araire. L'abandon des terres peut aussi expliquer la présence de ces zones érodées (Zebrowski C. 1991).

1.1.2.3. Différenciation

La caractérisation des tepetates a été le sujet de nombreuses études, et, les conclusions récentes du projet coordonné par Paul Quantin (1993), nous informent que:

- tous les tepetates ne sont pas des duripans, et, ils ne peuvent être différenciés uniquement par des critères de dureté.

- tous les tepetates peuvent être classés dans une série stratigraphique, et en fonction de leurs comportements de fragipan ou d'horizons pétro-calciques. En effet, les tepetates incluant des encroûtements calcaro-laminaire durs, ne peuvent être considérés comme des fragipans mais comme des horizons pétro-calciques.

- d'autres caractéristiques peuvent être prises en comptes, comme la minéralogie (par exemple, la présence de smectites ou halloysites détermine qu'il s'est produit respectivement une altération sous climat aride, ou sous climat humide), les propriétés chimiques et physiques, les analyses micro morphologiques déterminent précisément la nature et les propriétés de chaque horizon de tepetates.

Dans le cadre de notre étude, nous nous intéresserons au tepetate t 3, inclus dans la série de dépôt T 3, celui-ci couvrant les plus grandes surfaces affleurantes. Le tepetate t 2 est beaucoup plus meuble et érodable.

1.2. PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS DE NOTRE ETUDE

1.2.1. La réhabilitation des tepetates

Autrefois, les agriculteurs récupéraient les tepetates, terres accessibles et susceptibles d'être cultivées, à l'aide de pics et de pelles. Ce terrassement ne permettait d'obtenir que des petites terrasses moyennement profondes (0,5 m de profondeur) au prix de nombreux efforts.

Depuis les années 70, la réhabilitation des tepetates s'effectue avec un bulldozer muni de griffes. On procède d'abord à un aplanissement de la zone, afin de former des terrasses suivant les courbes de niveau, puis le passage du bulldozer fait exploser les tepetates sur une profondeur pouvant atteindre 0,8 m. Enfin, après plusieurs passages de bulldozer et d'un tracteur équipé d'une herse, on affine les mottes de tepetates jusqu'à une taille optimum de 2 à 4 mm afin d'augmenter les possibilités de stockage en eau et de favoriser un bon contact racine-sol. Mais avant de procéder à la mise en culture il est nécessaire d'incorporer des engrais et de la matière organique (Navarro et al., 1991).

Une étude complète publiée par Etchevers et al. (1991), a fourni les résultats suivants: de pH faiblement alcalin, les tepetates présentent des pourcentages de matière organique et d'azote total très bas (inférieurs à 0,3 et 0,04% respectivement), de même le niveau moyen de phosphore assimilable est faible (inférieur à 5 ppm); en revanche les niveaux de potassium, de calcium et de magnésium échangeables sont importants. La fertilité des tepetates étudiés est donc très déficiente, mais une fertilisation adéquate en azote, phosphore et matière organique, permet d'obtenir une fertilité potentielle élevée.

1.2.2. Les tepetates dans la vallée de Mexico

Comme nous l'avons vu les tepetates couvrent plus de 1.5% du territoire Mexicain, et se retrouvent sur 30.700 km² de l'axe néo-volcanique, ce qui représente pour cette région plus de 27% de la superficie cette région. Les terres y sont les plus fertiles et c'est aussi la partie du Mexique la plus peuplée. Aussi, c'est dans un contexte socio-économique que le gouvernement Mexicain tente d'accroître les surfaces cultivables. Non seulement la réhabilitation des tepetates bénéficie à la population locale, et à l'approvisionnement de la capitale, mais aussi à la perspective d'installer de grandes cultures de vente pour le grand marché commun de l'ALENA. D'autres préoccupations ont poussé à réhabiliter les tepetates et particulièrement dans la vallée de Mexico; en effet, le problème de l'érosion de ces surfaces non exploitées, et l'exportation de grandes quantités de sédiments vers les zones basses où se situent les restes de l'ancien lac de Texcoco, posent de sérieux problèmes quant à l'approvisionnement de la capitale en eau potable.

Dans un premier temps le gouvernement a engagé des programmes d'études, dont les finalités sont de protéger les horizons indurés de tepetates de l'érosion par le biais de la reforestation. Dans un second temps, les efforts se sont porter aussi sur l'habilitation de ces terres infertiles, afin de stopper leur érosion mais surtout de les valoriser à des fins agricoles.

1.2.3. Le projet de réincorporation à l'agriculture des tepetates de la vallée de Mexico

Les objectifs du programme sur l'étude des sols volcaniques indurés de la vallée de Mexico et de Tlaxcala qui commença en 1989, est d'apporter des réponses scientifiques et technologiques au problème de la mise en valeur de ces sols stériles. Le projet est financé par l'Union Européenne et l'ORSTOM (France), le collège de "Postgraduados de agrociencias" de Montecillo et l'université de Tlaxcala (Mexique) et l'université de Giessen (Allemagne) sont les maîtres d'oeuvres des programmes.

La première partie de ce programme consiste à mieux connaître l'évolution de la désertification causée par l'érosion sur les tepetates; et les propriétés, l'origine de ce matériau, ainsi que les conditions les mieux appropriées pour envisager une réhabilitation agricole à long terme. Ce programme est constitué de deux phases principales, la première s'étant terminée en 1992.

- L'inventaire, la caractérisation de ces formations et la cartographie des différents types de tepetates.

- La régénération de la fertilité des tepetates et la préservation de ces sols à des fins agricoles.

L'autre partie est consacrée à l'aspect socio-économique, et l'objectif consiste à évaluer les demandes et les conséquences de la rentabilité de ces terres sur la population rurale.

Notre étude s'inscrit dans ce programme, et porte sur l'interprétation des réorganisations superficielles de différentes parcelles de tepetate (de la série T 3) travaillées sous différentes pratiques culturales.

1.2.4. Objectif de notre étude

L'intérêt principal de notre étude est de mettre en évidence les relations existant entre le développement d'une croûte structurale superficielle et l'érosion hydrique. En effet les scientifiques s'accordent pour confirmer que la première étape de l'érosion hydrique sur sol travaillé correspond à la baisse de l'infiltration et à la dégradabilité de la porosité. Dans une zone caractérisée par des pentes moyennes sur un piémont de la vallée de Mexico, l'étude des transformations superficielles de différentes parcelles de tepetates travaillées est en conséquence justifiée.

La surface d'une parcelle se compose de différentes unités structurales à l'échelle des billons, dont les plus importantes sont les agrégats et les croûtes. Le suivi de leurs réorganisations dans le temps nous permet d'apprécier leurs interactions à partir des travaux d'entretien de la parcelle, et ce jusqu'à leurs différenciations. Chacune de ces unités influe directement et indirectement sur le processus de ruissellement, au sein d'une dynamique en relation avec les caractéristiques agronomiques de la parcelle. Aussi, notre étude porte sur plusieurs parcelles de tepetates ayant chacune des itinéraires agricoles distincts et représentatifs des pratiques agricoles locale.

Par l'interprétation de nos résultats nous tenterons d'apprécier l'importance des facteurs géomorphologiques, pédologiques, agronomiques et climatiques sur le comportement de la surface de parcelles de tepetates. Les différentes pratiques culturales de la région étant reproduites au sein de nos essais agronomiques, la caractérisation de la fermeture de la surface, qui est l'étape première dans le ruissellement, pourra ainsi accompagner les conseils techniques visant à préserver les parcelles de tepetates de l'érosion.

Terrain d'expérimentation et méthodes

2.1. ZONE D'EXPERIMENTATION

2.1.1. Géographie

La région qui inclue le site d'étude appartient à la communauté de San Miguel Tlaixpan qui fait partie du bassin versant du ruisseau de Texcoco. Elle se situe sur le versant occidental de la Sierra Nevada, laquelle borde la partie est de la vallée de Mexico. Cette région se situe dans le domaine intertropical Nord, et son altitude varie de 2 250 m à 5 465 m (Popocatepetl). C'est sur un versant du complexe volcanique Tlálloc-Telapón (respectivement 4120 m et 4 060 m), sur la séquence Tlálloc-Texcoco que se situe notre zone d'étude.

La séquence de cette région est présentée en figure n° 2.

2.1.2. Géologie - pédologie

La base de la séquence géologique est constituée par des laves andésitiques dont l'âge est compris entre 1,7 et 1 millions d'années.

- La plaine

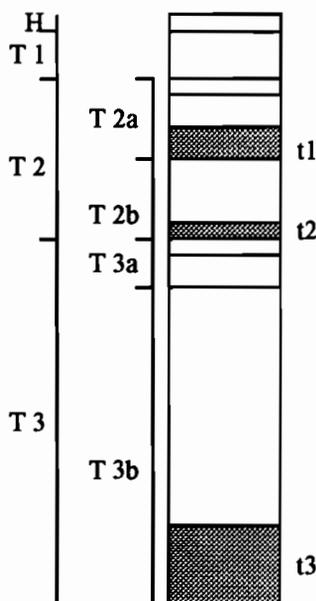
Le matériau alluvial récent (7 950 ans) correspondant aux dépôts de l'ancien lac de Texcoco, est peu évolué, et constitué d'un phaeozem épais. On y retrouve des projections pyroplastiques (Zebrowski C., 1992).

- Le piémont

Nous pouvons d'abord distinguer le bas piémont. Les pentes rencontrées varient entre 3 et 4%, et s'étendent entre 0,5 et 2 kilomètres. Le haut piémont se caractérise par des pentes de 7 à 10%, sur une longueur d'une dizaine de kilomètres. Un matériau éolico-coluvial recouvre sur une épaisseur variable, des matériaux pyroplastiques qui sont séparés entre eux par des paléosols sur

tout le piémont. Ces derniers se caractérisent en fonction de l'âge de leur mise en place; aussi, nous décrirons ces différentes séries en partant de la couche la plus récente.

♦ **horizon supérieur H:** cette couche recouvre en totalité le piémont, à l'exception des andosols et des sols alluviaux. Son épaisseur varie entre 40 à 50 cm d'épaisseur dans le glacis, et de 10 à 20 cm dans le haut piémont. Sa texture est sableuse à limoneuse-argileuse. D'origine coluviale, elle a reçu quelques cendres volcaniques récentes, d'où la dénomination de couche éolico-coluvial. Elle se caractérise aussi par la présence de restes d'activités humaines comme des fragments de poteries et d'obsidiennes taillées.



♦ **série T 1:** l'âge de cette couche est comprise entre 12 000 et 12 600 ans. Friable, et parfois légèrement indurée dans sa partie supérieure, elle est d'origine éolienne. Dans notre zone d'étude cette couche est peu épaisse, voire même absente.

♦ **série T 2:** cette couche peut atteindre un à deux mètres d'épaisseur, et l'âge de sa formation est comprise entre 12 600 et 13000 ans. Dans notre zone d'étude elle se rencontre sous l'horizon H. Dans cette série nous distinguons deux horizons de tepetate, le premier dénommé t2a est séparé du second t2b, plus dur, par une couche d'argile grise meuble.

♦ **série T 3:** cette série qui se caractérise par une couleur plus vive comporte un horizon de tepetate, nommé t3, datant de 21 630 années. Ce tepetate t3 est séparé de t2b par un horizon argileux peu limoneux, brun jaune.

- La sierra

Les caractéristiques de cette unité permettent de distinguer deux aires bien définies: la basse sierra, et la haute sierra. La haute sierra (au dessus de 3 400 m d'altitude) présente un relief glaciaire, les pentes sont généralement douces, mais fortes dans les ravines. Le substrat composé de dacites et de rhyolites est recouvert de cendres et lapillis volcaniques postglaciaires. La basse sierra (entre 2 800 et 3 400 m d'altitude) est aussi recouverte de cendres volcaniques mais ces dernières sont plus anciennes. Le substrat est essentiellement constitué de lave andésitiques, dacites, et rhyolites (Zebrowski C., 1992).

2.1.3. Climat

La plaine, le piémont et la sierra se caractérisent par une pluviométrie, des températures, et une répartition annuelle bien distincte, figure n° 1.

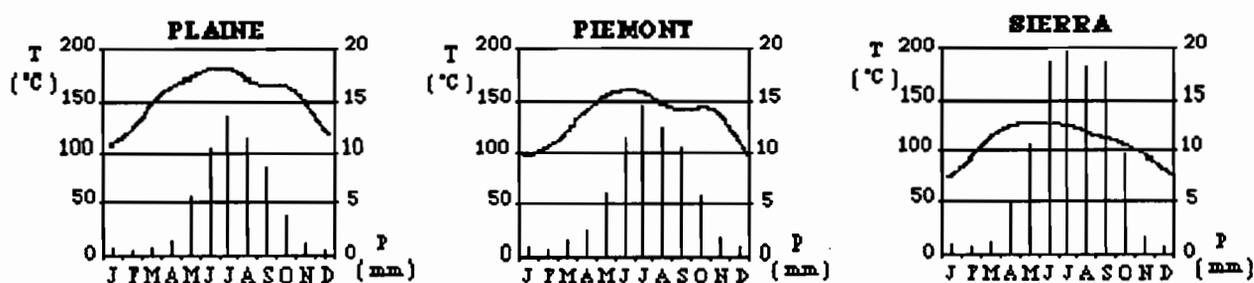


Figure N°1: illustration des trois zones climatiques.

	- La plaine:	- Le piémont	- La sierra
Températures:	de 16 à 12°C.	de 12 à 9°C.	< à 9° C.
Précipitations annuelles:	650 mm.	900 mm.	> à 1 200 mm.
Année sèche:	500 mm.	400 mm.	900 mm.
Année humide:	800 mm.	1 000 mm.	1 300 mm.
Mois secs:	novembre à mars.	novembre à mars.	très atténuée par nébulosités.
Mois sub-humides:	avril et septembre.		
Mois humides:	mai à octobre.	avril à octobre.	
E.T.P: (Evapotranspiration potentielle annuelle)	1 800 mm.	1 400 mm.	1 300 mm.

On remarque que les précipitations augmentent avec l'altitude, alors que les températures diminuent. En effet, on assiste à une transition entre un climat tropical d'altitude, et un climat de montagne. Les précipitations se répartissent entre une période sèche (de novembre à avril), et une période de pluies (de mai à octobre). 86% des pluies surviennent entre les mois de mai et octobre. Cependant nous remarquerons une petite saison sèche de mi juillet à mi août, qui est plus ou moins marquée selon les années. Les valeurs de l'E.T.P. (évapotranspiration potentielle) sont supérieures aux précipitations annuelles, il s'en suit un phénomène de sécheresse, qui est inversement proportionnel à l'altitude; et qui, avec les caractéristiques pluviométriques, conditionne les différentes pratiques culturales rencontrées.

2.1.4. Végétation

2.1.4.1. La végétation naturelle

La distribution de la végétation se définit principalement par les caractères morphologiques et climatiques des différentes aires.

- Dans la sierra ainsi que sur les reliefs du piémont se trouvent des forêts de pin, des pâturages potentiels, des forêts de sapin et des forêts mixtes de sapins, chênes, et pins. Ces ressources forestières sont exploitées depuis longtemps.

- Le piémont constitue une zone de transition où l'on retrouve, des cultures, des forêts (inclus dans des programmes de reforestation) de pins, d'eucalyptus, de chênes; des pâturages, des buissons épineux, et d'une strate herbacée distribuée en touffes. Cette zone regroupe toutes les parcelles de la montagne.

- La plaine regroupe les cultures d'autoconsommation et de rente. Nous retrouvons des plantes à système racinaire profond (arbres fruitiers, agave, figuiers de Barbarie, fleurs,...) sur les bordures de terrasses. Les pâturages sont constitués par les chemins et les terrasses non cultivées.

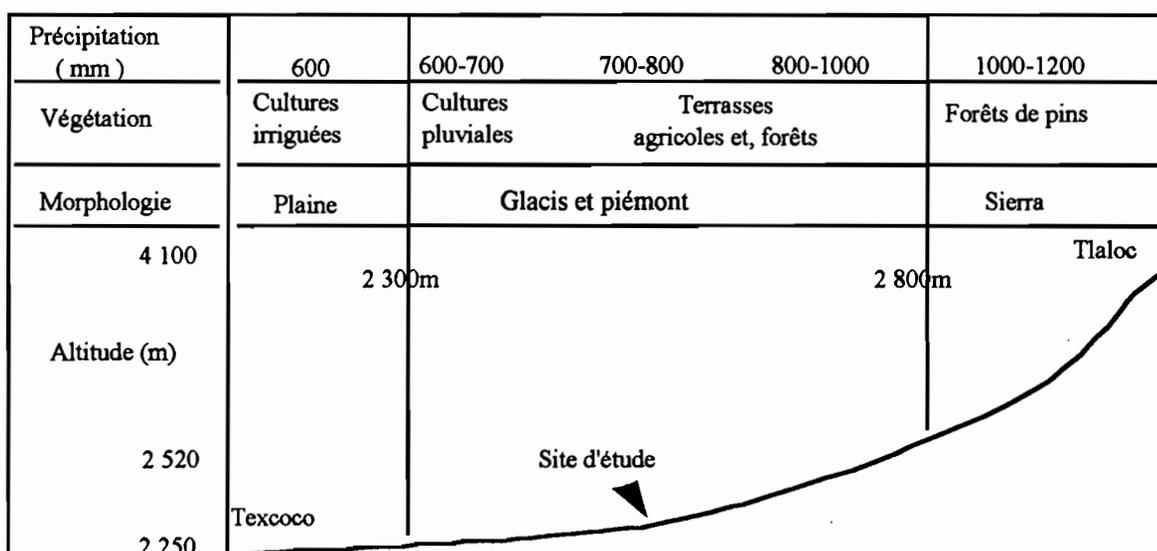


Figure N°2: séquence de la région Tlaloc-Texcoco.



Photo N° 1: végétation naturelle du site.

2.1.4.2. Les cultures

De façon générale, nous pouvons distinguer trois zones: la zone irrigable des habitations (plaine, glacis, et mi-piémont), la zone pluviale basse (piémont) et la zone pluviale haute (sierra inférieure).

- La zone irrigable des habitations comporte des cultures d'autoconsommation (maïs, fève, pois chiche, haricot, blé, tomate, courge etc...), et en plaine nous retrouvons principalement des cultures de rente (fleurs et arbres fruitiers). Malgré la proximité des habitations nous remarquons un abandon partiel de quelques terrasses, dû principalement à la possibilité d'un travail salarié en ville pour ces villageois.

- La zone pluviale basse possède la majorité des terres potentiellement riches. On y retrouve des cultures d'autoconsommation (maïs, fève pois chiche, haricot, blé et orge). De nombreuses parcelles non entretenues sont victimes de l'érosion. En effet, dans cette zone nous retrouvons les tepetates qui, pour être cultivées demandent une préparation et un entretien soutenu.

- La zone pluviale de montagne regroupe des forêts et des terres cultivables, et depuis une dizaine d'années de nombreuses parcelles sont abandonnées. Les causes de cet abandon sont variées: problèmes d'éloignement, de dégradation des cultures par le bétail peu surveillé, chemins peu praticables, risques climatiques (gel), et toujours la possibilité de trouver un travail salarié à Mexico pour les villageois (LY Boun-Tieng, 1993).

2.2. LE SITE D'ETUDE

Le site d'étude se situe sur le piémont à l'entrée du village de Santa Catarina, la pente générale est de 8%, et l'orientation plein sud.

Sa position est comprise entre:

19° 29' 55'' et 19° 30' 01'' de latitude nord.

98° 47' 26'' et 98° 47' 38'' de longitude ouest.

Pour une altitude comprise entre 2 520 m et 2 557 m.

Nous devons prendre en compte que le site se trouve sur la zone de transition entre le glacis et le piémont. On y rencontre un microclimat particulier, les précipitations sont inférieures aux moyennes de la petite région, du fait de l'importance de la petite période sèche, incluse dans la période de pluie.

Il n'existe pas de végétation naturelle aux alentours du site (Photo N° 1). On rencontre au sud, c'est à dire en amont du site, des jachères herbacées sur des anciennes zones de cultures, composées de graminées distribuées en touffes et de plantes annuelles. Au delà des jachères et à l'ouest du site, on rencontre des zones de reforestation composées respectivement de pins (*Pinus spp.*) et d'eucalyptus. Ces zones sont aussi des essais de mise en valeur des tepetates. A l'est du site, et à son voisinage, on rencontre des anciennes terrasses utilisées en cultures pluviales (maïs, orge), délimitées par quelques cactacées (*maguey*), et *nopals*.

Tableau N° 1 : granulométrie des terrasses après ripage et hersage en fonction des parties des terrasses.

Prat C. (1991)

	N° et diamètre (mm)	Partie aval	Centre	Partie amont	Moyenne
T 1		0-20	0-20	0-20	0-20
	< 31.7	24.7	22.9	18.4	22
	31.7-11.5	16.9	26.6	20.2	21
	11.5-4.8	11.6	12.9	11.3	12
	4.8-2.0	12.2	11.3	12.4	12
	< 2.0	34.8	26.3	37.7	33
T 2	< 31.7	5.5	11.4	9.6	8,8
	31.7-11.5	17.8	20.3	21.5	20
	11.5-4.8	15.4	17.1	15.5	16
	4.8-2.0	14.5	17.2	15.6	16
	< 2.0	46.8	34.1	37.8	40
	T 3	< 31.7	7.1	10.6	13.8
31.7-11.5		14.8	17.1	23.1	18
11.5-4.8		12.0	12.8	14.0	13
4.8-2.0		13.4	13.9	14.1	14
< 2.0		52.9	45.6	35.0	45
T 4		< 31.7	8.9	14.3	9.7
	31.7-11.5	16.7	19.2	19.9	19
	11.5-4.8	14.5	14.2	14.8	15
	4.8-2.0	13.2	14.5	13.9	14
	< 2.0	46.7	37.8	41.6	42
	T 5	< 31.7	5.3	12.1	18.4
31.7-11.5		14.5	15.2	16.4	15
11.5-4.8		12.7	23.7	20.9	19
4.8-2.0		12.7	14.4	12.9	13
< 2.0		54.7	37.7	37.1	43
T 6		< 31.7	6.2	17.0	17.5
	31.7-11.5	20.3	20.4	27.0	23
	11.5-4.8	15.7	14.0	14.5	15
	4.8-2.0	13.6	13.1	13.2	13
	< 2.0	44.1	35.6	27.7	36
	T 7	< 31.7	7.3	7.3	5.0
31.7-11.5		15.6	18.7	22.2	19
11.5-4.8		13.9	15.7	16.6	15
4.8-2.0		14.0	13.8	15.2	14
< 2.0		49.2	43.9	41.0	35

2.2.1. Les parcelles

Le site d'étude comporte 6 parcelles de tepetates cultivées de la série t 3, une parcelle de sol d'origine (éolico-coluvial), et un petit bassin versant de tepetate nu (non travaillé, de la série t3). Chacune des parcelles possède des antécédents différents, qui nous permettent d'apprécier l'influence du facteur érosion dans des conditions distinctes (pente, systèmes de cultures, travaux antérieurs du sol, ...). Toutes les parcelles sont entourées de bords d'environ de 80 cm de hauteur et 1 m de largeur, servant à délimiter une aire réceptrice pour la pluie et empêcher un ruissellement vers l'extérieur qui fausserait les mesures du ruissellement (Annexes N° 1). Les travaux culturaux sont effectués de façon à correspondre le plus possible avec les pratiques agricoles locales. Chaque parcelle est numérotée en fonction de sa position sur la pente: la parcelle T 0 se situe à 100 m en amont du site des parcelles T 1 à T 6 qui elles se suivent d'amont en aval. La parcelle T 7 est éloignée d'une centaine de mètres des autres parcelles vers l'ouest.

2.2.1.1. Le terrassement

La parcelle T 0 il a été aménagée dès 1992 avec des murets pour délimiter l'espace de ruissellement et un système de captation et mesure du ruissellement et sédiment. Le terrassement du site a été effectué en 1993 pour les parcelles T 1 à T 7. Un bulldozer (caterpillar D7) a repoussé la terre le long des bords. Ce travail de défonçage du tepetate a été effectué par deux passages croisés du bulldozer équipé de deux dents distantes d'un mètre et dont la longueur était réglée pour ameublir à 60 cm le tepetate des terrasses T3 à T6 et à 80 cm pour la T1 et T2. Un tracteur a ensuite effectué deux passages: le premier avec des disques et le second avec une herse pour l'ensemble des terrasses sauf la T5 qui a subi deux fois deux passages afin d'obtenir des agrégats plus fins et une pente plus faible.(Prat C., 1993).

2.2.1.2. Caractéristiques granulométriques

Suite à des observations de terrain, trois zones ont été définies dans chaque terrasses: zone amont, centrale, avale. Les zones amont et avale représente environ chacune 10 % de la surface totale de chaque terrasses. Nous pouvons remarquer grâce au tableau N° 1 que les parcelles T 3, T 4, et T 5 ont une granulométrie plus fine que les autres parcelles. Sur toutes les parcelles sauf sur la T 1, les particules les plus fines se retrouvent sur la partie avale de la terrasse. Cela a été produit par la formation des talus inter parcellaires lors du terrassement. Quant au sol, sa granulométrie est assez homogène, et semble relativement moins fine par rapport aux parcelles de tepetates.

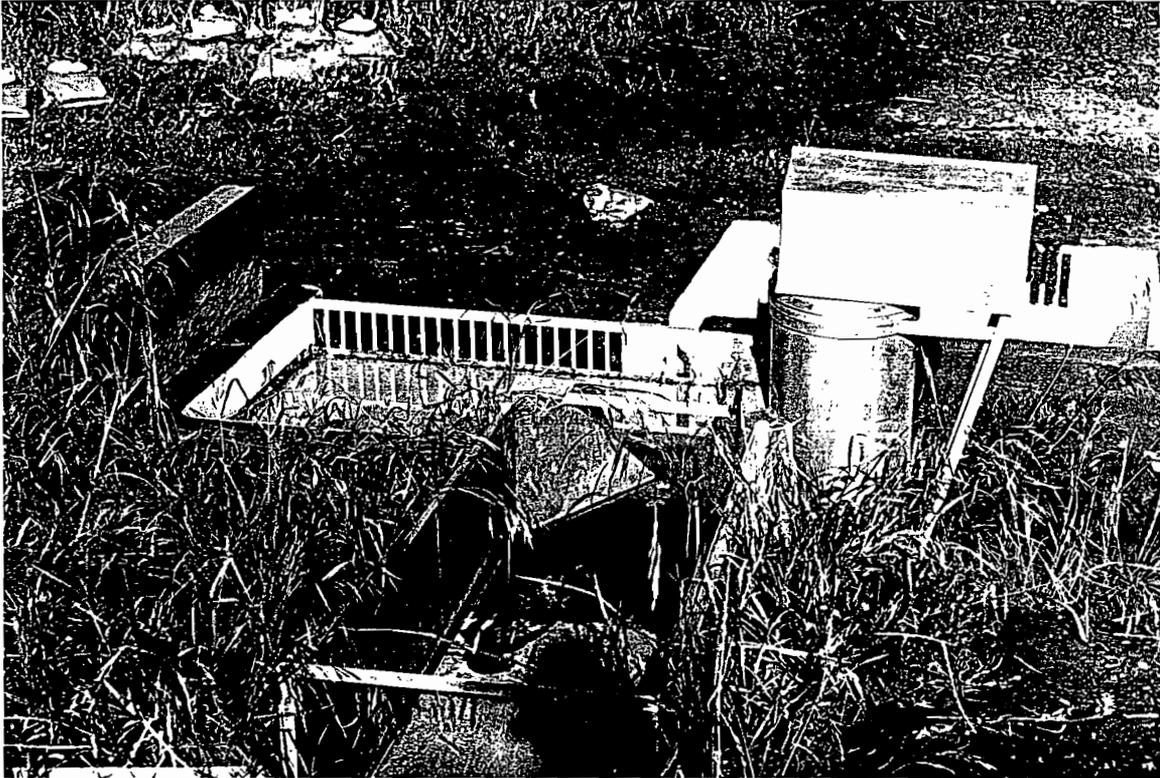


Photo N° 2: vue d'un répartiteur.

2.2.1.3. Caractéristiques physico-chimiques des parcelles de tepetate t 3

Tableau N° 2 : caractéristiques physico-chimiques de 70 échantillons du tepetate t3 du site (après terrassement).

(Prat C. 1994)

prof cm	pH eau	CaCO ₃ %	Bases échangeables					CEC me	C.A. %	CE mmhos	C	N	Pass.	Fe	Cu	Zn	Mn
			K	Na	Ca	Mg	Σ										
-----mep/100g-----																	
-----%-----ppm-----																	
Tepetate t 3																	
0-20	7.5	6.0	1.1	16,3	6,6	24,4	23,8		0,46	0,10	0,04	1,2	5	0,6	2	8	
20-40	7.7	1.6	1.6	14,9	6,5	23,0	24,8		0,26	0,14	0,02	0,9	7	0,7	2	6	
40-60	7.7	1.4	1.4	15,3	6,3	23,0	24,4		0,16	0,16	0,02	0,6	7	0,9	2	7	
>60	7.7	1.4	1.4	14,7	6,2	22,3	29,0		0,22	0,17	0,02	0,1	8	0,8	2	7	
Sol (au dessus de t 3)																	
0-20	7.1	5.0	0.8	11.2	5.2	17.2	17.9		0.19	0.45	0.03	0.6	7	0.8	2	14	
20-40	7.3	5.0	0.7	11.3	4.8	16.8	17.0		0.16	0.36	0.03	t	7	0.8	2	13	

t: traces

pH (1:2H₂O); bases interchangeables (CH₃COONa); C.E.C.: Capacité d'Echange Cationique; C.A.: Complexe Absorbant; C.E.: Conductivité Electrique.

Il n'y a pas de grandes variations en fonction de la profondeur considérée, cela montre une certaine homogénéisation de la composition du tepetate, obtenue par le terrassement.

Le pH montre que le milieu est peu acide, Nous retrouvons un taux de calcium important, et la capacité d'échange cationique est moyennement importante. Le taux de saturation (obtenu par le rapport de la somme des bases sur la capacité d'échange cationique rapporté à 100g) suppose que le sol n'est pas saturé. D'autre part le taux de carbone est pratiquement nul tout comme celui de l'azote. Les caractères physico-chimiques du sol diffèrent de celle du tepetate principalement par ça capacité d'échange cationique plus faible, une teneur en CaCO₃ et C plus élevée en surface et en profondeur du profil.

2.3. MATERIELS ET METHODOLOGIE

2.3.1. Méthodologie du programme global

2.3.1.1. Le ruissellement

A l'exutoire de chaque parcelle, ont été construits des bacs récepteurs ou partiteurs (Photo N°2), dont les caractéristiques sont les suivantes: le premier d'une capacité de 800 l reçoit l'eau de ruissellement directement, d'un déversoir calibré et relié à un limnigraphe; le second d'une capacité de 800 l reçoit 1/10 de l'eau en excès du premier; puis un troisième bac permet à de récupérer 1/20 de l'excès du second.

Le limnigraphe à rotation journalière, dont l'échelle est 1/1 permet d'enregistrer le volume ruisselé, et par digitalisation des courbes recueillies, nous obtenons la vitesse de ruissellement et les caractéristiques de l'événement pluvieux qui a entraîné ce ruissellement.

2.3.1.2. L'érosion

La mesure de l'érosion consiste à mesurer le volume d'eau ruisselé et le poids de matière sèche entraîné. Pour cela, lorsque les cuves sont remplies, la hauteur d'eau est notée, deux échantillons d'eau sont prélevés (le premier avant agitation, le second après agitation). Un agent coagulant (sulfate d'aluminium) permettant de précipiter la matière organique est ensuite versé, après un temps de sédimentation (plus ou moins deux heures), l'eau en surface est évacuée, les sédiments sont ensuite recueillis dans des sacs en plastique et transportés jusqu'au laboratoire.

Au laboratoire, les sédiments sont séchés grossièrement puis déshydratés dans une étuve à 105°C pendant 24h, puis pesés.

Ce suivi est effectué après chaque pluies, du début de la saison des pluies jusqu'à la fin, et chaque jour. Ainsi nous obtenons précisément la quantité de matière sèche exportée par parcelle.

2.3.1.3. La pluviométrie

En plus des mesures de l'érosion et du ruissellement un suivi quotidien de la pluviométrie sur le site est effectué. Trois pluviomètres ont été installés sur le site (voir plan des parcelles et des installations en annexes) le premier en haut, le second au centre, et le troisième en bas du site, donnent une mesure précise du volume des précipitations. Un limnigraphe d'enregistrement journalier situé en bas du site permet d'obtenir une analyse fine des caractéristiques des pluies. Les pluviogrammes sont digitalisés et traités par le logiciel pluviom de l'ORSTOM.

2.3.2. Méthodologie de l'étude

2.3.2.1. Les états de surface sur tepetates

En référence aux travaux de Jérôme G. et de Janeau J L., (1992) la mesure de l'évolution du micro relief, du diamètre d'agrégats libres, et du diamètre minimum sur les tepetates, a permis de démontrer un schéma général de dégradabilité des structures superficielles du tepetate t 3, et du sol éolico-coluvial. Les deux matériaux étant cultivés et soumis aux pluies naturelles.

Les résultats confirment que les principaux facteurs de la formation d'une croûte structurale sont la désagrégation des particules sous l'action de la pluie, leur déplacement et leur dépôt sans organisation particulière, ce qui génère une fermeture progressive des pores de la surface. La croûte ainsi formée possède une rugosité particulière due à l'émergence des agrégats qui n'ont pas fondus totalement. La forte cohésion structurale du tepetate explique la fonte plus lente des agrégats et un développement moindre de la croûte superficielle en comparaison au sol éolico-coluvial. Le rapprochement en surface de l'horizon non préparé, associé à une diminution du micro relief implique une baisse de l'infiltration et cela de façon plus prononcée sur le sol éolico-coluvial.

Globalement, le schéma de l'évolution superficielle des deux matériaux se résume ainsi:

- 1- formation d'une croûte structurale
- 2- fermeture progressive de la porosité superficielle
- 3- baisse de l'infiltration
- 4- accumulation de l'eau dans les inter billons
- 5- formation d'une croûte de décantation
- 6- forte détérioration des conditions d'infiltration et d'aération dans les inter billons
- 7- détérioration des conditions favorables pour les cultures

2.3.2.2. Problématique

L'objectif du travail est, à partir du suivi de l'évolution des différentes structures superficielles, de comprendre les mécanismes et les situations agissant sur la dynamique de formation de ces organisations.

Nous devons prendre en compte que l'agent principal de destruction du sol est l'eau, les facteurs qui conditionnent cette érosion sont d'ordre:

climatique: les pluies et ses caractéristiques.

pédologique: type de sol et nature des structures superficielles

géomorphologique: longueur et inclinaison de pente

agronomique: type de travail du sol, et type de couvert végétal

Nous avons choisi pour cela deux niveaux de réflexions, le premier consiste à interpréter des observations sur le comportement global des parcelles, comme la formation des griffes d'érosion, la stabilité structurale des agrégats, le comportement d'agrégats isolés du sol. Le deuxième niveau est constitué d'analyses de mesures impliquées directement dans la réorganisation superficielle, et caractérisant les différences entre parcelles: diamètre minimum, fonte des agrégats, exportation de matière, et pourcentage de recouvrement de différentes organisations. Ces résultats nous permettront de caractériser le comportement de chacune des parcelles.

La première phase dans le processus de ruissellement à l'échelle d'une parcelle est la formation d'une croûte de battance plus ou moins perméable à la pluie. Cette croûte est elle même le résultat d'un détachement de particules solides, de leur déplacement vers les zones basses du micro relief, et enfin de leur compactage (Boiffin J., 1984).

Le déplacement des particules suit un processus complexe, où se conjugue l'effet splash, la dessiccation et l'humectation des agrégats. Pour des caractéristiques pluviométriques égales, la détachabilité de ces matériaux dépend de leur nature et du milieu dont ils font partie.

Aussi, notre étude portera principalement sur la comparaison des différentes situations rencontrées sur le tepetate cultivé de la série t3, susceptibles d'influencer ou non la dynamique de formation de ces croûtes. La parcelle de sol éolico-coluvial, nous apporteront un élément de comparaison.

2.3.2.3. Méthodologie

Compte tenu de notre objectif, il est nécessaire de se placer à l'échelle des structures du micro relief. Mais, afin de comparer, de quantifier, et d'analyser les interactions de ces éléments, il nous a paru judicieux d'inclure ces observations dans un cadre plus vaste, afin d'avoir une vision plus complète. L'outil point quadrat que nous utilisons pour la mesure des différents paramètres de la surface du sol (rugosité et nature des organisations) est délimité par un cadre de 110 sur 180 cm, nous l'utiliserons ainsi comme notre unité d'observation adaptable à chacune des parcelles.

Les réorganisations pelliculaires superficielles, de même que l'érosion hydrique, correspondent à un bouleversement de la structure initiale de la surface du sol. Ces structures initiales (suite à un remaniement anthropique ou animal de la surface) sont les agrégats. Leur évolution et leur disparition font apparaître d'autres structures superficielles qui, dans un ordre chronologique se rangent les unes en fonction des autres, jusqu'à obtenir différentes croûtes plus ou moins perméables à la pluie.

Les techniques d'analyse des organisations superficielles sont les mêmes que pour l'étude des sols; et varient en fonction de l'échelle (de quelques mm à quelques cm). Le point quadrat permet d'observer un état de surface sur 198 cm². Ce terme désigne les principales caractéristiques de la surface du sol au sens le plus large. Il regroupe deux composantes:

- **le couvert végétal** (ici nous observerons les végétaux suivant: maïs, haricot, fève, vesce, orge, mais aussi les résidus végétaux, et la matière organique).

- **les organisations pédologiques superficielles**, qui regroupent plusieurs ensembles d'unités d'organisations et qui seront décrites selon les références données par Casenave A. et Valentin C. (1989).

Nous retiendrons celles que nous avons rencontrées.

les micro horizons: ce terme regroupe les différents micro horizons de référence, dont l'agencement permettra de définir l'organisation des croûtes. Il s'agit généralement d'une organisation laminaire, plus ou moins horizontale, dont l'épaisseur est inférieure au dixième de millimètre. Lorsqu'elle est constituée surtout d'argile et de limons, elle est souvent désignée par le terme de pellicule plasmique.

Les micro horizons plasmiques à structure fragmentaire: les agrégats issus d'une surface qui vient d'être travaillée et n'a pas encore subi l'effet des pluies.

Les micro horizons plasmiques à structure fragmentaire altérée: la pellicule structurale présente une assez forte rugosité due à la présence d'anciens agrégats plus ou moins fondus en son sein. Ce type de micro horizon se différencie, par exemple sur les champs, au cours des pluies.

Les micro horizons sableux: c'est le degré de tri granulométrique qui est le critère de détermination. On distingue les structures continues souvent épaisses de quelques millimètres et prises dans la masse, et les structures continues fines, constituées de plusieurs feuillets.

Cet inventaire de l'ensemble des micro horizons rencontrés sur nos parcelles d'études permet maintenant d'identifier par leur combinaison les croûtes de surface que nous avons rencontré. Nous utiliserons l'inventaire fait par Casenave A. et Valentin C. (1989).

La croûte structurale ST1: formée d'une pellicule structurale qui se distingue de la croûte d'érosion par sa forte rugosité. Cette rugosité est due à la présence d'anciens agrégats. Généralement assez épaisse, elle correspond à un stade de réorganisation des sols travaillés. Elle ferme alors la porosité superficielle et contraste avec l'horizon sous jacent où se maintient une forte macro porosité. Elle peut se maintenir assez longtemps sur les haut billons avant de se transformer en croûte d'érosion.

La croûte d'érosion: ERO. Constituée d'un seul micro horizon, elle est recouverte d'une pellicule plasmique, souvent très peu épaisse. Elle correspond, selon la profondeur de l'horizon atteint par le décapage et le nombre d'événements pluvieux, à l'érosion de la croûte structurale ST1.

La croûte de ruissellement: RUI. Elle se compose de micro horizons sableux peu triés qui alternent avec de minces pellicules plasmiques. Elles présentent fréquemment, une forte porosité vésiculaire et leur épaisseur peut atteindre plusieurs centimètres en inter billons sur faible pente.

La croûte de décantation: DEC. C'est le micro horizon superficiel qui permet d'identifier aisément les croûtes de décantation. Il est fragmentaire à l'état sec, en polygones et squams. Le tri granulométrique qui préside à la formation de ce type de croûte est conforme à la sédimentation: les éléments grossiers se retrouvent à la base et les éléments les plus fins au sommet.

En plus de ces croûtes de surface, nous utiliserons pour notre étude les termes suivants, qui décrivent des unités structurales intervenant directement et indirectement dans les processus de formations des micro horizons.

- les micro agrégats: les micro agrégats sont les fragments d'agrégats compris entre 2 et 5mm.
- les agrégats libres: ce sont les agrégats non incorporés à la croûte.
- les agrégats incorporés: ceux-ci sont incorporés à la croûte mais sont encore individualisés.

Nous utiliserons des termes courants pour les éléments de la surface, comme par exemple les flaques, les fissures, les sables (fin, blanc gris), et ils seront utilisés au cours de nos observations pour toutes les parcelles du site retenues pour nos mesures. Le choix de ces parcelles a été effectué en fonction des itinéraires techniques qui leurs sont appliqués.

2.3.3. Caractéristiques des parcelles pour l'année 1994

2.3.3.1. Différenciation des parcelles

Suite aux études agronomiques effectuées par Hermilio N. et Zebrowski C. (1991), sur les parcelles de tepetates t 3, il a été mis en évidence que: "la production de maïs en relation avec l'âge du tepetate est basse la première année, et s'améliore ensuite [...]. La mauvaise production est due plus à des facteurs limitant physiques, que nutritionnels, cette dernière pouvant être corrigée dès la première année alors que les caractères physiques se modifient peu à peu avec le temps. [...] la production de blé la première année est meilleure que celle du maïs, ce qui explique la décision des agriculteurs de commencer la récupération des tepetates par la culture de blé.

L'année précédente (1993) de l'orge a été planté en association avec de la vesce sur l'ensemble des parcelles, aussi il fut choisi cette année de planter différentes associations de cultures (maïs, vesce, fève, haricot ou maïs seul).

Tableau N° 3: caractéristiques des parcelles du site (Prat .,1994).

Objectifs	N°	Surface m ²	Substrat	Cultures 1994	Fumier sec (t/ha)	Profondeur de la "rotation" effective	Pente %	Cultures 1993	Fumier sec t/ha
Tepetate nu, non travaillé	T 0	1 800	Tepetate	Aucune	0	Aucun	< 5	-	Sans
Effet de la profondeur du défonçage	T 2	470	Tepetate "roturé"	Maïs + haricot + fève	0	0,7 m	3,5	Orge+ Vesce	0
Référence a un système de culture	T 3	772	Idem	Maïs	0	0,4 m	< 5	Orge	0
Epandage de matière organique	T 4	730	Idem	Maïs + haricot + fève	7t/ha 1994	0,4 m	3,5	Orge+ Vesce	13,6 t/ha
Effet de la préparation de la terrasse	T 5	792	Idem	Maïs + haricot + fève	0	0,4 m	1	Orge+ Vesce	0
Référence a un système de culture	T 6	1 150	Idem	Maïs + haricot + fève	0	0,4 m	8	Orge+ Vesce	0
Référence sol	T 7	700	Idem	Maïs + haricot + fève	0	Aucune	8	Orge+ Vesce	Sans

2.3.3.2. Caractéristiques des travaux pour l'année 1994

- **Le premier nettoyage:** celui-ci se fait à l'aide de machette.

- **Le labour:** passage successif d'une charrue à disque sur 25 cm de profondeur, d'une charrue à dents pour le traçage des billons (hauteur: 20 cm, distance inter billon: 80 cm). Ces travaux se font à l'aide d'un tracteur.

Tableau N° 4: calendrier des travaux agricoles.

Date	Travaux
26/04/94	Nettoyage manuel
11-12/04/94	Labour
7-8/06/94	Semis
7-8/06/94	Première fertilisation
25-26/07/94	Premier apport MO (T 4)
2-3/08/94	Premier sarclage
4-5/08/94	Désherbage manuel
12-13/08/94	Deuxième fertilisation
15-16/08/94	Deuxième apport MO (T 4)
16/08/94	Deuxième sarclage

- **Le semis:** dans l'inter billon de toute les parcelles à l'exception de la T 0 et la T 3, à une profondeur de 5 cm, sont enfouis 3graines en poquets, respectivement de maïs, de haricot, et de fève, tous les 33cm, soit une densité de semis de 60000 graines à l'hectare. Pour la parcelle T 3, seules 4 graines de maïs sont enfouies.

- **Première fertilisation:** la première fertilisation minérale se fait à la main, après le semis. Toutes les parcelles reçoivent cette fertilisation sauf la parcelle de tepetate nu (T 0), et la parcelle T 4, à qui est affecté un autre

itinéraire technique. Pour l'azote l'apport se fait en deux fois (après le semis, et après le désherbage) en sulfate d'ammonium à raison de 146 kg/ha pour la première distribution, à 20,5%, ce qui représente une fertilisation en azote de 30 kg/ha. Pour le phosphore, l'apport se fait en une seule fois après le semis, avec un superphosphate triple à 46%, à raison de 130 kg/ha; ce qui correspond à une fertilisation en phosphore de 60 kg/ha.

- **Premier apport de matière organique pour le T 4:** la parcelle N° 4 est une référence quant à sa technique culturale, un épandage en fumure organique est effectué en deux fois (après le semis, et

après le désherbage), à raison de 3,5 t/ha de matière sèche, à chaque fois afin d'assurer une répartition homogène du fumier. L'épandage se fait à la main, par sacs de 4 kg pour chaque 5 m linéaire de billon.

- **Premier sarclage:** le premier sarclage se fait tout d'abord, par le passage d'une araire, attelée à une mule, qui permet d'ouvrir l'inter billon; puis le passage d'un soc plus large permet de déverser les mottes au pied des plants. Ce premier sarclage entraîne une légère inversion des billons. Le sarclage a lieu sur toutes les parcelles.

- **Désherbage manuel:** le désherbage se fait à l'aide d'une houe (ce qui permet aussi d'améliorer le premier sarclage, en ramenant les agrégats vers le pied des plants). On retrouve beaucoup de vesce, provenant de l'année précédente, utilisée comme engrais vert, aussi une fois arrachée elle est laissée sur place, et est enfouie.

- **Deuxième fertilisation:** la deuxième fertilisation termine l'apport en azote, et correspond à une distribution de 195 kg/ha de sulfate d'ammonium à 20,5%, ce qui revient à un apport de 40 kg/ha d'azote. Le total pour le cycle est de 70 kg/ha d'azote. La fertilisation se fait par une distribution à la main, et un tassement au pied permet de limiter une perte du fertilisant par ruissellement, en cas de pluie brutale.

- **Deuxième apport de matière organique pour le T 4:** la parcelle reçoit à nouveau 730 kg de fumier. L'apport total est alors égal à 7 t/ha de matière sèche.

- **Deuxième sarclage:** Ce deuxième sarclage inverse définitivement les billons, il est effectué par le passage d'un soc large, il est rendu difficile par la hauteur des plantes (jusqu'à 80 cm), et par les restes du désherbage à demi enfoui. Il entraîne alors localement l'enfouissement des plants de haricots.

La fertilisation minérale, le désherbage ainsi que le deuxième sarclage ont été effectués sur deux journées, or entre le travail superficiel d'une parcelle, et avant le travail des parcelles restantes, il peut pleuvoir. Il est donc difficile de comparer les parcelles ayant des périodes, débutant par un état initial commun. Nous devons donc apprécier les transformations qui s'opèrent en surface, individuellement pour chaque parcelle.

2.3.3.3. Définition des périodes

Chacun de ces travaux a entraîné un remaniement de la surface du sol et par conséquent le retour à un état plus ou moins fragmentaire des structures du micro relief. Aussi, nous avons été obligés de définir des périodes d'analyses avant et après chacun des travaux culturels.

Pour les parcelles T 3, T 6, et T 7 les périodes sont les suivantes:

- Première période: de la 1ère fertilisation au premier sarclage.
- Deuxième période: du premier sarclage au désherbage.
- Troisième période: du désherbage à la 2ème fertilisation.
- Quatrième période: du 2ème sarclage à la fin de notre étude (qui se termine un peu avant la fin de la période des pluies).

Pour la parcelle T 4 qui reçoit un épandage de matière organique les périodes sont les suivantes:

- Première période: du semis au premier épandage de matière organique.
- Deuxième période: du premier épandage de matière organique au premier sarclage.
- Troisième période: du désherbage au 2ème épandage de matière organique.
- Quatrième et dernière période: du 2ème sarclage à la fin de l'étude.

La parcelle T 0 étant un tepetate nu; elle n'est pas travaillée et n'est pas concernée par ces périodes. D'autre part, le stage a débuté quelques semaines après le semis, le suivi des réorganisations superficielles et de ses conséquences après le semis ne fut pas possible.

2.3.4. Description des Méthodes de l'étude

Les mesures effectuées ne portent que sur les parcelles n° 0, 3, 4, 6, et 7. La parcelle T 0 sert de référence dans son comportement hydrodynamique superficiel, car elle est la parcelle de tepetate d'origine non travaillée. Les parcelles T 3, T 4, T 6, possèdent des caractéristiques distinctes qui nous serviront à l'interprétation des résultats. Enfin, la parcelle T 7, qui n'est pas constituée de tepetate est un élément de comparaison pour l'appréciation du ruissellement et de l'érosion.

Le tableau N° 5 permet de mettre en évidence les caractéristiques des parcelles que nous avons retenu pour chacune de nos mesures et observations, que nous décrirons en détail plus loin.

Tableau N° 5: caractéristiques des parcelles étudiées.

Parcelle	Pente		Intrants		Cultures			Matrice	
	5 %	10 %	Matière organique	Chimique	Maïs	Haricot	Fève	Tepetates (t3)	Sol
T 7	X			X	X	X	X		X
T 6		X		X	X	X	X	X	
T 4	X		X		X	X	X	X	
T 3	X			X	X			X	
T 0		X						X	

Il s'est avéré que la parcelle T 0 ne nous a pas servi de référence quant à son comportement, aucun lien dans la dynamique de ces réorganisations superficielles avec les parcelles de tepetates cultivées n'a été retenu. Cette parcelle ne comporte effectivement aucun agrégat, et les produits de son érosion péliculaire sont des sables.

2.3.4.1. Les observations

- Les observations effectuées tout au long de la période d'étude consistent à décrire les différents états de la surface. Ce que nous étudions est le dynamisme de formation de ces organisations, au cours du temps, et d'une parcelle à une autre. Aussi, nous utiliserons des unités spatiales communes aux parcelles, HB: haut billon, IB: inter billon, VB: versant billon. En plus de ces structures, nous apprécierons l'importance et l'agencement des micro horizons, du couvert

végétal, des flaques, et des événements pluviométriques les plus importants, sous forme de tableau chronologique. Pour simplifier nos observations nous nommerons les parcelles de tepetates T en leur assignant un numéro correspondant à leur emplacement sur la pente (voir annexe N° 1: plan des parcelles), la parcelles de sol éolico-coluvial sera nommé Sol.

- La stabilité structurale des agrégats: nous avons immergé dans l'eau des agrégats d'un diamètre compris entre 5 et 10 cm (représentant la taille moyenne des agrégats rencontrés) provenant du haut billon et de l'inter billon de chacune des parcelles étudiées, et nous avons noté le temps de désagrégation de ces agrégats. Cette opération a été effectuée trois fois avec des agrégats différents dans la même journée; les conditions extérieures et antérieures sont donc les mêmes pour chaque agrégat. Nous comparerons les vitesses de désagrégation en tentant d'apprécier les caractéristiques des parcelles qui conditionnent le comportement des agrégats. Les agrégats prélevés sont constitués de bloc de tepetates et non d'un compactage de particules.

- La désagrégation de gros agrégats isolés du sol: nous avons isolé des agrégats de chaque parcelle, en les plaçant sur une surface neutre (plaque de plastique) ces derniers soumis aux événement pluvieux se sont désagrégés. Ainsi nous avons pu observer quel est l'apport en éléments solides des agrégats à la formation de la croûte par les pluies naturelles, sans chercher à quantifier ni comparer leur comportement.

- L'évolution de quelques griffes d'érosion représentatives sur chaque parcelle: nous avons mesuré l'évolution de quelques griffes d'érosion sur les parcelles étudiées, les mesures ont été faites la même journée, et donc après les même événements pluviométriques. Le but étant la comparaison entre parcelles de l'aptitude à la formation des griffes d'érosion, par une analyse de la variance des moyennes des vitesses de formation de celle ci.

2.3.4.2. Les mesures

+ Mesure de l'humidité superficielle

La mesure de l'humidité superficielle a été réalisée par méthode gravimétrique, celle-ci consiste à prélever sur une profondeur de 0-10 cm des échantillons de sol dans des récipients d'aluminium, à les peser juste après leur prélèvement pour éviter toute perte d'humidité. Puis après un passage durant 24 heures dans une étuve à 105 C, nouvelle pesée pour déterminer leur poids sec. L'humidité relative est alors calculée suivant la formule suivante:

$$H\% = (100 \times \text{poids à l'état hydraté} - \text{poids à l'état sec}) / \text{poids à l'état sec}$$

Les mesures de l'humidité relative ont été faites sur chacune des parcelles, en même temps. Le peu de mesures ne nous permet pas d'apprécier correctement les variations de l'humidité superficielle avec les événements pluviométriques; nous pourrions par contre les comparer entre parcelles.

+ Le diamètre minimum

Sur le site du point quadrat, nous avons réalisé une estimation en pourcentage de la surface occupée par les plus petits agrégats non incorporés à la croûte. Cette mesure nécessite une appréciation homogène à chaque fois, car l'échelle de classement par diamètre est très petite: <0,1cm, 0,1-0,2 cm; 0,2-0,5 cm; 0,5-1 cm; 1-2 cm; 2-5 cm et > 5 cm.

Il convient de remarquer que l'estimation visuelle de l'échelle et de l'appréciation des pourcentages des micro agrégats sur la surface n'est pas rigoureuse à cause de leur petit diamètre et de la grande surface considérée (1.98 m²). Aussi, ces estimations peuvent être regroupées en trois unités de grandeur, 0.1-0.5 cm, 0.5-2 cm et plus. Puis nous procéderons à une analyse de variance des moyennes entre les différentes classes d'agrégats rencontrées sur chacune des parcelles.

+ La fonte des agrégats

Cette méthode consiste à suivre l'évolution du diamètre d'une dizaine d'agrégats appartenant à la surface du point quadrat, entre le début et la fin de chaque période. La mesure se termine à partir de l'instant où l'agrégat est inclu à la croûte ou bien s'est désagrégé en se fissurant ou encore parce qu'il a fondu. Aussi, nous noterons toutes ces remarques concernant l'aspect des agrégats.

Il s'est avéré que l'inclusion de l'agrégat n'est pas toujours nette, en effet certains diamètres ont augmenté à cause, d'une forte imbibition en eau qui gonfle l'agrégat, mais aussi de l'accumulation des particules sur sa surface. Les critères de choix furent l'importance de la dissociation de l'agrégat au sol, car nous cherchons à mesurer sa fonte jusqu'à son intégration à la croûte. Nous devons remarquer que respectivement pour chacune des périodes et pour chaque parcelle,

- le diamètre initial des agrégats présente une variabilité,
- la vitesse de fonte des agrégats est différente,
- le comportement des agrégats diffère, et nous pouvons observer une fonte peu importante, ou une fonte totale jusqu'à son intégration.

En ce qui concerne l'étude de l'influence du diamètre des agrégats sur leur fonte, nous avons déterminé la fonte moyenne de deux classes d'agrégats, définie en fonction de la moyenne du diamètre initial. Ainsi, nous obtenons des agrégats dont le diamètre est supérieur et d'autre inférieur à une certaine valeur seuil et ce pour chaque parcelle à l'époque la plus critique (après les sarclages).

2.3.4.3. Les mesures du point quadrat

Le point quadrat (figure N° 3) est constitué d'un cadre métallique (2, et 3) dont les dimensions sont les suivantes: 90 cm de hauteur, 180 cm de longueur, et 110 de largeur. Sur sa largeur se déplacent tous les 10 cm, deux règles solidaires (4) à un tableau de bois (6) gradué verticalement. Sur ce tableau coulissent verticalement 18 aiguilles (5) qui, par translation verticale, reportent la hauteur du sol. Le cadre est amovible, et se fixe au sol sur des pieds fixes (1) installés horizontalement sur les parcelles.

Aussi, nous obtenons 198 points correspondant à un quadrillage du sol de 10 cm sur 10 cm, pour une surface de 1,98 m². Les aiguilles reportant la hauteur du sol, nous avons donc après lecture, une représentation de la surface en trois dimensions. Chaque point étant normalement fixe au cours du temps, nous pouvons suivre l'évolution de leur hauteur et de leur nature.

Il s'est produit pour deux sites de mesures, un enfoncement des pieds de quelques centimètres ce qui nous a fait perdre l'horizontalité. Une correction a donc dû être apportée pour deux série de mesures.

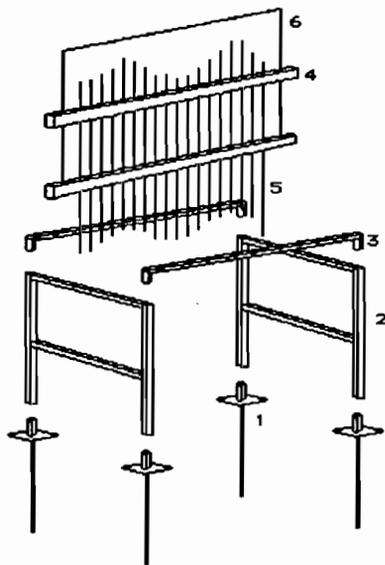


Figure N° 3: plan du point quadrat.

+ Mesure du relief

Aux 198 points obtenus nous affectons une hauteur. Le point quadrat est installé perpendiculairement aux billons de la parcelle, et inclut deux billons, et deux inter billons. Grâce à une représentation de la surface en trois dimensions nous obtenons une moyenne des hauteurs qui varient entre chaque mesure. La cause de cette variation est l'exportation ou l'accumulation de matière que nous cherchons à quantifier. Nous analyserons la variance des moyennes des pertes de matière entre chaque parcelle, ainsi nous pourrons mettre en évidence si il existe une influence des techniques culturales sur leur ruissellement. Puis nous analyserons les corrélations possibles avec la structure du micro relief, et afin de connaître quelles sont les organisations qui favorisent ou non le départ de la matière.

+ Quantification des différentes organisations

L'autre mesure que nous effectuons grâce au point quadrat est la quantification des structures du micro relief. Chaque aiguille rencontre un point particulier au sol, (croûte d'érosion, croûte de ruissellement, agrégats incorporés, micro agrégats, agrégats libres, flaques, ...), mais aussi une surface végétale (maïs, haricot, fève, vesce). Du remaniement superficiel jusqu'à la fermeture de la porosité, nous obtenons à chaque mesure des pourcentages de ces micro organisations pelliculaires, et d'éléments correspondants à un état transitoire. Nous devons donc comparer les mécanismes de fermeture de la surface dans une dynamique qui a pour agent moteur la pluie. La pluie étant considérée comme homogène sur l'ensemble du site d'étude, nous ne pourrions accuser ses caractéristiques d'être la source des différences entre parcelles. Par contre les caractéristiques parcellaires influent directement sur les vitesses de formation: de la première croûte d'érosion, de la disparition des agrégats, de l'apparition de sable grossier et d'une croûte de ruissellement. Aussi, nous quantifierons ces éléments par comptages et calculs des pourcentages de couverture, puis, nous les confronterons à la parcelle et ses caractéristiques.

Résultats

3.1. Caractéristiques pluviométriques

3.1.1 Répartition des pluies sur les périodes d'étude

Figure N° 4: répartition des pluies sur l'année 1994.

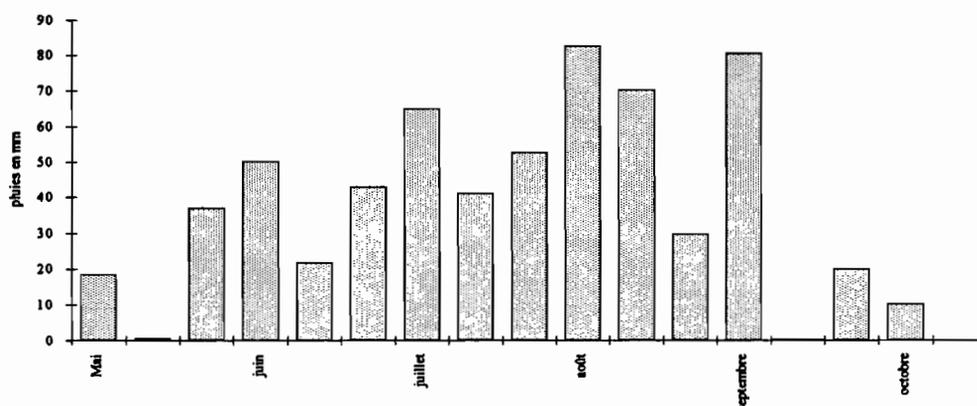
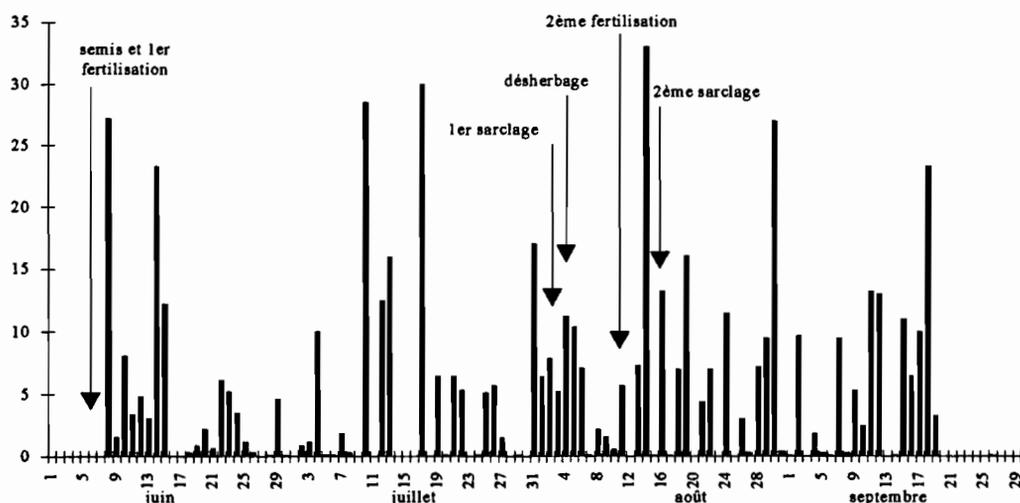


Figure N° 5: pluviométrie journalière, et positionnement des travaux agricoles.



Ce que nous appelons périodes d'étude sont les temps passés entre deux remaniements de la surface, et entre lesquelles nous avons effectué nos mesures. Chaque remaniement entraîne un retour à un état fragmentaire des structures du micro relief. Aussi, en plus des travaux agricoles qui déterminent ces périodes, nous devons prendre en compte les caractéristiques pluviométriques pour chacune des périodes. Ces dernières sont les agents principaux d'érosion commune aux parcelles; et leurs caractéristiques connues, nous étudierons leurs effets respectifs (figure N° 4).

Nous pouvons remarquer que la pluviométrie se répartit avec un maximum au mois d'août, une petite saison moins pluvieuse se retrouve au début du mois de septembre, à partir du mois d'octobre la pluviométrie baisse (figure N° 5).

3.2. Les observations

3.2.1. Observations visuelles de la formation des croûtes

Les observations ainsi que les mesures commencent le 27/06, trois semaines après le semis et le lendemain de l'apport de matière organique pour la parcelle 4. Elles ont été faites lors de nos mesures, sans rythme particulier.

3.2.1.1. Evolution de la surface

Nos interprétations commenceront suite à un bouleversement de la surface, pour ainsi définir un état initial. Ces remaniements sont: le labour, le premier sarclage, le désherbage, le deuxième sarclage. Nos mesures ont commencé après le labour, le semis et les premières pluies. Aussi, nous nous intéresserons au premier sarclage qui définit la deuxième période, et les mesures effectuées avant nous permettront d'apprécier qualitativement les différentes croûtes formées. Il faut rappeler qu'au début de notre période de mesure (fin juin) la surface des parcelles est nue avec un recouvrement végétal de 2 à 5%. De ce fait les premières pluies ont formé rapidement la première croûte structurale. Nous discernons les parcelles de tepetate de la série t 3, et la parcelle de sol éolico coluvial.

Après le premier sarclage du 3/08, la surface possède une grande rugosité. Le travail du sol a retourné, cassé, soulevé la couche superficielle des billons, et la terre est redistribuée de part et d'autre du billon.

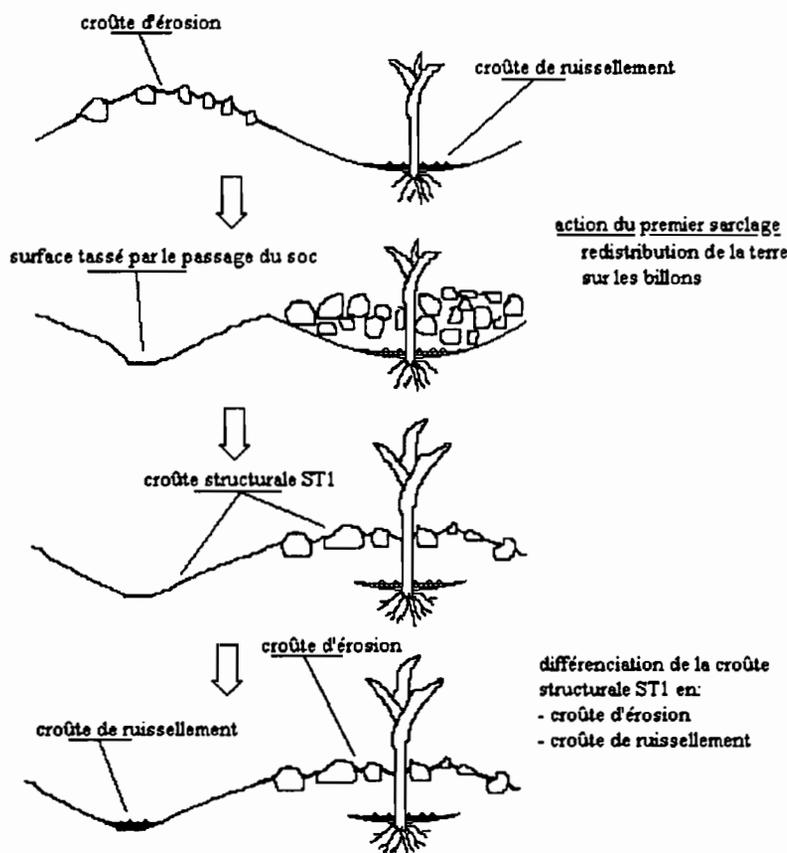


Figure N° 6: bilan de l'action du premier sarclage sur le micro relief.



Photo N° 3: surface remaniée après le premier sarclage sur la parcelle T 6.

Pour les parcelles de tepetate travaillé les éléments constituant la surface sont des agrégats de gros diamètre (15-20 cm), des agrégats plus petits (1-5 cm), des résidus végétaux provenant de l'engrais végétal cultivé en association l'année précédente (sauf pour T 3), des restes de l'ancienne croûte d'érosion (photo N° 3). Le passage du soc n'a pas rompu l'ancienne croûte de ruissellement (comme le montre la figure N° 6, il laisse sur son passage une surface coupée, raclée dans la masse de l'ancien billon à certains endroits. De façon générale la surface pour les parcelles de tepetate est homogène sans arrangement particulier des gros agrégats, on remarque facilement le passage du soc à certains endroits. Pour le sol (éolico coluvial) l'homogénéité de la surface est semblable, les agrégats sont de couleur grise, et nous remarquons de nombreux restes de l'ancienne croûte d'érosion.

Après les premières pluies, nous remarquons une "usure" des agrégats. Quelques uns se retrouvent soudés entre eux à leur base par une fine croûte structurale. Cette croûte est composée de petites particules de même nature que ceux composant les agrégats, et est de couleur beige claire lorsqu'elle est sèche. Elle recouvre les espaces inter agrégats sans les combler. Pour le sol une croûte de couleur grise a incorporé de nombreux agrégats. Ces derniers ont perdu leur rugosité de façon plus marquée que pour les parcelles de tepetates, et cela sur toute la surface de la parcelle.

A l'endroit de passage du soc ou inter billon, les agrégats sont incorporés à leur base dans une croûte semblable à celle observée plus haut, mais cette croûte est très discontinue. Nous remarquons parfois à l'aval de cette croûte une accumulation de petits agrégats (1 à 2 mm).

Le deuxième jour suivant le sarclage, les gros agrégats des parcelles de tepetates se distinguent toujours, ils sont totalement incorporés à la croûte structurale qui est de plus en plus épaisse, dure à l'état sec, et recouverte d'une fine pellicule. La croûte semble s'être tassée, et nous pouvons observer de nombreux pores vésiculaires à sa surface. Toutefois cette porosité ne s'introduit pas dans les macro pores inter agrégats sous la surface. Nous pouvons d'ailleurs observer en soulevant des agrégats, une structure grumeleuse très aérée et humide qui a l'aspect de la surface avant la précipitation.

Sur le versant des billons nous notons une rugosité moins importante. La couleur est plus foncée, et des agrégats de petite taille (< 5 mm) sont rassemblés en bas de la pente.

Dans les inter billons, nous observons une croûte de ruissellement qui a recouvert la précédente où se distinguent des agrégats grossiers pris dans la masse, et une couche de nombreux micro agrégats libres. Les horizons en dessous sont constitués de 1 à 2 feuillets selon les endroits et ne sont pas continus sur tout l'inter billon. Ils se distinguent de la croûte structurale par leur humidité plus importante, et par la présence de quelques micro agrégats libres sur leur surface. Les feuillets se différencient par leur couleur et leur texture, claire et granuleuse avec beaucoup de sable, marron clair et lisse avec des argiles et des limons, et enfin brune avec des argiles. Les agrégats sur sa surface semblent être rangés par granulométrie (les plus petits à la base, les plus gros au sommet).

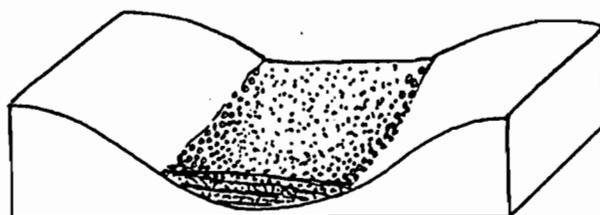


Figure N° 7: schéma d'une croûte de ruissellement

Pour le sol, la croûte structurale s'est étendue, épaissie, et a séché. Les agrégats sur les billons sont complètement incorporés à la croûte, et dans les inter billons nous distinguons des dépôts de fines particules recouvrant une croûte en feuillets.

Après quelques incluant de pluies d'intensité moyenne, nous observons sur les parcelles de tepetate une extension des croûtes structurales sur la totalité de la surface. Les agrégats se distinguent de moins en moins sur les hauts billons, et la croûte s'est épaissie et tassée. La croûte structurale s'est alors différenciée en croûte d'érosion. Celle de ruissellement s'est étendue et est toujours recouverte d'une couche importante de micro agrégats, elle est constituée de plusieurs micro horizons dont la limite est plus ou moins bien marquée. Certains de ces horizons sont très vésiculés et ont l'aspect d'une éponge, d'autres très grumeleux, sont constitués d'un rassemblement de micro agrégats sur une faible épaisseur. Le versant billon est constitué d'une extension de la croûte structurale, mais ne possède pas la rugosité de celle-ci.

Pour le sol, nous remarquons un aspect plus sec que pour le tepetate, les inter billons rassemblent des micro agrégats en petit nombre et triés. A quelques endroits, nous remarquons des auréoles entourées de micro agrégats, et dont le centre semble être très imperméable. Ces auréoles qui constituent une troisième croûte (ou croûte de décantation), sont formées de feuillets triés, le sommet étant constitué de fines particules; A la base nous retrouvons des micro horizons de particules moins fines. Nous remarquons parfois des fentes de dessiccation.

Avant le deuxième sarclage l'état de la surface est stationnaire, la croûte d'érosion s'épaissit et les agrégats qui se distinguent encore sont de couleur plus claire que la croûte.



Figure N° 8: schéma d'une croûte d'érosion

La croûte de ruissellement, recouvre de façon discontinue tous les inter billons, et les agrégats qui la recouvrent forment, vue de haut, des courbes successives. Elle se compose de plusieurs micro horizons comportant de nombreuses vésicules, et d'autre des micro agrégats. Nous remarquons cependant l'apparition de la croûte de décantation, qui se compose de petites surfaces en forme d'auréole dans quelques dépressions des inter billons. Cette croûte souvent humide est entourée d'une auréole de micro agrégats, et son centre est une pellicule lisse de décantation. Nous constatons que cette surface est constituée de plusieurs micro horizons qui semblent avoir été rangés par densité, en effet les éléments les plus fins se retrouvent à la surface et les éléments les plus grossiers en dessous. Nous remarquons aussi que pour le sol, cette croûte contient très souvent une flaque en son centre plusieurs heures après la fin des pluies.

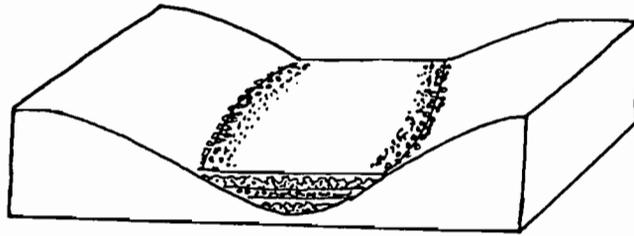


Figure N° 9: schéma d'une croûte de décantation

Le deuxième sarclage

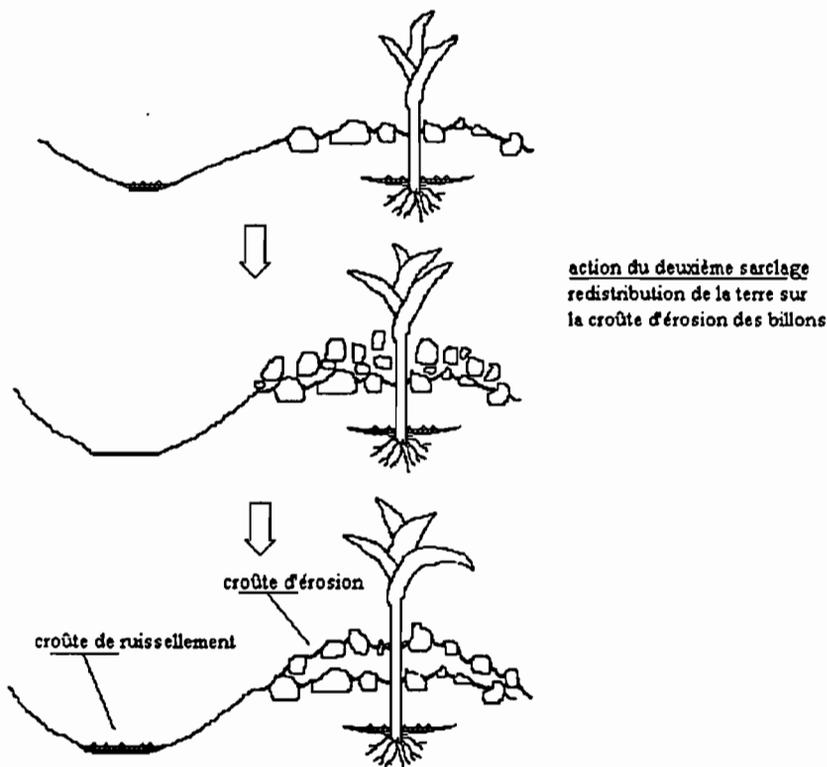


Figure N° 10: bilan de l'action du deuxième sarclage sur le micro relief

Les réorganisations superficielles après le deuxième sarclage se déroulent dans la même chronologie que lors du premier sarclage, la seule différence est un engorgement plus rapide des inter billons, surtout sur la parcelle T 6. Cet engorgement provient du fait que la semelle de labour se rapproche de la surface, et que les précédentes croûtes restées en place dans les inter billons freinent l'infiltration de l'eau. En effet, comme le montre la figure N° 10 l'ancienne croûte d'érosion est restée en place et le second sarclage la recouvre du matériau des inter billons. Cette dégradation de l'infiltration semble favoriser la formation de nombreuses griffes d'érosion surtout sur le bord est des parcelles.



Photo N° 4: vue d'une coupe d'une croûte d'érosion sur un billon de la parcelle T 4.

3.2.1.2. Interprétation

+ De la croûte structurale, à la croûte d'érosion

- définition

Le fait que la croûte structurale regroupe des éléments fins identiques à ceux observés sur le faciès de la surface initiale et que nous aboutissons à une surface totalement fermée évoque un comblement progressif de la porosité interstitielle par des éléments fins. Parallèlement, nous constatons une fonte des agrégats, et une diminution de la rugosité de surface, qui nous fait émettre l'hypothèse que la désagrégation progressive des agrégats libère des particules fines qui combles les espaces interstitiels. Cette croûte se caractérise par une rugosité particulière du fait de l'émergence d'agrégats, elle possède une porosité faible sous forme de petites vésicules, elle recouvre en début de période des agrégats très différenciés les uns des autres par une importante macro porosité inter agrégats qui caractérisait la surface initiale.

Les caractéristiques physiques de cette croûte correspondent aux descriptions faites par Casenave A. et Valentin C. (1989) de la croûte structurale ST1: "La croûte ST1 est formée d'une pellicule structurale présentant une forte rugosité, due à la présence d'anciens agrégats ou mottes, partiellement fondus au sein de la croûte. Généralement assez épaisse, elle ferme la porosité superficielle, contrastant ainsi avec l'horizon travaillé sous-jacent où peut se maintenir une forte macro porosité".

La formation de cette croûte structurale est le résultat d'une suite de processus érosifs au niveau des agrégats. Nous observons dans un premier temps un détachement de particules, puis leur déplacement, leur dépôt et leur compactage. Mais, une fois formée, cette croûte structurale subit les effets érosifs de la pluie tout en participant à la mobilisation des micro particules.

En effet la plus grande partie des agrégats étant incluse dans cette croûte, la pluie continue son travail sur toute la surface. Le dépôt des particules sous forme de fine pellicule claire constituée des mêmes éléments que la croûte structurale évoque une usure de celle-ci par la pluie mais aussi par le vent et par le ruissellement. Nous pouvons appeler cette fine pellicule croûte d'érosion. Casenave A. et Valentin C. (1989) distinguent dans la typologie génétique des croûtes, deux types de croûtes d'érosion, la première se forme aux dépens d'une croûte structurale sableuse, et la seconde aux dépens d'une croûte structurale argileuse. Le choc répété des gouttes de pluie sur la croûte qui reste exondée conduit à la formation d'une pellicule très compactée, souvent enrichie en éléments fins. Il s'en suit une diminution de la rugosité et une disparition de tout reste d'agrégat (photo N° 4).

- Processus de formations

Au début d'une précipitation, après le sarclage l'énergie des gouttes tombant sur la surface nue est amortie par le déplacement des petits agrégats. L'état hydrique des agrégats provenant du dessous de l'ancienne croûte semble influencer l'imbibition (dans le cas d'une pluie fine). Nous remarquons que les agrégats à l'aspect humide absorbent les premières gouttes plus facilement que

les restes de l'ancienne croûte. En effet, au niveau moléculaire le potentiel d'absorption est augmenté par la disponibilité des cations.

Ces observations ne se justifient pas pour des pluies de grande intensité, car l'importance de l'énergie cinétique des gouttes d'eau enclenche directement le phénomène de rejaillissement.

Comme l'explique Boiffin (1984), la désagrégation sans éclatement s'effectue lorsqu'un fragment de terre plus ou moins cohérent reçoit des chocs, que ce soit par agitation mécanique ou lors de l'impact d'une goutte de pluie. Il peut subir des ruptures et des particules situées à la périphérie peuvent être arrachées. C'est alors qu'intervient l'effet de rejaillissement ou effet "splash", qui correspond à la dissipation de l'énergie de la chute de la goutte d'eau, par fragmentation et rebond de cette goutte. Le rejaillissement se fait selon une trajectoire parabolique, dont l'angle avec l'horizontale dépend de la vitesse de la goutte. Lors de l'impact de la goutte, et en fonction de l'état de la surface de contact, ainsi que de l'énergie cinétique de celle-ci, nous observons un arrachement des petites particules. Celles-ci sont alors déplacées, par le phénomène de rejaillissement et par saltation pluviale lors de la retombée des projections (Descroix L., 1994).

Le rejaillissement est d'autant plus important que l'humectation des agrégats est élevée. En effet, lors d'une saturation hydrique, la conductivité hydraulique des agrégats se dégrade et atteint un minimum inférieur au flux reçu. Il se forme à leur surface une fine pellicule d'eau bombardée par les gouttes. Les particules se retrouvent en suspension en milieu liquide et sont donc plus facilement mobilisables.

Après une forte pluie, le résultat des projections des particules par effet "splash" est facilement observable à la base des tiges des végétaux. Nous observons des petites croûtes de 1 à 2mm d'épaisseur, constituées du rejaillissement de petites particules. Aussi, le dépôt des particules après rejaillissement s'effectue sans orientation privilégiée. Selon leur quantité et leur taille, elles colmatent les interstices des agrégats puis petit à petit les espaces inter agrégats. Leur compactage va former après de nombreuses pluies une fine croûte de couleur beige claire, recouvrant la croûte structurale correspondant à la croûte d'érosion.

Le bouleversement superficiel lors de l'impact d'une goutte provoque, lorsque la masse d'eau de la goutte est en contact avec la surface irrégulière, l'emprisonnement de bulles d'air. Une pellicule de fines particules constitue un obstacle à la sortie de la bulle, et au fil des déplacements de ces particules, la bulle se retrouve emprisonnée dans la masse. Les vésicules que nous observons à la surface sont le résultat de tels phénomènes, il suffit souvent de souffler la croûte d'érosion pour voir apparaître de telles vésicules. L'importance du nombre de vésicules dépend de l'intensité de la pluie et du volume des gouttes d'eau. Ces formations semblent donner à la croûte une certaine porosité.

Lorsque cette croûte structurale a recouvert l'ensemble de la surface, la perméabilité est réduite. Lors d'une pluie, l'effet de rejaillissement prolonge son effet, il épaisse la croûte et la tasse tout en formant la croûte d'érosion. Aussi, l'eau qui forme au début de la précipitation une fine pellicule se retrouve en surplus, et par gravité elle empreinte les sinuosités du relief. La porosité étant fermée, cette eau, tout en contribuant au tassement de la croûte et au déplacement des particules, se retrouve au bas du relief, dans les inter billons.



Photo N° 5: vue d'une coupe d'une croûte de ruissellement d'un inter billon de la parcelle T 3.

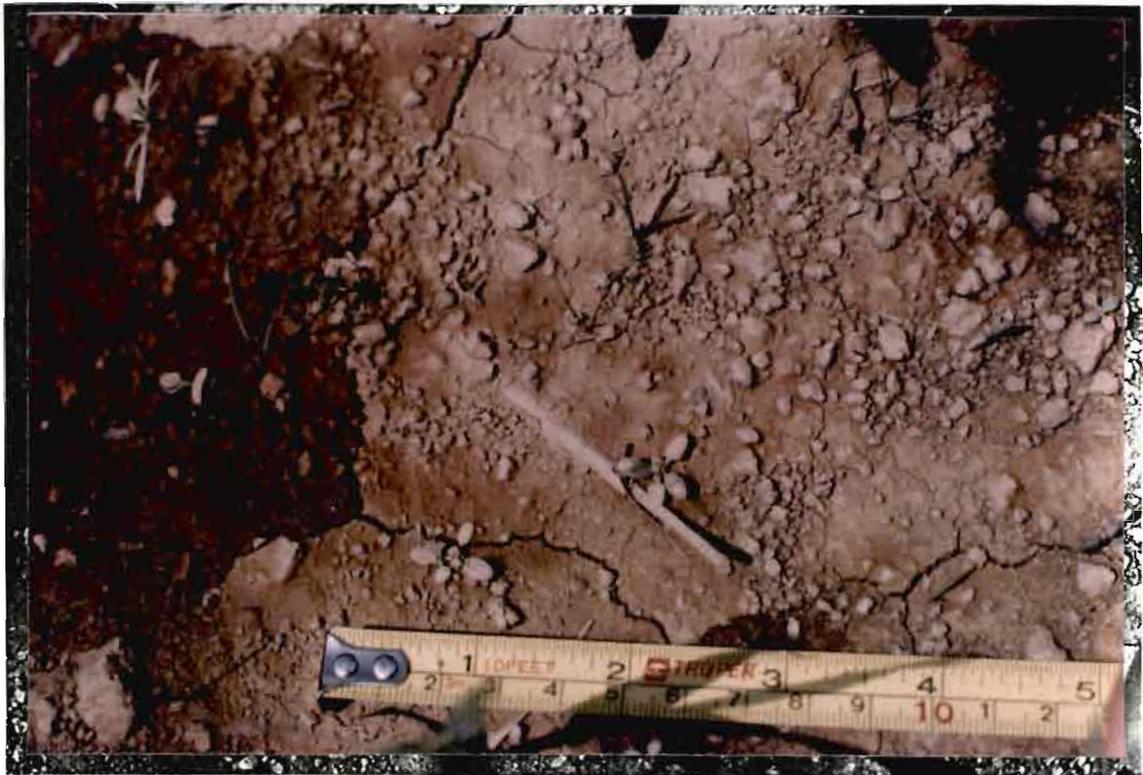


Photo N° 6: vue d'une croûte de décantation de la parcelle T 6.

+ La croûte de ruissellement et de dépôt

- Définition

La croûte de ruissellement ne s'est développée que dans les inter billons. Elle présente une structure en feuillets où s'alternent de minces pellicules plasmiques, et est recouverte de façon irrégulière d'une couche de micro agrégats, les plus grossiers recouvrant les plus fins (photo N° 5). Nous pouvons facilement remarquer des différences de couleur correspondant à des différences de texture entre les limons, les argiles et les sables. Ce type de croûte est mentionné dans la bibliographie sous le terme général de croûte de ruissellement: "il s'agit des différents sédiments déposés dans la lame de ruissellement, plus ou moins consolidés lors de la dessiccation. Très fréquemment, ils recouvrent une croûte structurale.". Casenave A. et Valentin C. (1989) ont par ailleurs observé dans les points bas du micro relief, la succession verticale de croûtes que nous observons dans les inter billons.

Souvent dans les dépressions des inter billons, nous remarquons des auréoles constituées d'une surface lisse. A l'état sec, cette surface se rebrousse en forme de plaquettes, et nous remarquons alors qu'elle est constituée de micro horizons (photo N° 6). Ces micro horizons sont rangés dans l'ordre granulométrique inverse. L'ensemble correspond à la description de la croûte de décantation faite par Casenave A. et Valentin C. (1989): "c'est la croûte qui se forme après sédimentation de particules dans un liquide au repos. Le tri granulométrique très marqué entre différents lits qui la constituent, les éléments grossiers à la base, fins en surface, favorise la formation des fissures et des fentes au cours de la dessiccation". La présence de vésicules de façon plus marquée dans la croûte de décantation est la preuve d'un emprisonnement d'air. Ces vésicules se retrouvent dans la fraction la plus fine des micro horizons.

Nous devons dans notre terminologie être très prudents, car la succession des lits dans la croûte de décantation procède d'une mise en place des micro particules par dépôts successifs, et nous retrouvons très souvent cette granulométrie inverse sous une couche de petits agrégats. En effet, les micro agrégats qui la recouvrent sont alors le résultat d'un déplacement horizontal.

Aussi, la distinction entre les deux croûtes est parfois difficile du fait de leur superposition possible. Nous avons relevé dans le processus général d'évolution de la surface, des variantes liées à la période d'étude et au matériau. Aussi, nous devons rapprocher les processus de mise en place de ces deux organisations pour mettre en évidence des interactions et des comportements liés.

- Processus de formations

A saturation hydrique des agrégats, il se forme comme nous l'avons vu précédemment, une pellicule d'eau où des micro particules et des micro agrégats se retrouvent en suspension. Leur transfert vers les parties basses est dû à la fermeture de la porosité conjuguée à la saturation hydrique des agrégats. Par gravité, les fines lames de ruissellement convergent vers les inter billons. La surface des inter billons a subi le même processus de dégradation de sa conductivité hydraulique. Il s'est formé une première croûte d'érosion, mais à la différence des haut billons, le surplus hydrique s'accumule.

Il faut alors distinguer la formation de la première croûte de dépôt. Celle-ci est le résultat du rangement des micro particules en milieu humide. Le granuloclasement inverse observé au sein des dépôts (granulométrie contraire à la loi de STOCKES) permet d'émettre l'hypothèse d'un dépôt sous turbulence. De plus Boiffin (1984) estime que le tri des particules, en particulier la séparation des constituants minéraux, peut commencer au niveau de la désagrégation des agrégats et se poursuivre au sein des lames de ruissellement. Ainsi, les éléments de plus grande densité se retrouvent en bas. Les gouttes d'eau continuent de tomber et exercent des vibrations et des turbulences au sein de la lame d'eau.

Quant aux vésicules, ces dernières résultent de l'emprisonnement d'air lors du bouleversement de la surface par les gouttes d'eau. Cet emprisonnement ne peut s'effectuer que lorsque l'humidité de la micro surface argileuse lui confère un état plastique suffisant pour épouser l'empreinte du choc de la goutte d'eau. Les colloïdes argileux dispersés lors de la pluie jouent le rôle de liant et ferment la bulle d'air dans la masse. Cette bulle d'air est recouverte petit à petit par la retombée et le déplacement des particules lors de l'effet "splash".

3.2.2. Observations pratiques

Avant de commencer l'interprétation de ces observations, il semble judicieux de replacer ces manipulations dans leur domaine de validité. En effet, la stabilité structurale des agrégats et les mesures des griffes d'érosion n'ont pas été faites avec les rigueurs que l'on retrouve en laboratoire. L'objectif est d'obtenir une idée sur le comportement des agrégats et de comprendre comment se forme une griffe d'érosion, en appréciant les différences entre les parcelles.

3.2.2.1. Stabilité structurale des agrégats

+ Résultats

Nous noterons certaines observations, quant au processus de désintégration des agrégats, provenant du tepetate. En effet, nous observons pour les agrégats provenant du haut et du bas des billons, trois phases lors de leur immersion dans l'eau.

La première phase débute dès l'immersion de l'agrégat dans l'eau, et se caractérise par une émission de bulles d'air, accompagnée de l'effondrement d'une fine pellicule de micro particules recouvrant l'agrégat. Cette phase s'observe pendant les premières secondes.

La deuxième se caractérise par la fissuration de l'agrégat en plusieurs endroits périphériques du bloc, et du détachement de ces nouveaux petits agrégats. Nous remarquons que les fissures existent avant l'immersion et sont parfois provoquées par une action biologique (radicelles, micro tubules).

La troisième phase est une stagnation de cet état, ce n'est qu'après agitation et après une vingtaine de minutes que l'on observe à nouveau des fissurations, et des détachements.

Pour les agrégats provenant du sol éolico-coluival, nous n'observons aucune de ces trois phases. L'effondrement de l'agrégat est partiel et s'accompagne de quelques bulles d'air dès les premières secondes de son immersion. Nous observons de nombreuses radicules qui retiennent l'effondrement.

Tableau N° 6: temps des différentes phases de désagrégation par immersion des agrégats.

	Tep 6		Tep 4		Tep 3		Tep 7	
	HB	IB	HB	IB	HB	IB	HB	IB
De l'immersion à l'arrêt de l'émission des bulles d'air.	5s	2s	2s	45s	2s	2s	2s	2s
De l'arrêt de l'émission des bulles d'air à la fissuration et stagnation de l'état.	30s		5s		25s		30s	3s
Effondrement partiel	X		X		X			
Effondrement total							X	X
Aucun changement		X		X		X		

+ Interprétation

Lors de l'immersion de quelques agrégats dans l'eau; nous pouvons remarquer que pour toutes les parcelles, les agrégats provenant des hauts billons dégagent des petites bulles, se fissurent et s'effondrent partiellement (ou totalement pour la parcelle 7). Par contre les agrégats provenant du bas des billons atteignent un équilibre après le dégagement des bulles, sans s'effondrer.

- Le dégagement des bulles d'air

Le Bissonais Y., 1988, montre que lors de l'immersion d'un agrégat moyennement argileux, l'eau libre humecte instantanément la périphérie de celui-ci. En rentrant dans l'agrégat, l'eau comprime les bulles d'air emprisonnées. Celles-ci exercent une pression sur les parois internes de l'agrégat ou se dégagent. La force de pression peut alors fissurer l'agrégat ou en se dégageant permettre la pénétration de l'eau. Si la cohésion de l'agrégat à l'état humide est trop faible, il explose. Aussi, les bulles d'air seraient dans notre cas l'un des facteurs causant la fissuration des agrégats.

- La désagrégation

D'autre part il faut remarquer que les agrégats du haut billon ont un aspect plus sec que les agrégats du bas billon. Cela est d'ailleurs confirmé par la mesure de l'humidité relative.

Les études de Boiffin J, (1984) et de Le Bissonais (1988) ont montré que l'alternance de cycles secs et humides favorise les processus de micro fissuration et donc la sensibilité à la désagrégation. Les agrégats des hauts billons sont plus secs et plus micro fissurés que ceux des inter billons, et prouveraient que les agrégats ainsi que la croûte structurale des hauts billons aient subi le phénomène de dessiccation et humectation de façon plus marquée que les agrégats des inter billons.

En effet, l'état hydrique des agrégats joue un rôle très important durant leur comportement à l'humectation. Yves Le Bissonnais obtient par immersion, une désagrégation maximale pour des agrégats moyennement argileux, et ayant une faible teneur en eau. Par contre, la désagrégation est partielle pour des agrégats au taux hydrique plus important. Il montre que ces comportements sont directement liés à l'action de l'argile qui joue le rôle de ciment. A l'état sec les liaisons physico-chimiques à l'échelle particulaire sont rompues en grand nombre. L'agrégat est donc fragilisé dès sa réhumectation.

Boiffin J, (1984) explique que l'intensité du processus d'éclatement dépend au premier chef du volume d'air piégé, qui lui même dépend du volume d'air présent au départ, c'est à dire à l'état hydrique initial des fragments et la vitesse à laquelle pénètre l'eau dans la terre. Cela expliquerait la plus forte sensibilité des agrégats de tepetates secs à la désagrégation.

- Les différences entre parcelles

De manière générale, les agrégats provenant du tepetate t3 ne sont pas sujets à une désagrégation totale, en comparaison au sol éolico coluvial. Leur humectation est plus lente, et s'explique par leur induration.

Nous remarquons une différence entre la parcelle T4 ayant reçu un amendement organique, et les parcelles T6 et T3 qui ont reçu un engrais minéral (azote et phosphore). Pour la parcelle T4, les agrégats du haut billon atteignent en moyenne un état stable rapidement, et nous observons un arrêt rapide de l'émission des bulles d'air (5 s). Alors que les agrégats provenant de T6 et T3 atteignent cet état stationnaire après plusieurs dizaines de seconde.

Nous pourrions expliquer ce comportement par la présence des acides humiques, venant de l'épandage de matières organiques. Les acides humiques réduisent la mouillabilité des agrégats, l'eau pénètre donc moins rapidement et une part importante d'air peut s'échapper progressivement. Boiffin (1984) explique que "En conditions sèches, c'est à dire les conditions les plus propices à l'éclatement, c'est la terre la plus riche en matière organique qui est la plus stable, et ceci peut être rattaché au caractère hydrophobe des matières organiques qui ralentit l'imbibition et diminue la pression exercée sur l'air piégé. Par contre en conditions humides, c'est à dire en l'absence d'éclatement, c'est l'effet teneur en argile qui prédomine". L'effondrement total des agrégats provenant de la parcelle T 7 va d'ailleurs dans ce sens, leur forte teneur en argile et en sable leur confère une sensibilité importante à la désagrégation.

Cela explique aussi le comportement des agrégats provenant des inter billons de la parcelle T4. Ceux ci émettent en moyenne des bulles d'air durant une quarantaine de seconde, alors que pour les parcelles T6 et T3 l'émission ne dure que quelques secondes.



Photo N° 7: succession de griffes d'érosion sur la parcelle T 6.

+ Conclusion

La structure massive des agrégats de tepetates leur procure une certaine stabilité lors de l'immersion, et leur désagrégation s'effectue en général par fissuration. Nous ne pouvons affirmer que l'amendement de matière organique améliore la stabilité des agrégats, mais il contribue au maintien d'un état structural plus résistant. Cela se traduit par un faible dégagement de bulles d'air lors de leur immersion. Et, le fait d'obtenir des différences entre les inter billons et les hauts billons où le taux d'humidité est plus important pour le premier que pour le second, nous laisse penser que l'état hydrique des agrégats définit leurs sensibilités à la désagrégation. Dans ce cas la matière organique n'aurait qu'une action hydrophobe et retarderait l'imbibition des agrégats et donc leur désagrégation.

D'autre part les agrégats du sol n'ont pas cette structure massive du fait de leur origine éolico-coluvial, et leur désagrégation lors de leur immersion est totale. Cela est aussi dû à la nature des matériaux qui les constitue.

3.2.2.2. Les griffes d'érosion

L'observation faite sur les griffes d'érosion a pour but d'apprécier les conditions parcellaires favorisant la formation de ces griffes. La naissance d'une griffe d'érosion dans un billon s'effectue généralement durant des précipitations importantes, susceptibles d'engendrer un fort ruissellement. Sur le billon situé dans une légère dépression, un gros agrégat peut rouler ou se désagréger, et ainsi créer une brèche sur ce billon. L'eau s'accumule en amont de la pente, par rapport au billon, et s'engouffre par cette ouverture. Puis la matière du billon par usure hydrique se déplace, et entretient cette griffe d'érosion jusqu'à la disparition d'un tronç de billon.

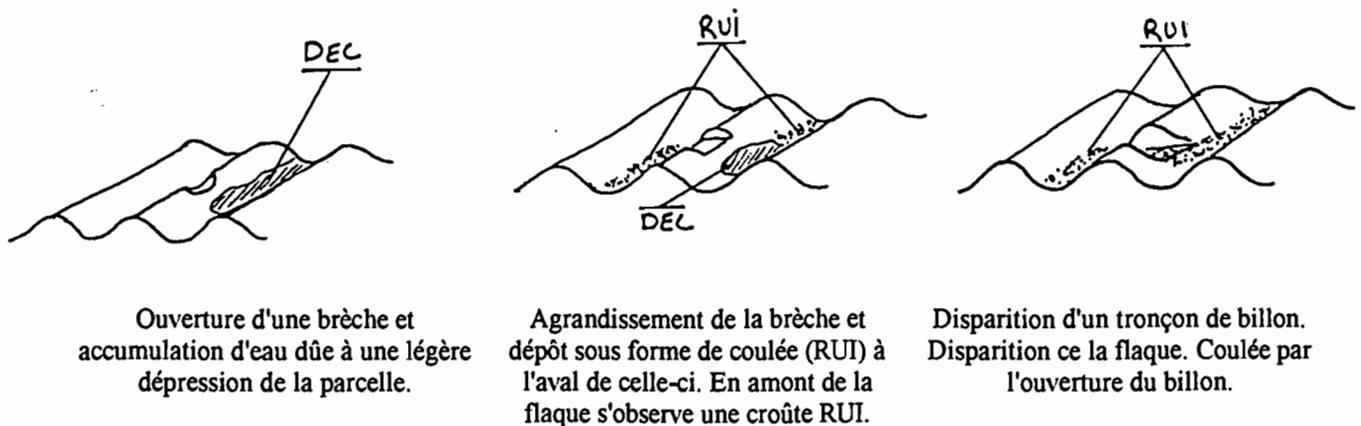


Figure N° 11: schéma de l'évolution d'une griffe d'érosion

La majorité des griffes s'observe à l'aval des talus est des parcelles, et nous retrouvons à cet endroit la pente générale de la terrasse orientée vers l'exutoire, créée artificiellement lors de la préparation des parcelles pour récolter les eaux de ruissellement. Nous remarquons aussi, à l'amont des parcelles, dans les inter billons, la proximité de la semelle de labour, et parfois son affleurement. A la fin de nos observations, des réseaux d'écoulements perpendiculaires aux billons se sont formés et une succession de griffes rejoignant l'exutoire se sont créées (photo N°7).



Photo N° 8: accumulation de terre en aval de griffes d'érosion sur la parcelle T 6.

Nous devons prendre en compte la légère dépression qui joue le rôle de micro bassin versant à l'échelle de la parcelle. En effet, si nous observons l'ensemble de la parcelle T 6 (à la date du 01/09) nous rencontrons de nombreuses croûtes de ruissellement aux inter billons du centre et du haut de la parcelle. Au bas est de la parcelle ce sont des croûtes de décantation et des flaques que nous retrouvons en majorité. Les croûtes de ruissellement sont la preuve que les eaux de ruissellement convergent vers les dépressions où elles se concentrent. De plus le talus délimitant la parcelle participe aussi à l'accumulation d'eau à cet endroit.

Lorsque la quantité d'eau est suffisamment importante pour passer par dessus les billons il s'enclenche une usure hydrique du billon, et l'ouverture d'une brèche. Cette ouverture est alors l'exutoire de l'eau de ruissellement en amont et elle s'agrandit au fur et à mesure des précipitations.

La proximité de la semelle de labour (de l'ordre de quelques centimètres) de façon localisée sur le coté est de la parcelle T 6 peut s'expliquer par un important départ de matière engendré par un ruissellement répété (photo N°8). Les billons même après remaniement de la surface, ont une faible cohésion et se retrouvent littéralement posés sur la semelle de labour, ce qui leur confère une fragilité encore plus grande face au ruissellement.

+ Résultats et interprétations

Le résultat de l'analyse des variances montre que les différences entre les moyennes d'élargissement des griffes sont très significatives entre parcelles.

Tableaux N° 7: évolution des griffes d'érosion par parcelle

Parcelle	Caractéristiques	Nbre de griffes au 23/08 (> 15 cm)	Moyennes des variations du 23/08 au 1/09	Moyennes des largeurs au 1/09
T 3	Pente: < 5% Cultures: maïs Fertilisation minérale	10	12.19 cm	33.14 cm
T 4	Pente: < 3.5% Polycultures Fertilisation organique	5	7.4 cm	24.8 cm
T 6	Pente: < 8% Polycultures Fertilisation minérale	7	6.14 cm	28.14 cm
T 7 (sol)	Pente: < 8% Polycultures Fertilisation minérale	0	0	0

Le résultat de l'analyse des variances montre que les différences entre les moyennes de fontes sont très significatives entre chaque parcelle. Et le tableau N° 7 nous permet de mettre en évidence que la parcelle T 3 (à la date du 23/08, c'est à dire une semaine après le sarclage) possède le plus grand nombre de griffes formées. Ses caractéristiques sont une pente de 5% et une monoculture de maïs. Puis la parcelle T 6 possède 7 griffes formées, sa pente est plus importante, mais elle se caractérise par une polyculture de maïs, fève, haricot. Les deux parcelles recevant un engrais minéral, nous pourrions penser que la pente ainsi que le mode de culture influencerait la formation des griffes d'érosion. La parcelle T 4 a reçu un engrais organique et se caractérise par une

pente faible et une polyculture semblable à T 6, présente uniquement 5 griffes. Aussi, la pente influencerait réellement la formation des griffes.

D'autre part, pour une pente quasiment égale (5% et 3.5%) à T 4, la parcelle T 3 inclue deux fois plus de griffes, le mode de culture pourrait expliquer ces différences. Le maïs a en effet à cette époque atteint une hauteur moyenne de 1 m, et le sol est en partie protégé des impacts des gouttes de pluies, mais sa surface et jusqu'à 60cm en hauteur ne comporte pas de végétation dense, seulement les tiges de maïs. Aussi, le système racinaire n'étant pas suffisamment développé (fasciculé), et la végétation rampante comme les haricots absente, la formation des griffes d'érosion n'est pas freinée. A l'inverse, sur la parcelle T 4, la polyculture inclue des végétaux poussant près de la surface au système racinaire en pivot, et ainsi que la matière organique ces derniers participent à la cohésion des billons, et freinent la formation des griffes.

Nous pouvons remarquer aussi, que les griffes d'érosion des parcelles T 4 et T 6 ont une moyenne d'élargissement et une largeur moyenne en fin d'observation moins importante que celles de la parcelle T 3.

+ Conclusion

La formation des griffes d'érosion est directement liée à la dégradation de l'infiltrabilité, puisqu'elle résulte de l'accumulation de l'eau de ruissellement dans une dépression de la parcelle. Une fois enclenchée une griffe d'érosion participe à la formation d'autres griffes d'érosion en permettant le passage de l'eau ruisselée et en favorisant alors l'exportation de matières vers le bas de la parcelle.

Plusieurs facteurs influent alors sur l'intensité et l'ampleur de formation des griffes d'érosion sur les parcelles de tepetates, le plus important semble être la proximité de la semelle de labour. La pratique culturale de la parcelle ainsi que l'utilisation du fumier influent sur la formation des griffes et une couverture végétale proche de la surface avec un système racinaire développé freine l'ampleur des griffes.

La pente et le micro relief déterminent le cheminement de l'eau de ruissellement et exposent ainsi certaines parties des parcelles plutôt que d'autres à l'exportation de matière. Dans notre cas les griffes se retrouvent toutes en bordure de talus, au niveau de la dépression construite pour recueillir les eaux de ruissellement.

3.2.2.3. Comportement des différents agrégats isolés du sol

Nous avons extrait de la surface des gros agrégats (> 5 cm) que nous avons placés sur un support solide lisse, et imperméable. Exposé aux événements pluviométriques, nous avons observé leurs comportements dans le but d'apprécier leurs fonte et leurs désagrégations. Ainsi, sans action extérieure du sol, nous comparerons leurs participations à l'élaboration de la croûte d'érosion.

Au terme de nos observations c'est-à-dire après quelques jours de pluies, nous pouvons remarquer un lessivage de la surface de l'agrégat et une accumulation de petites particules à sa base.



Photo N° 9: accumulation d'eau sous forme de flaques sur la parcelle T 6.

Le fait d'avoir isolé les agrégats du sol a supprimé le rejaillissement de micro particules provenant de l'effet "splash" sur ce sol. Ces micro particules recouvraient l'agrégat sur sa surface, et la pluie a lavé cette pellicule. Les micro particules par gravité, et en milieu aqueux se sont accumulées à la base de l'agrégat. Nous ne devons pas négliger le rejaillissement des gouttes qui rebondissent sur la surface du support. En effet les micro particules peuvent provenir aussi de l'usure de l'agrégat par les gouttes d'eau mais aussi par les rejaillissements de ces gouttes qui ne sont alors pas chargées en micro particules.

Pour des agrégats de très petite taille (< 1 cm), la désagrégation est flagrante, leur fonte est facilement observable, et l'accumulation de micro particules est proportionnellement plus importante.

Aussi, la conclusion de nos observations sur le comportement d'agrégats isolés du sol, peut tout d'abord nous aider à comprendre l'apport de micro particules à la croûte. Les agrégats sont recouverts d'une fine pellicule de petits éléments, ces particules sont déplacées jusqu'à la base de l'agrégat par les gouttes d'eau, mais aussi par le rejaillissement de ces gouttes sur le sol. L'agrégat lui aussi participe par son usure à l'obtention de micro particules. Le rejaillissement chargé en micro particules du sol, recouvre dans le même temps l'agrégat. Nous assistons en quelque sorte à un cercle dynamique où l'agrégat est le lieu de dépôt mais aussi la source de particules qui une fois déplacées formeront la croûte structurale d'érosion.

3.3. Les mesures

3.3.1. L'humidité superficielle

Nous en avons deux mesures pour la fin de la première période d'étude, aucune pour la deuxième, une pour la troisième, et quatre pour la quatrième. Ces mesures n'ont pas été suffisantes et homogènes sur toute les périodes d'étude. Les mesures ont été faites sur des prélèvements de terre dans les dix premiers centimètres de terre, dans les inter billons et les haut billons de toutes les parcelles. Nous avons effectué deux prélèvements en haut et en bas des parcelles 4 et 6.

3.3.1.1. Résultats et interprétations

De manière générale, l'ensemble des variations de l'humidité superficielle sur le haut des billons est homogène d'une parcelle à une autre. Nous pouvons remarquer cependant que la parcelle T 4 fait un écart (à la date du 07/08) par rapport à l'ensemble. L'humidité superficielle de la parcelle T 7, que ce soit dans les inter billons ou sur les billons est toujours inférieure aux autres parcelles. La parcelle T 3 se caractérise par une forte humidité superficielle, supérieure aux autres parcelles, cependant nous pouvons remarquer un artéfact à la date du 24/08 pour l'inter billon, probablement dû à une mauvaise manipulation lors du séchage.

Figure N° 12: évolution de l'humidité superficielle en haut des billons par parcelles.

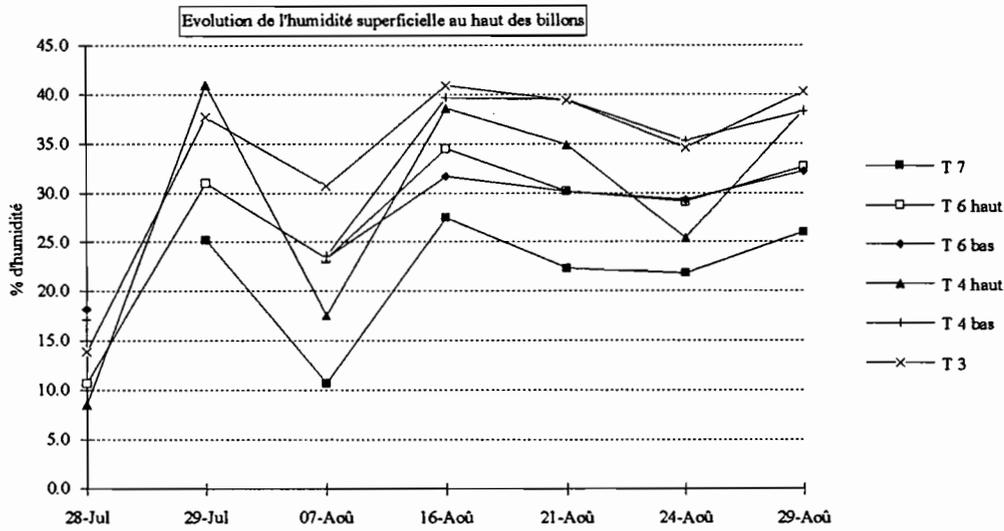
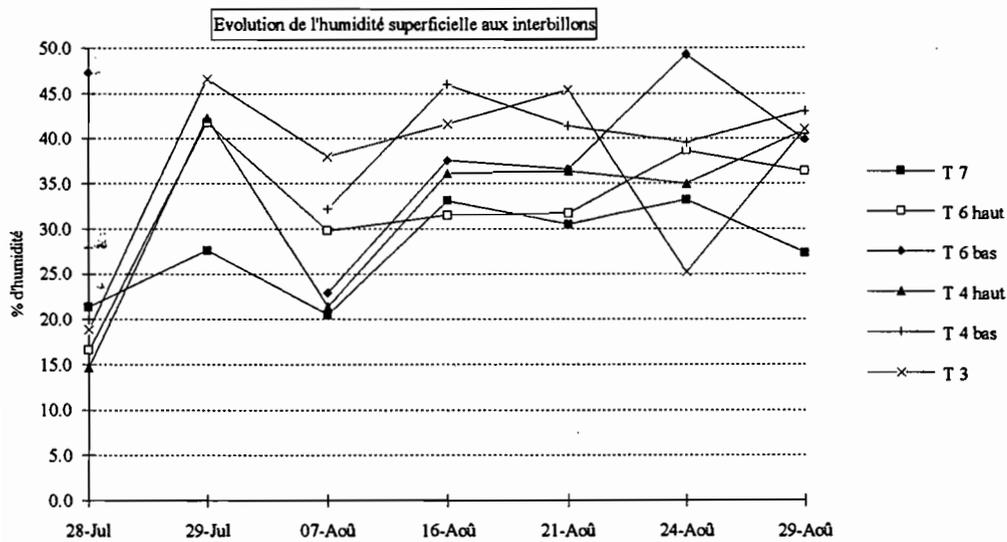


Figure N° 13: évolution de l'humidité superficielle aux inter billons par parcelles.



Pour la dernière période, nous pouvons remarquer une diminution de l'humidité superficielle aux inter et hauts billons pour la parcelle T 7. Par contre, pour les autres parcelles de tepetates l'humidité est restée presque constante sur les hauts billons et a augmenté aux inter billons.

D'autre part entre le haut et le bas des terrasses T 4 et T 6, l'humidité est différente: elle est toujours plus importante dans les parties basses proche de l'exutoire (figure N° 12 et 13).

Si nous reprenons les résultats des mesures de la porosité et de l'imperméabilité faites par Jérôme G., (1991), la baisse de la perméabilité s'explique tout d'abord par la fermeture progressive de la porosité interstitielle, et par le tassement des horizons meubles superficiels au cours de chaque période. Elle explique la baisse de la porosité globale des inter billons sur la période d'étude par le fait que les travaux successifs n'engendrent pas un remaniement complet, et rapproche donc la semelle de labour. La dégradation de la perméabilité et de la porosité influencent directement l'humidité des couches superficielles, surtout pour les inter billons qui cumulent les flaques (photo N°9). L'humidité superficielle augmente très nettement, et s'accompagne d'un surplus hydrique qui traduit la totale dégradation de la porosité. En faisant une observation d'une coupe des micro horizons qui composaient d'anciennes flaques, nous remarquons un tassement important de ceux-ci, et la présence proche de la semelle de labour, surtout pour le haut de la parcelle T 6. Les pluies du mois d'août furent importantes par rapport au mois précédent, et cela a intensifié le tassement de la croûte ST 1, et la formation de la croûte d'érosion, puis du ruissellement.

Les différences observées entre les deux matériaux semblent résulter de leur nature. Le sol non induré, du fait du caractère plastique et argileux de l'horizon sous-jacent, limite la perméabilité de la semelle de labour. Nous pouvons aussi remarquer que lors des prélèvements fait sur T 7, nous ne retenions que la fine croûte gris claire, épaisse de quelques mm, et très sèche, ce qui peut expliquer le faible taux d'humidité. Pour les tepetates la diminution de la perméabilité est aussi due aux restes de croûtes d'érosion ramenés dans les inter billons lors du deuxième sarclage. D'autre part, l'humidité toujours plus importante en bas des parcelles s'expliquerait par la forte dégradation de la porosité qui s'est accentuée par un important apport discriminants par le ruissellement qui colmatent la porosité superficielle.

De façon générale, les différences observées entre les parcelles T 4 et T 6 sont peut être dues à la présence de matière organique sur la parcelle T 4 qui préserverait une certaine humidité. Mais cette hypothèse ne peut être retenue car l'humidité superficielle est plus importante sur la parcelle T 3 en haut des billons que sur la parcelle T 4. Aussi, le traitement de la parcelle T 3 influencerait l'humidité superficielle de sa surface. En effet la montaison des plants de maïs fut rapide, ils ont dépassé le mètre dès le 15 Août, et ils ont contribué à préserver l'humidité superficielle du sol. Alors que sur T 4, l'apport trop tardif du fumier a limiter la croissance des plantes.

3.3.1.2. Conclusion

L'humidité superficielle des parcelles semble être influencée tout d'abord par la nature du sol qui les constitue. Le tepetate se caractériserait par une teneur en eau superficielle plus importante que le sol éolico-coluvial. Au sein des parcelles de tepetates, la monoculture de maïs à un stade de

*C'est
sur
10cm
prof.*

Non!

Figure N° 14: évolution du pourcentage de recouvrement des agrégats sur la surface de mesure de la parcelle T 3.

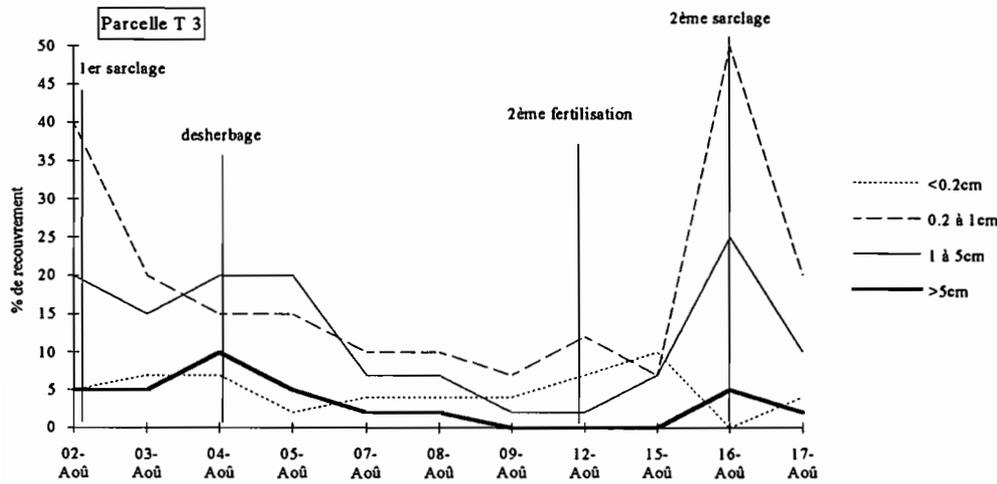


Figure N° 15: évolution du pourcentage de recouvrement des agrégats sur la surface de mesure de la parcelle T 4 h.

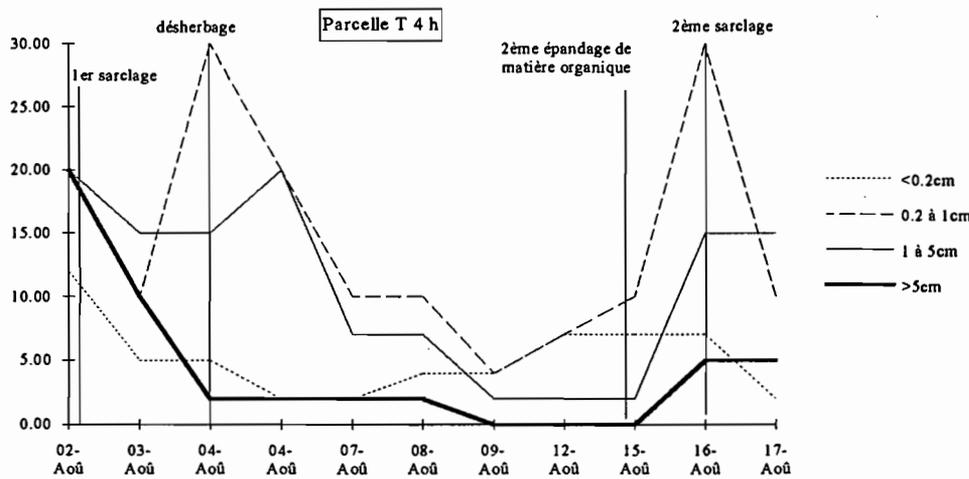
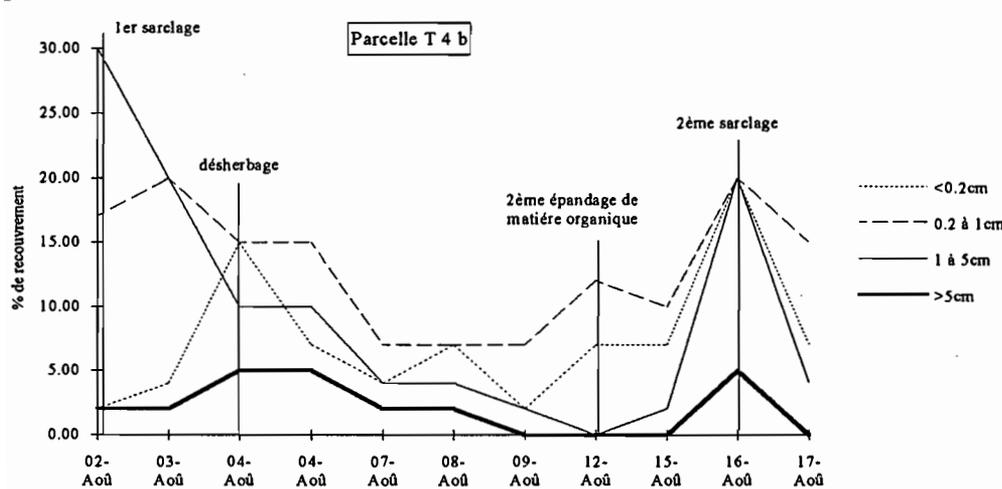


Figure N° 16: évolution du pourcentage de recouvrement des agrégats sur la surface de mesure de la parcelle T 4 b.



développement important préserverait cette humidité. Le bas des parcelles, lieu de passage du ruissellement avant l'exutoire, se caractérise par une humidité plus forte que le haut, cela étant probablement dû à une dégradation plus forte de l'infiltration superficielle par l'importation de fines particules facilement mobilisables. D'autre part, il semble que le rapprochement de la semelle de labour limite l'infiltration et engendre une humidité maximum qui se traduit par la présence de flaques dans les inter billons.

3.3.2. Le Diamètre minimum

3.3.2.1. Résultats et interprétations

Après le travail du sol nous retrouvons des agrégats en forme de grumeaux, composés d'un regroupement de petits agrégats (0.5-2 mm). Ces agrégats grumeleux disparaissent rapidement en se dissociant et en comblant la porosité superficielle. Chaque parcelle se comporte différemment dans la production d'agrégats. Le tableau suivant permet de comparer le pourcentage de recouvrement des agrégats < 5cm sur la surface du point quadrat après chaque remaniement de la surface.

Tableau N °8: pourcentage de recouvrement des agrégats inférieurs à 5 cm sur la surface du point quadrat.

	après 1er sarclage (03/08)	après désherbage (05/08)	après 2ème sarclage (16/08)
T 3	70%	42%	80%
T 4 haut	72%	44%	57%
T 4 bas	51%	37%	65%
T 6 haut	64%	34%	65%
T 6 bas	44%	47%	15%
T 7	37%	37%	32%

Ce tableau permet d'apprécier la dégradabilité de la surface en petits agrégats. Nous pouvons remarquer que le recouvrement au bas de la parcelle T 6 et sur la parcelle T 7 est très nettement inférieur aux autres parcelles, surtout après le deuxième sarclage. Le désherbage produit beaucoup moins d'agrégats.

Lors de nos observations nous avons remarqué qu'il existe une variation proportionnelle de particules d'un certain calibre, à partir du remaniement de la surface et ce pour toute les parcelles.

Nous appellerons micro agrégats les agrégats dont le diamètre est inférieur à 2 mm, petits agrégats ceux compris entre 0,2 et 1 cm, agrégats moyens ceux compris entre 1 et 5 cm, et les gros agrégats ceux supérieur à 5 cm. Les figures N° 12 à 16 mettent en évidence la dynamique de disparition de l'ensemble des agrégats sur les parcelles étudiées et entre deux remaniements de la surface (les deux sarclages).

Nous pouvons remarquer la fonte progressive de toutes les classes d'agrégats, pour toutes les parcelles. Le sarclage produit majoritairement des petits agrégats et des agrégats moyens Il faut noter une augmentation du pourcentage d'agrégats à la date du 5/08 due au désherbage, celui ci ne produit pas autant de particules que le sarclage. Proportionnellement, les micro agrégats augmentent en pourcentage, alors que les petits et moyens agrégats disparaissent.

Figure N° 17: évolution du pourcentage de recouvrement des agrégats sur la surface de mesure de la parcelle T 6 h.

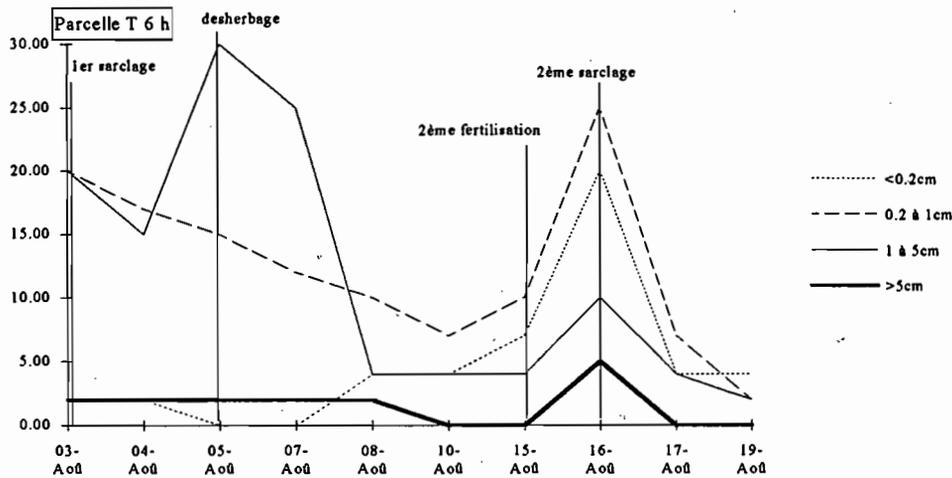


Figure N° 18: évolution du pourcentage de recouvrement des agrégats sur la surface de mesure de la parcelle T 6 b.

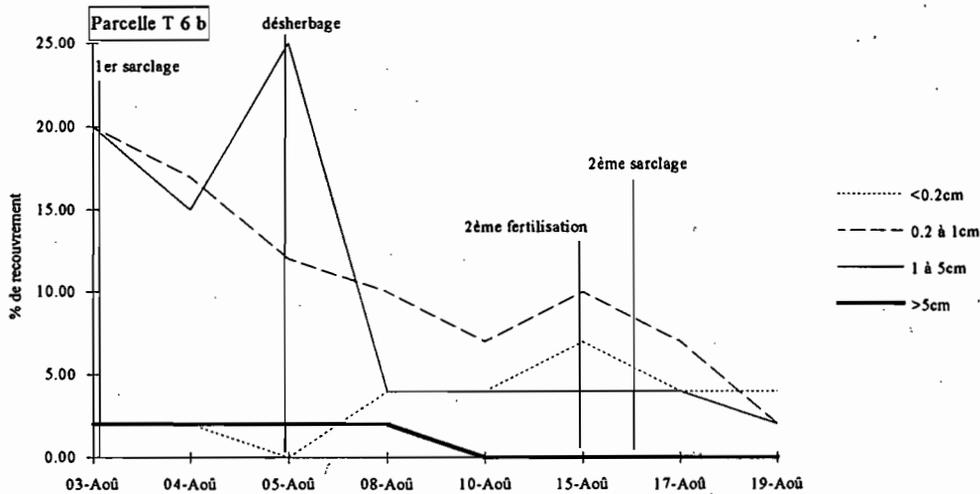
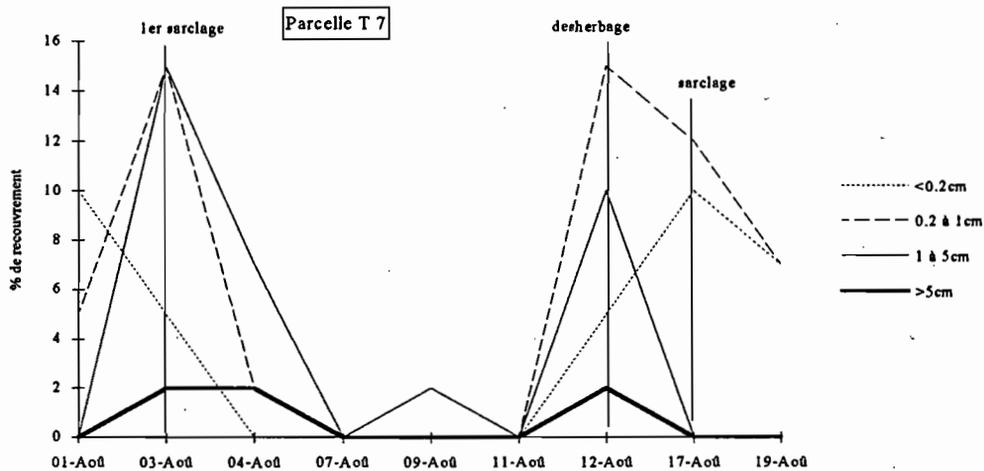


Figure N° 19: évolution du pourcentage de recouvrement des agrégats sur la surface de mesure de la parcelle T 7.



De manière générale, le haut des parcelles T 6 et T 4 a tendance à produire plus de petits agrégats lors des deux sarclages que le bas de leur parcelle. La parcelle T 7 ne produit pas autant d'agrégats que les autres parcelles de tepetates, la constitution de son matériau ne favorise pas la friabilité de sa surface en particules. Durant nos observations nous avons remarqué au cours des jours suivant le sarclage, que l'ensemble des micro agrégats et 75% des petits agrégats se trouvent dans les inter billons, alors que les autres se trouvent sur les billons.

D'autre part, la parcelle T 3 a un pourcentage de recouvrement beaucoup plus important que les autres parcelles.

Pour l'ensemble des parcelles, l'inclusion de l'ensemble des agrégats produite par le désherbage a lieu environ trois jours après, et ne subsistent que des micro agrégats. Ces derniers se retrouvent majoritairement dans les inter billons. La parcelle T 4 semble produire plus de micro agrégats que le reste des parcelles.

Si nous observons à l'oeil nu les agrégats grumeleux nous pouvons nous apercevoir qu'ils présentent une grande fragilité au déplacement dû à une faible cohésion inter particulaire, et une structure peu compacte. Ils proviennent des horizons inférieurs des billons où l'espace inter agrégats était important. Le bouleversement les a désolidarisés les uns des autres, les a décompactés et aérés en les projetant sur la surface.

En comparant l'humidité superficielle entre le premier sarclage et le désherbage, nous constatons une humidité plus importante lors du désherbage, et proportionnellement la formation en plus grande quantité d'agrégats en grumeaux dont le diamètre est compris entre 0.5 et 2 cm. Le Bissonais Y., (1988) explique que la disponibilité en eau permet une plus grande cohésion des agrégats grâce à l'eau liée et capillaire. Par corrélation, nous pouvons interpréter la formation de petits agrégats non grumeleux sur le haut des parcelles 6 et 4 par le fait que l'état hydrique à ces endroits est inférieur à celui du bas des parcelles.

D'autre part, ces agrégats en grumeaux sont beaucoup plus sensibles à l'impact mécanique des gouttes de pluies, car comme nous l'avons remarqué pour le comportement d'agrégats isolés du sol, leur fragilité est inversement proportionnelle à leur diamètre et à leur humidité relative. Ils sont donc susceptibles de produire par leur désagrégation une majorité de micro agrégats.

Après une longue période de mesure sans remaniement de la surface (après le deuxième sarclage) nous avons continué d'observer des micros et petits agrégats. Cela peut s'expliquer par, la désagrégation des gros agrégats, mais aussi par l'emplacement du point quadrat qui reçoit la matière provenant de l'amont des billons. Si nous remontons à la source de particules, alors que la surface est totalement fermée nous aboutissons aux buttes inter parcellaires et au haut des billons. Les buttes sont les chemins que nous empruntons plusieurs fois par jour et qui en conséquence sont susceptibles de produire des particules. Sur les haut billons nous retrouvons des agrégats inclus émergeant et exposés au phénomène d'humectation-dessiccation, et donc sources de particules.

Pas franchement évident à voir !
6H = 6B

3.3.2.2. Conclusion

Le caractère plastique du matériau de la parcelle T 7 augmente la formation de grosses mottes et non d'agrégats, favorise la dynamique d'apparition des deux croûtes d'érosion et de ruissellement.

Chacun des travaux de la surface ne fournit pas la même proportion d'agrégats, De façon générale, le désherbage apporte moins d'agrégats que le sarclage (sauf pour le sol éolico-coluvial). Le sarclage remonte le matériel des inter billons sur les billons alors que le désherbage déstructure la croûte structurale de façon localisée.

L'état hydrique des parcelles influence la formation des petits et moyens agrégats. Plus la parcelle est humide plus le remaniement de sa surface a tendance à produire des agrégats. Les micro agrégats semblent provenir du retournement de la surface et de la désagrégation des gros agrégats, mais également du déplacement de matière de l'amont vers l'aval, par le phénomène de transport de matière au cours du ruissellement.

L'apport de matière organique semble, dans une moindre mesure favoriser la cohésion des agrégats, et donc la formation de gros agrégats, puis leur désagrégation produira des micro agrégats.

3.3.3. La fonte des agrégats

La mesure de la fonte des agrégats a été effectuée sur les trois dernières périodes d'étude. En effet il nous fut impossible d'effectuer les mesures sur la surface des parcelles lors de la fin de la première période (la presque totalité des agrégats étant inclus dans la croûte).

3.3.3.1. Résultats et interprétations

Nous avons choisi des intervalles de temps les plus petits possibles après le remaniement de la surface, car les premières précipitations suite au bouleversement du sol sont les plus érosives pour les agrégats.

Le tableau N° 9 suivant nous permet d'évaluer la vitesse de fonte des agrégats. Nous avons choisi de présenter les résultats les plus représentatifs correspondant à un remaniement de la surface. Nous avons aussi noté le nombre d'agrégats inclus. Chacune des mesures porte sur 12 agrégats.

Tableau N° 9: évolution de la taille moyenne des agrégats (en cm)

Pratique	Date	T 3	T 4 h	T 4 b	T 6 h	T 6 b	T 7
Désherbage	Du 05 au 07/08	0.36	0.34	0.44	0.19	0.38	0.29
	Nb d'agrégats inclus	1	2	2	2	1	3
Sarclage	Du 06 au 12/08	0.10	0.09	0.08	0.20	0.20	0.42
	Nb d'agrégats inclus	4	3	4	3	1	2
	Du 16 au 17/08	1.00	1.12	1.76	1.26	1.30	1.43
	Nb d'agrégats inclus	2	4	2	0	2	6

Le tableau précédent permet de mettre en évidence que le désherbage produit des agrégats de calibre inférieur par rapport au sarclage. Au lendemain du désherbage, nous pouvons observer un nombre d'agrégats inclus moins important par rapport au lendemain du sarclage. D'autre part, le haut des parcelles T 4 et T 6, produit, pour les deux travaux des agrégats de plus petit calibre que le bas de leur parcelles. La parcelle T 7 au lendemain du deuxième sarclage a un fort taux d'inclusion d'agrégats (50%).

Tableau N° 10: influence du diamètre moyen en cm des agrégats sur leur fonte

	T 3		T 4 h		T 4 b		T 6 h		T 6 b		T 7*	
	Classe	Fonte	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F
Du 05 au 07/08	> 8.27	1.06	> 8.59	0.75	> 8.79	1.50	> 7.40	0.43	> 7.71	1.57	> 7.86	0.40
	< 8.27	0.54	< 8.59	0.5	< 8.79	0.22	< 7.40	0.92	< 7.71	0.32	< 7.86	0.20
Du 16 au 17/08	> 9.40	1.03	> 10.56	0.92	> 12.64	1.60	> 10.96	1.45	> 8.76	1.32	X	X
	< 9.40	0.98	< 10.56	1.2	< 12.64	2.06	< 10.96	1.16	< 8.76	0.86	X	X

Remarque: T 7*: le diamètre moyen des agrégats et le nombre de mesures étant trop faible, la moyenne de fonte n'est pas représentative dans ce cas.

Le tableau N° 10 permet d'apprécier l'importance de la fonte des agrégats par rapport au diamètre moyen de l'ensemble des agrégats de nos mesures par parcelle.

Les agrégats dont le diamètre est supérieur au diamètre moyen de la parcelle ont une amplitude de fonte plus importante que les autres de la classe inférieure. Nous retrouvons une variation entre le haut et le bas des terrasses T 4 et T 6, la fonte étant plus importante au bas des terrasses. Le sarclage a produit, comme nous l'avons vu précédemment pour le diamètre minimum, des agrégats de grande taille par rapport à ceux obtenus au cours du désherbage. Quant au sol de référence (T 7), les observations ont été difficiles, la cohésion de ses agrégats étant très faible.

Dabin B. (1991) explique que les agrégats sont formés par les argiles qui cimentent les particules (sables, limons etc.). Les ions tels que le calcium et le fer en flocculant les argiles favorisent l'agrégation. Les alternances d'humectation et de dessiccation créent des réseaux de fentes plus ou moins nombreuses suivant l'état d'agrégation ou de dispersion des colloïdes. Cette structure, purement minérale, n'a qu'une stabilité éphémère et est détruite par la pluie ou le ruissellement.

Comme, l'explique Duchaufour (1991), nous observons une rupture des agrégats par action mécanique des gouttes, dans un même temps, nous assistons par l'humectation des agrégats à une dilution des cations flocculants, et la dispersion des ciments, accompagnée d'un entraînement des particules fines ainsi dissociées. Cela provoque le glaçage du sol.

Les agrégats provenant des tepetates ne sont pas aussi sensibles à l'effet mécanique des gouttes d'eau. Nous observons un lessivage de leur couche superficielle qui produit de nombreuses particules, mais le ciment des agrégats semble rester en place. Par contre, les agrégats sont fragilisés par de nombreuses fissures, parfois nous retrouvons des agrégats fragmentés dans l'axe d'anciennes fissures, et d'emplacement de radicelles.

Le tableau N° 9 permet de mettre en évidence que la sensibilité des agrégats à la fonte est plus importante juste après un remaniement de la surface. Le désherbage semble produire des agrégats moins sensibles à la fonte par rapport au sarclage. En fait, le sarclage soulève et ramène des agrégats provenant des micros horizons inférieurs plus sensibles à l'action mécanique des gouttes de pluie. L'inclusion au 23/08 de 8 agrégats sur 12 pour la parcelle T 3 montre que la fonte a été moins importante que pour les autres parcelles, et peut s'expliquer par le recouvrement plus important du maïs à ce moment. En effet, sur les parcelles T 6, T 4 les haricots et fèves n'ont pas une surface de recouvrement aussi importante, et exposent donc une plus grande partie de la surface à l'impact des gouttes de pluies.

Le comportement des agrégats provenant du sol est très différent de ceux provenant du tepetate t3. Ces derniers s'intègrent rapidement à la croûte structurale, en produisant des particules et participent directement à la fermeture de la porosité. Leur cohésion est moins importante. Par contre les agrégats provenant du tepetate ont une structure plus compacte, sauf pour les agrégats inférieurs à 6 cm. L'apport de matière organique semble favoriser les structures qui les cimentent.

3.3.3.2. Conclusion

Le comportement à la fonte des agrégats est très différent suivant le matériau qui les constitue, les agrégats du sol éolico-coluvial fondent très rapidement en participant au colmatage de la surface. Quant aux agrégats de tepetates, c'est leur humidité qui influence leur comportement à la fonte, et des agrégats secs auront tendance à se désagréger moins rapidement par rapport à des agrégats plus humides. Les agrégats secs sont en revanche plus sensibles à l'humectation et à la dessiccation en se fissurant et en éclatant.

D'autre part, l'humidité de la surface conditionne la formation d'agrégats d'une certaine taille lors du remaniement de la surface. Un sol humide aura tendance à produire des agrégats de taille supérieure à ceux d'un sol sec. Le sarclage ramenant le sol des horizons inférieurs de la surface produit de plus gros agrégats que le désherbage qui lui ne fait que remuer les premiers centimètres du sol.

Figure N° 20: évolution des différentes organisations sur la surface de mesures de la parcelle T 3.

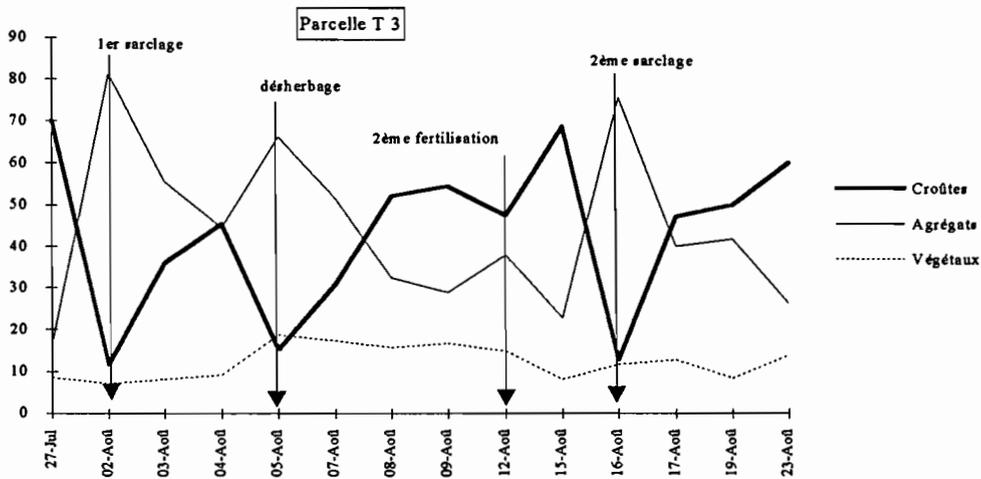


Figure N° 21: évolution des différentes organisations sur la surface de mesures de la parcelle T 4 h.

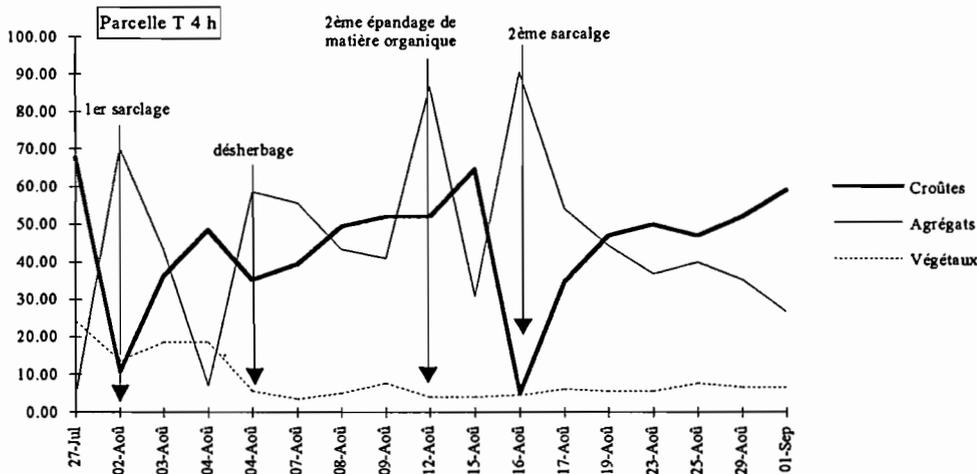
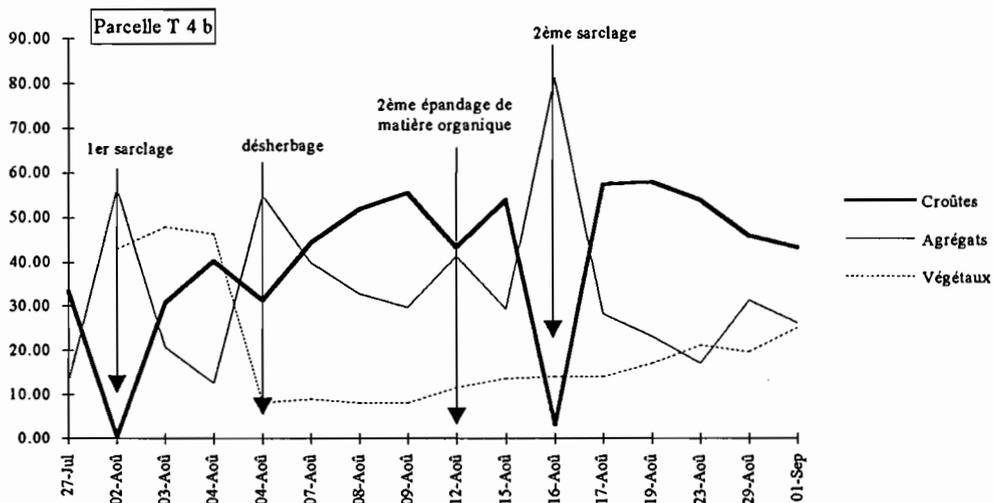


Figure N° 22: évolution des différentes organisations sur la surface de mesures de la parcelle T 4 b.



3.3.4. Les mesures du point quadrat

3.3.4.1. Evolution des structures du micro relief

+ Résultats et interprétations

Le point quadrat nous a permis de comptabiliser l'ensemble des unités d'organisation de la surface (annexe N° 2 et 3). Nous représenterons par l'intermédiaire de graphiques les ensembles d'organisations.

Nous prendrons pour légende:

Croûtes	Agrégats
ERO: croûte d'érosion	MAG: micro agrégats (diamètre < 0,5 cm)
RUI: croûte de ruissellement	AGI: agrégats incorporés à la croûte
DEC: croûte de décantation	AGL: agrégats libres, indépendants de la surface
LAB: croûte de labour	GAG: gros agrégats (diamètre > 5 cm)

- Evolution des différentes organisations sur la surface de mesure

Nous considérerons tout d'abord la dynamique de la réorganisation des différentes croûtes, agrégats et l'ensemble de la végétation sur les surfaces de mesures des différentes parcelles.

Les figures N° 20 à 25 mettent en évidence les bouleversements des organisations superficielles lors du remaniement de la surface, le premier sarclage, le désherbage et le second sarclage. L'ensemble des pourcentages des croûtes, des agrégats et des végétaux représente 100%.

La première remarque que nous pouvons faire à propos de ces graphiques est que les pentes des courbes de l'évolution des croûtes et des agrégats s'opposent, ce qui signifie que les croûtes apparaissent alors que disparaissent les agrégats, il y a donc une interaction entre ces deux organisations. Cette interaction est mise en évidence par les mesures de fonte des agrégats. Les agrégats disparaissent et participent à la dégradation de la porosité superficielle et donc à la formation des croûtes.

Nous remarquons une légère baisse du pourcentage de recouvrement de la végétation, qui est due au désherbage. Et, tout au long de nos observations le pourcentage reste faible. Cela s'explique par la méthodologie utilisée mal adaptée (point quadrat). En effet, celui-ci comptabilise les points à la surface du sol par l'intermédiaire d'aiguilles, ces aiguilles par leurs poids ne sont pas arrêtées par la végétation, et donc nous prenons en compte très souvent un point recouvert par la végétation pour un point de surface.

D'autre part, pour les parcelles T 7 et T 6 h le deuxième sarclage a recouvert en grande partie les haricots et fait basculer les fèves.

En général, nous pouvons noter que les agrégats disparaissent petit à petit après chaque bouleversement de la surface. En revanche, l'ensemble des croûtes (ERO, RUI, DEC) apparaissent au cours d'une dynamique que nous aborderons plus tard. Du fait de l'hétérogénéité de nos mesures,

Figure N° 23: évolution des différentes organisations sur la surface de mesures de la parcelle T 6 h.

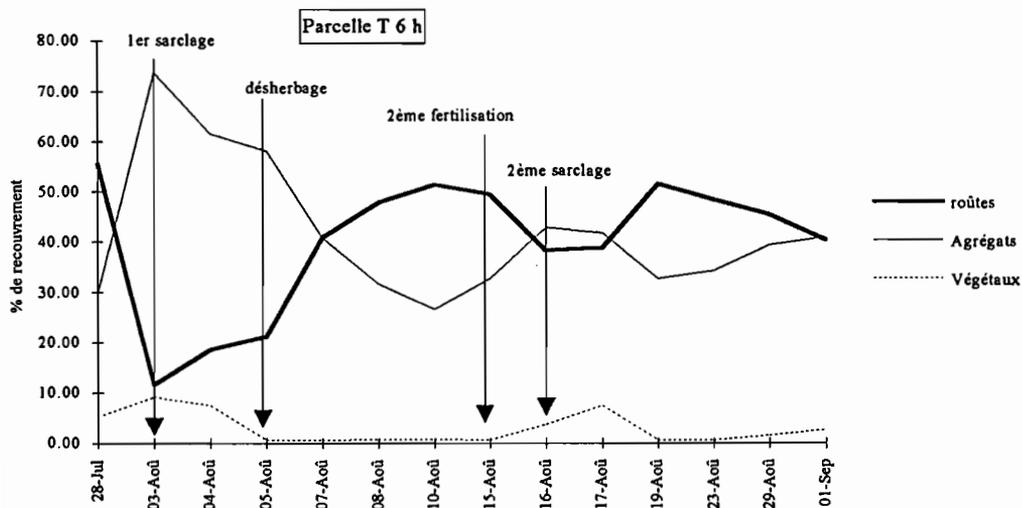


Figure N° 24: évolution des différentes organisations sur la surface de mesures de la parcelle T 6 b.

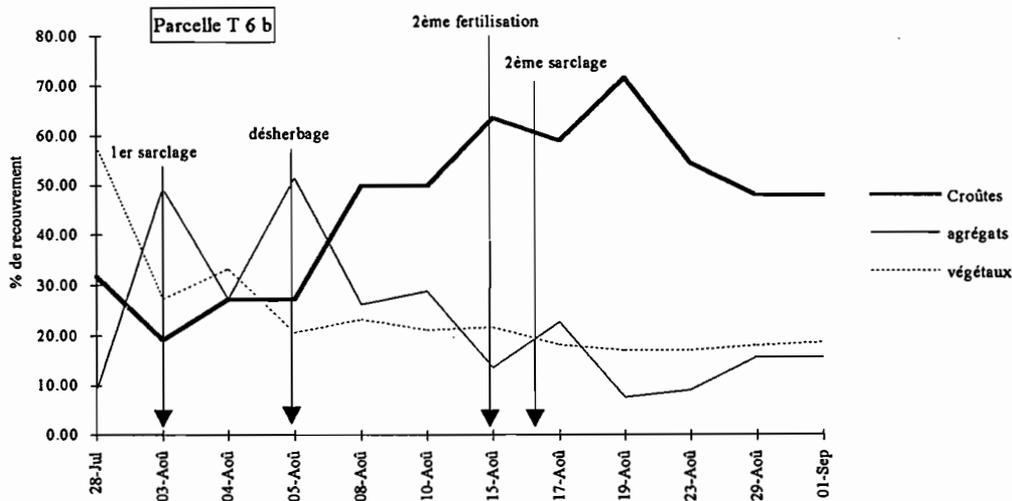
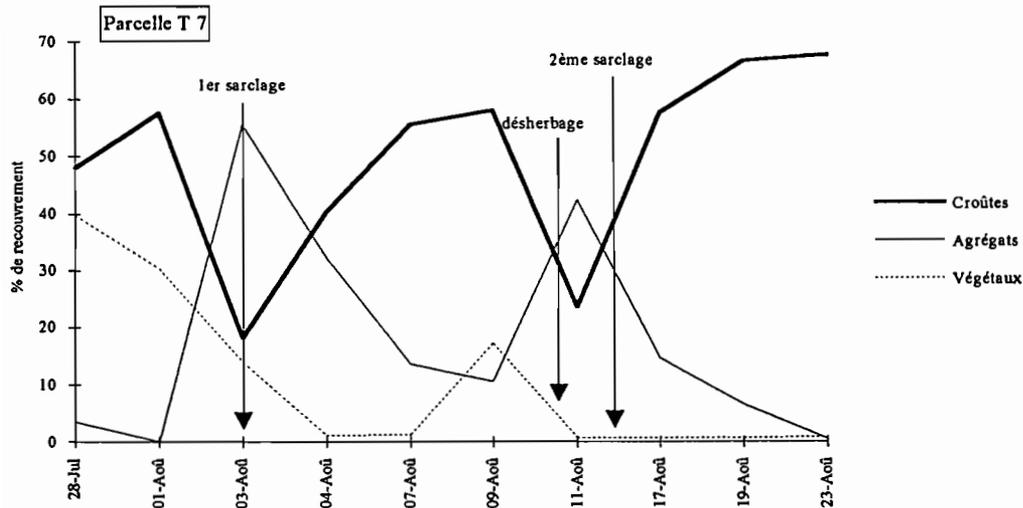


Figure N° 25: évolution des différentes organisations sur la surface de mesures de la parcelle T 7.



nous n'avons pu obtenir une corrélation entre la fonte des agrégats et la formation des croûtes. Mais, nous remarquons par l'intermédiaire des graphiques que ces deux transformations ont une dynamique inverse.

Le haut des parcelles T 4 et T 6 produisent plus d'agrégats lors des sarclages que le bas de leurs terrasses respective. Le désherbage a une incidence plus importante pour la parcelle T 3 par rapport aux autres parcelles, les différentes croûtes ont été largement détruites.

Nous pouvons aussi remarquer que la formation des croûtes fut plus rapide sur le bas des terrasses T 4 et T 6 qu'ailleurs. Cela peut s'expliquer par le fait que le bas des terrasses bénéficie de l'apport de matières provenant du haut de celles-ci, le ruissellement une fois enclenché entretient un déplacement de matière du haut vers le bas des terrasses qui favorise la formation rapide des croûtes.

Le sarclage ainsi que le désherbage n'ont pas déstructuré totalement les croûtes de la parcelle T 6. Il faut noter que le deuxième sarclage s'étant fait un peu en retard sur la période de culture, les plants de maïs avaient alors atteint une hauteur importante (plus de 1 m) ce qui a rendu le passage du soc difficile et non homogène sur cette parcelle. De plus, du fait de la forte humidité de cette parcelle, le remaniement du sol a produit peu d'agrégats, et la terre étant très plastique, elle ne s'est pas déversée sur les billons laissant ainsi un fort pourcentage de recouvrement de l'ancienne croûte d'érosion.

La parcelle T 7 se caractérise par une importante disparition des agrégats. Avant le premier sarclage, et quelques jours après le deuxième sarclage les agrégats ne sont plus dissociables sur la surface. En revanche les croûtes ont tendance à se former rapidement. C'est le caractère plastique du sol qui semble favoriser la désagrégation rapide des agrégats et la fermeture de la porosité.

- Conclusion

La quantité et la qualité des agrégats produits lors d'un remaniement de la surface dépendent avant tout de l'état du sol lors de l'exécution des travaux agricoles. Un sol de tepetate humide produit peu d'agrégats et la formation des croûtes est rapide, malgré une couverture végétale supérieure à 50%. Un sol sec produit plus d'agrégats et la formation des croûtes est moins rapide. A l'échelle d'une parcelle il existe une interaction entre le haut et le bas de la parcelle. Les croûtes se formeront en premier vers le bas de la parcelle, car cette partie reçoit les particules de matière mobilisable par le ruissellement. Quant au sol, la nature de ses constituants favorise ses mécanismes et la fonte de ses agrégats ainsi que la formation des croûtes sont rapides.

Nous devons faire une critique de l'outil point quadrat. En effet, ce dernier ne prend en compte que les points à la surface du sol, et pour obtenir un pourcentage de recouvrement de la végétation cet outil ne convient pas. Il ne faudrait pas utiliser d'aiguille trop lourde, mais une visée verticale pour l'oeil suffisamment haute pour incorporer les plantes ayant atteint une bonne hauteur, comme le maïs.

Figure N°26: évolution des différentes croûtes sur la surface de mesure de la parcelle T 3.

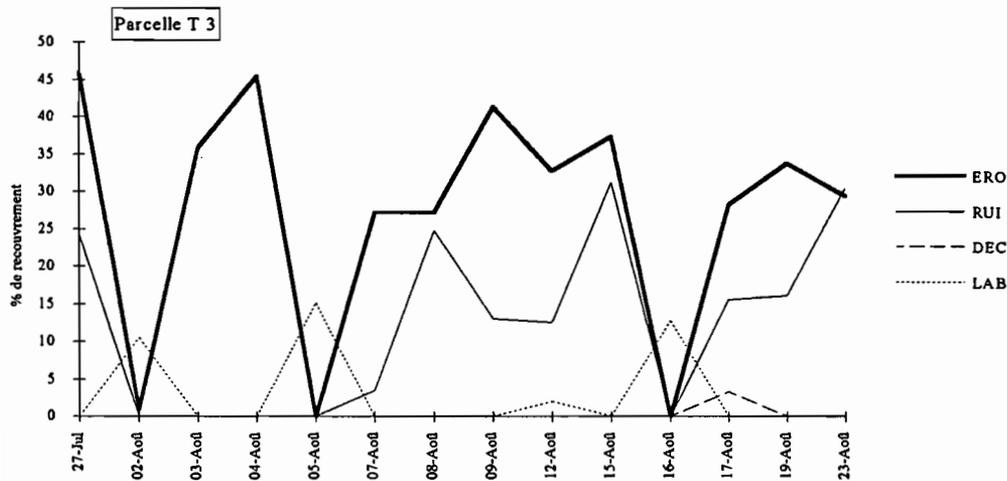


Figure N°27: évolution des différentes croûtes sur la surface de mesure de la parcelle T 4 h.

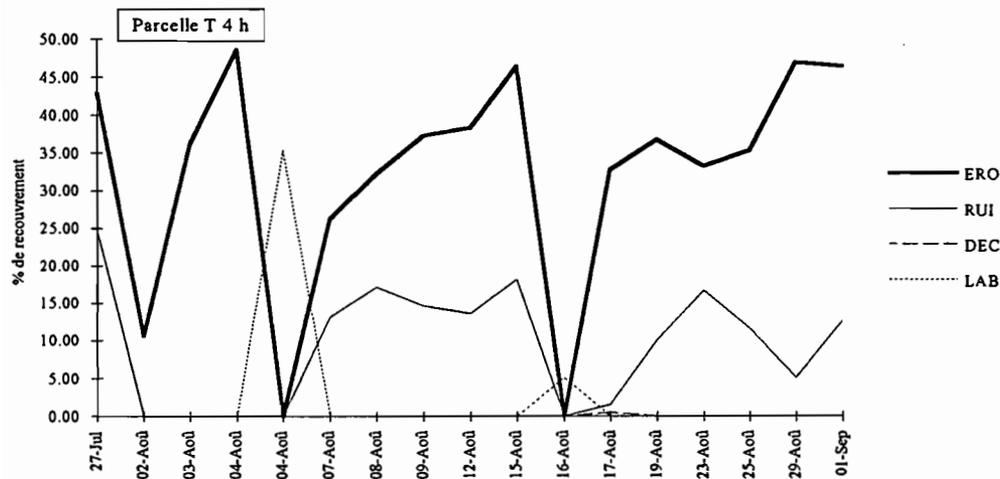
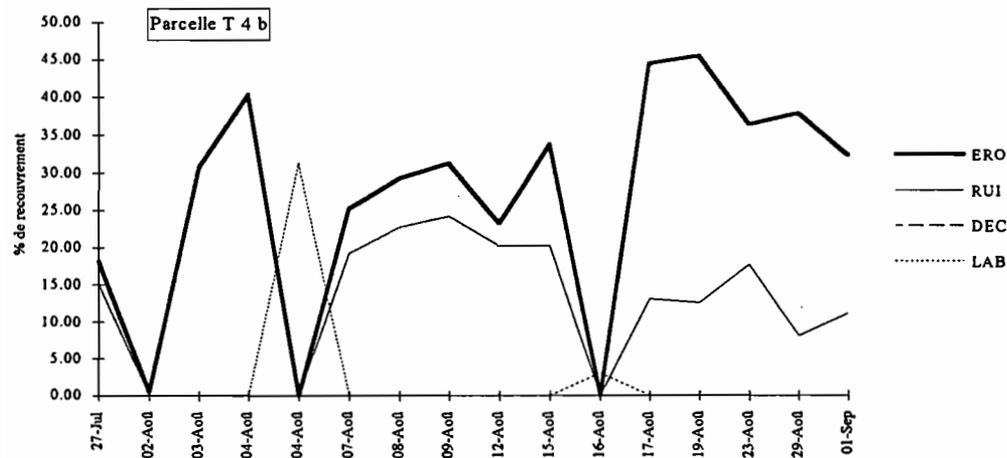


Figure N° 28: évolution des différentes croûtes sur la surface de mesure de la parcelle T 4 b.



- Dynamique de réorganisation des croûtes (ERO, RUI, DEC, LAB)

Nous considérerons ici l'ensemble des croûtes et du détail de leur réorganisation lors de chaque remaniement successif de la surface des parcelles.

Les figures N° 26 à 31 nous permettent de mettre en évidence certaines caractéristiques quant à la dynamique d'apparition des différentes croûtes.

La croûte de labour. LAB: celle-ci est le résultat au désherbage de l'action de la houe sur la surface. Après avoir arraché les adventices, la croûte de ruissellement se trouvant au centre des billons, est ramenée sur le haut des billons à la houe. Le passage de l'outil laisse alors une surface raclée, tassée, lissée, propice à la formation rapide de la croûte structurale. De plus, le matériau remanié très homogène sur les billons, est susceptible de produire de nombreuses particules facilement mobilisables par les premières pluies et ainsi participer à la transformation de la croûte des inter billons en croûte de ruissellement.

La croûte de décantation. DEC: cette croûte ne s'observe qu'après un temps assez grand suite au remaniement, pour que la croûte structurale se soit différenciée, et qu'il se soit produit une accumulation d'eau dans les dépressions des inter billons. Elle se caractérise soit par la présence de flaques, soit par une surface argileuse imperméable et sèche. Une fois formée, cette croûte sera l'endroit d'accumulation des excès d'eau. Chacun des dépôts est constitué de micro horizons où les éléments grossiers se retrouvent sous les éléments les plus fins. Ceux-ci se concentrent au centre de la dépression, les éléments plus grossiers se distribuent autour de la surface argileuse. Chaque micro horizon se compose de particules rangées dans un ordre granulométrique inverse de la loi de Stock. Les nombreuses vésicules dans la partie de micro horizons à granulométrie fine, sont le résultat d'un emprisonnement d'air au moment de l'impact des gouttes de pluies sur sa surface.

Lors de nos observations nous avons noté que les petits agrégats se retrouvent en majorité dans les inter billons sur la croûte de ruissellement. Durant nos mesures nous avons comptabilisé la croûte de ruissellement ainsi que la classe d'agrégat la recouvrant.

L'ensemble des parcelles de tepetates a une surface de recouvrement pour chaque croûte à peu près semblable (sauf pour la croûte de ruissellement sur la parcelle T 6). La parcelle T 7 possède un recouvrement plus important pour la croûte d'érosion, et moins important pour la croûte de ruissellement par rapport aux autres parcelles.

Le désherbage n'a pas détruit totalement les croûtes de décantation, ce travail se distingue par une légère dépression des croûtes d'érosion et ruissellement sur l'ensemble des graphiques.

La dynamique de formation de la croûte de ruissellement semble plus rapide sur la parcelle T4. Pour les autres parcelles, nous remarquons l'apparition de cette croûte quelques jours après le travail du sol. La croûte de décantation n'est presque pas présente, et celle de labour n'apparaît que lors du premier sarclage.

Figure N°29: évolution des différentes croûtes sur la surface de mesure de la parcelle T 6 h.

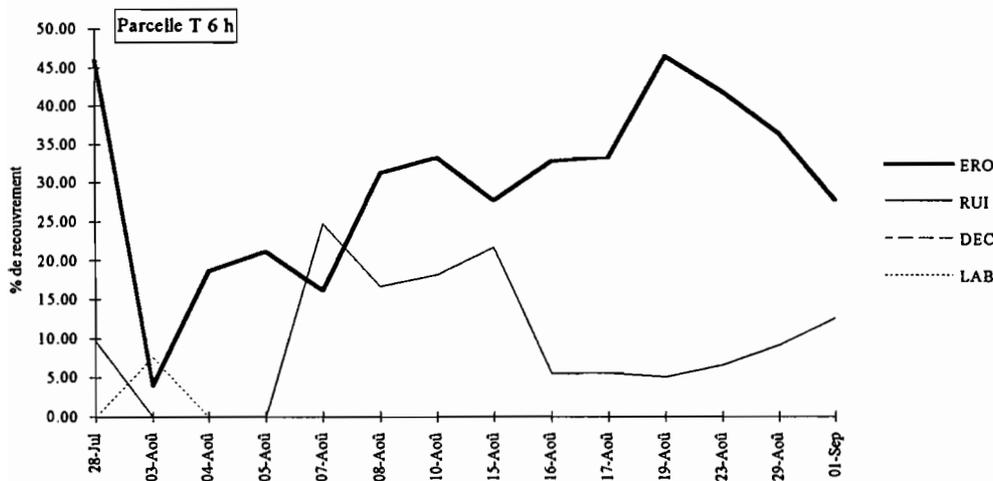


Figure N°30: évolution des différentes croûtes sur la surface de mesure de la parcelle T 6 b.

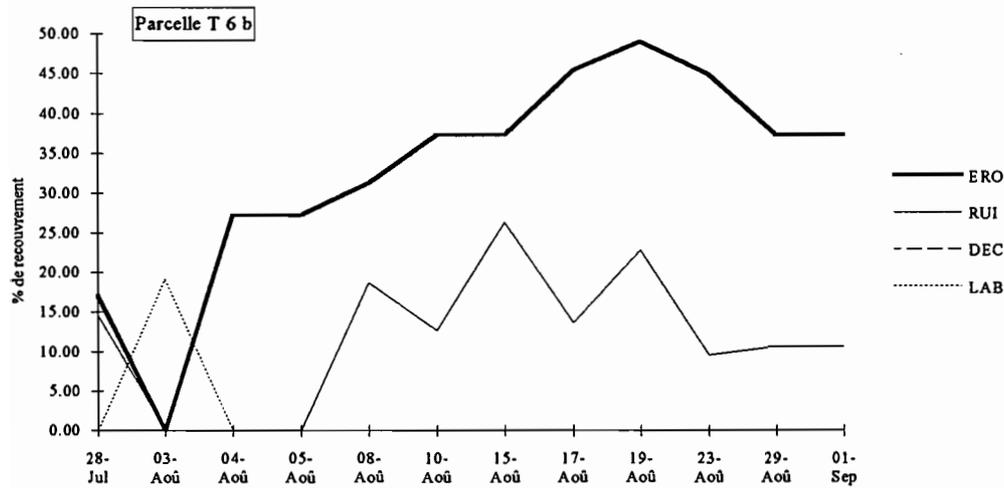
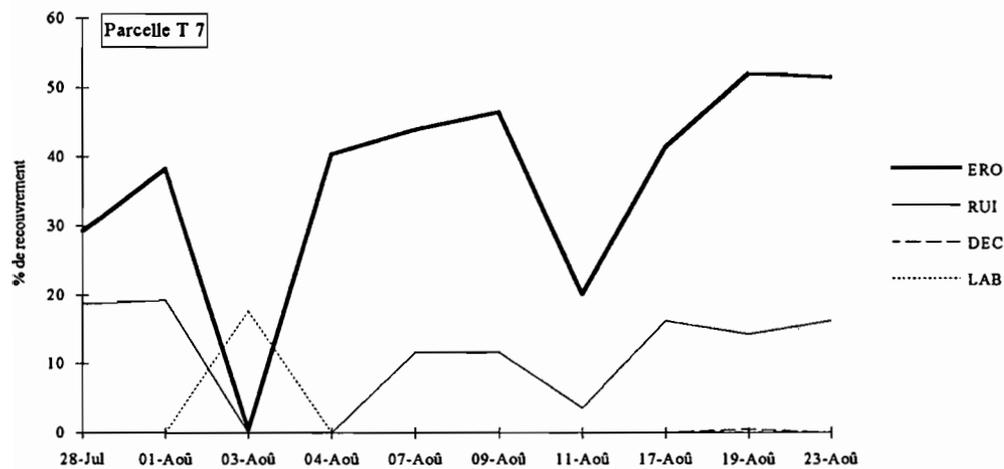


Figure N°31: évolution des différentes croûtes sur la surface de mesure de la parcelle T 7.



Nous pouvons observer que la croûte de ruissellement apparait après la croûte d'érosion, elle évolue de façon décalée par rapport à cette dernière. Mais étant le seul passage libre sur les parcelles, elle peut être remaniée par nos passages lors de prise de mesure, et son pourcentage de recouvrement est alors modifié (c'est d'ailleurs ce que nous pouvons observer sur la parcelle T 6). D'autre part, le bouleversement de la surface lors du second sarclage n'a pas détruit l'ensemble des croûtes surtout sur la parcelle T 6; en effet, le passage du soc à été interrompu car les pieds du point quadrat restés en place auraient pu blesser l'animal de trait.

La croûte de décantation apparait très peu sur l'ensemble de nos surfaces de mesures. Cela peut s'expliquer par le fait que nous ayons tassé de façon prononcée les bords autour du point quadrat en prenant nos mesures. A la longue, ces surfaces compactées et en légère dépression par rapport à la surface incluse dans le point quadrat, ont accumulé de nombreuses flaques autour du point quadrat, et ont constitué un passage préférentiel pour l'eau de ruissellement. Le résultat étant une absence de flaque, et donc de croûte de décantation dans la surface du point quadrat. Par contre, nous retrouvons une majorité de croûtes de ruissellement qui ont bénéficié pour leurs formations du passage de l'eau.

Nous pouvons remarquer aussi que la croûte de labour n'est apparue que lors du premier sarclage, le second sarclage peut être à cause de l'humidité plus importante du sol, n'a pas induit cette surface compactée par le passage du soc. Nous pouvons nous apercevoir sur l'ensemble des graphiques que cette croûte a induit l'apparition de la croûte de ruissellement de façon plus rapide que pour le second sarclage.

- Conclusion

La dynamique d'apparition des différentes croûtes dépend en grande partie de la façon dont a été remaniée la surface. Le premier sarclage a laissé une croûte lissée qui est le résultat du passage du soc, sa formation dépend de l'état hydrique de la parcelle, et elle se compose d'une surface tassée propice à la formation rapide de la croûte de ruissellement. La croûte de décantation n'est pas représentée correctement du fait des inconvénients de l'utilisation du point quadrat: tassement de la surface entourant le point quadrat, ce qui constitue une surface privilégiée pour l'accumulation d'eau. Le desherbage n'a presque pas structuré la surface, et le second sarclage a eu un impact moindre sur les terrasses, à très faible sur les surfaces de mesures de la parcelle T 6. D'autre part la surface de labour n'est apparue que lors du premier sarclage sans doute à cause d'une humidité plus importante au deuxième sarclage. La croûte de ruissellement se forme après la croûte d'érosion dans un délai qui varie très peu, sauf pour la parcelle T 4 où la dynamique de formation semble plus rapide.

3.3.4.2. L'exportation de matière

+ Résultats et interprétations

- L'exportation de matière

Un graphique des moyennes des points perpendiculaires aux billons permet de visualiser en coupe la variation des moyennes des hauteurs (voir annexes N° 4), et d'obtenir une hauteur, moyenne de l'ensemble de la surface du point quadrat. Cette hauteur nous permet d'obtenir un certain volume de terre pour une date donnée. En comparant ces volumes nous obtenons les variations en volume de matière exportée.

Tableau N°11: Déplacement de matière sur la surface du point quadrat (en cm³)

	T 3	T 4h	T 4b	T 6h	T 6b	T 7
Fertilisation et épandage (T 4)	-89,1	-87,12	-152,46	-61,38	-1,98	920,7
Premier sarclage	+138,6	+116,82	+19,78	+21,78	+33,66	+223,74
Du Premier sarclage au jour avant le désherbage	-43,56	-79,2	-176,22	-8,96	-75,24	X
Désherbage	+31,68	+51,48	+27,72	+49,5	+43,56	-116,82
Du désherbage au jour avant le deuxième sarclage	-21,78	-142,56	-5,94	-186,12	-9,9	-7,92
Deuxième sarclage	+136,62	+5,94	+118,8	+45,54	+1,98	+176,22
Du deuxième sarclage à la fin des mesures	-81,18	-83,16	+45,54	-425,7	-419,76	+79,2
Total	71,28	-217,8	-122,76	-552,42	-427,68	1275,12

+: importation de matière sur la surface de mesure

-: exportation de matière sur la surface de mesure

Le tableau N°11 permet d'apprécier les caractéristiques de chacun des travaux sur le bouleversement superficiel, et l'exportation ou l'importation de matière que ces derniers engendrent. Il faut alors être très vigilant car l'épandage de matière organique (pour la parcelle T 4) et la fertilisation sont des intrants de matière qui peuvent laisser croire que la surface d'étude gagne en volume. En fait, le mode d'épandage influe énormément sur le déplacement de matière.

Pour la fertilisation minérale, les engrais minéraux sont enfouis au pied en raclant la surface, il en est de même pour la matière organique, les mouvements des pieds déplacent la matière de façon inégale, et tassent la surface. Aussi, il est compréhensible que ces apports entraînent parfois une exportation de matière.

Le sarclage redistribue la matière des inter billons sur les versants des billons et sur les billons; il procède à une fragmentation de la surface et à son aération superficielle. Aussi, il est logique d'obtenir une variation positive à chaque sarclage. Sur les parcelles T 4 et T 6, le sarclage entraîne un gain de matière très faible par rapport aux autres. Cela est dû au passage du socle, qui au lieu de déplacer la matière verticalement de bas en haut entraîne celle-ci dans un mouvement horizontal. Nous observons cela surtout lorsqu'il existe de nombreux résidus végétaux sur la surface, ces derniers s'enchevêtrent autour du soc, et balayent la terre.

Figure N°32: évolution des organisations de surface en fonction des déplacements de matière sur la surface de mesure de la parcelle T 3.

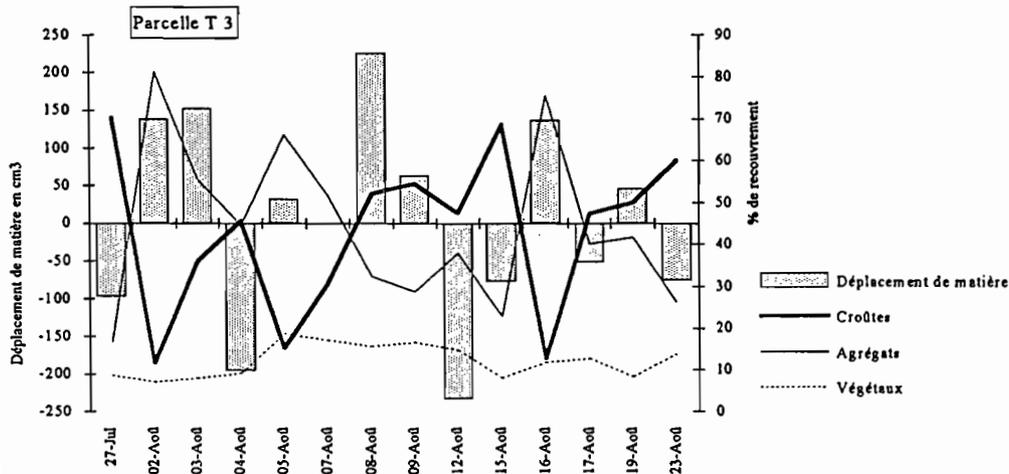


Figure N°33: évolution des organisations de surface en fonction des déplacements de matière sur la surface de mesure de la parcelle T 4 h.

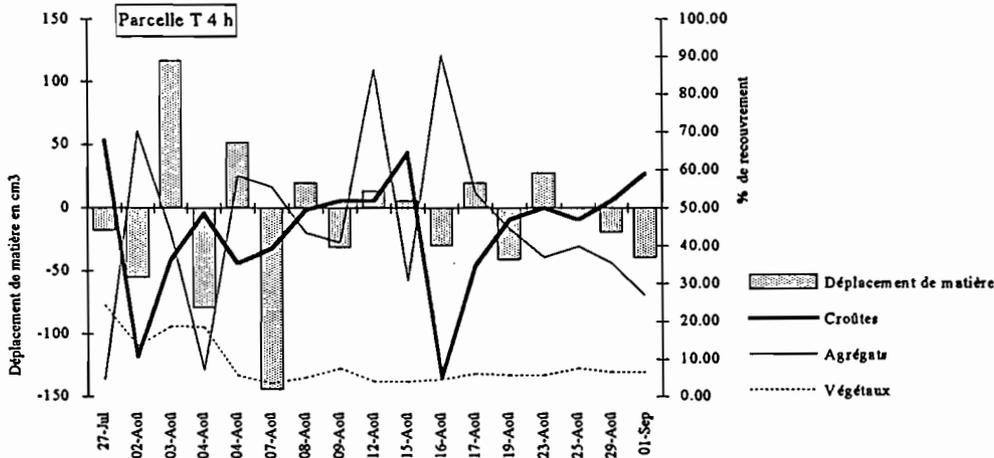
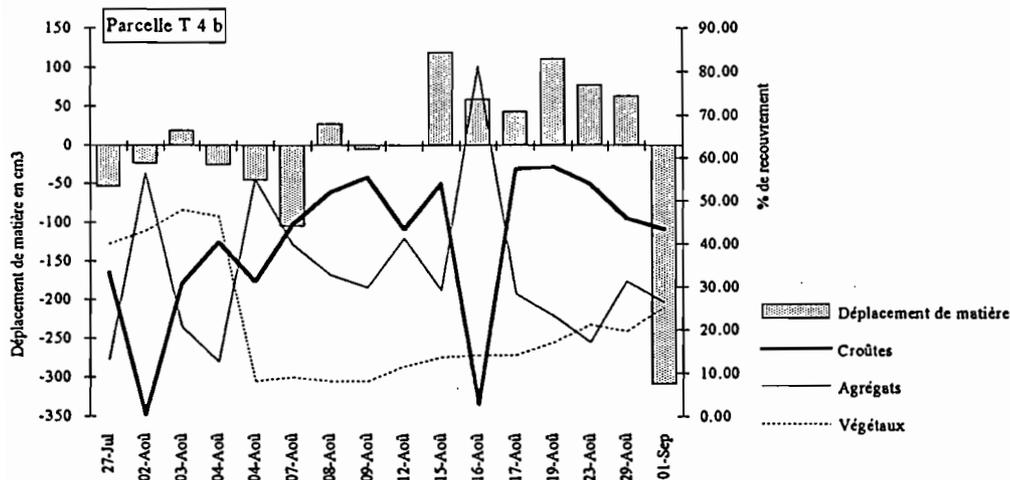


Figure N°34: évolution des organisations de surface en fonction des déplacements de matière sur la surface de mesure de la parcelle T 4 b.



De façon générale l'exportation de matière s'effectue entre deux bouleversements de la surface. Chacun des travaux de la surface entraîne un gain de matière pour l'ensemble des parcelles.

Respectivement, le gain de matière a été le plus important lors du premier sarclage pour les surfaces de mesures T 3 et T 4 h, lors du second sarclage pour T 4 b et T 7, et au désherbage pour T 6. La perte de matière a été la plus importante durant la période du premier sarclage au désherbage pour la surface T 4 b, au désherbage pour T 7, du désherbage au second sarclage pour T 4 h, et du second sarclage à la fin de nos mesures pour T 6.

C'est la parcelle T 6 qui aurait perdu le plus grand volume de matière au niveau des surfaces de mesures, elle est aussi la parcelle dont l'inclinaison est la plus forte. La parcelle T 4 se caractérise par un volume exporté au niveau de ses surfaces inférieur à la parcelle T 6, mais supérieur à la parcelle T 3. Nous devons alors rappeler que les terrasses T 4 et T 6 possèdent deux surfaces de mesures, en haut et en bas, alors que la parcelles T 3 et T 7 n'en possèdent qu'un en leurs centres. Aussi, la position du point quadrat aurait peut être une influence sur la mesure du volume de matière exportée. En bas des terrasses T 4 et T 6 la perte de matière est moins importante qu'en haut de ces terrasses. En effet, le déplacement horizontal par ruissellement de la matière s'effectue de l'amont vers l'aval des parcelles, il est donc logique que cet apport de matière vers le bas des terrasses comble l'exportation sur cette surface et atténue le volume total. Le point quadrat sur les terrasses T 3 et T 7 serait placé de telle manière que la surface recevrait plus de matière qu'elle n'en exporte. Nous devons alors rappeler que les pieds n'étant pas fixés solidement, il serait alors possible qu'un léger enfoncement de ces derniers même imperceptible lors de nos mesure pourrait en être responsable.

- Conclusion

Les déplacements de matière s'effectuent de l'amont vers l'aval. Lors du remaniement de la surface nous observons sur les surfaces de mesures une importation de matière qui est due à la décompactation du matériel. Entre deux remaniements nous observons une exportation de matière, provenant du tassement, et de l'érosion de la surface. Aussi, la quantité de matière exportée dépend de la façon dont à été travaillé le sol en profondeur comme le sarclage ou superficiellement comme le désherbage. L'humidité de la surface influence alors la production de particules qui seront mobilisées pour la fermeture de la porosité

- Evolution des différentes organisations en fonction du déplacement de matière

En observant les évolutions des différentes organisations et les déplacement de matière par l'intermédiaire des figures N° 32 à 37, nous tenterons d'apprécier leur influence sur l'exportation ou l'importation de matière sur les surfaces de mesures.

Nous pouvons remarquer que la dynamique du déplacement de matière n'est pas régulier en fonction de l'apparition et la disparition des différentes organisations. Nous observons une exportation de matière sur la fin de notre période de mesures sur toute les parcelles après une augmentation de la surface de recouvrement des croûtes.

Figure N°35: évolution des organisations de surface en fonction des déplacements de matière sur la surface de mesure de la parcelle T 6 h.

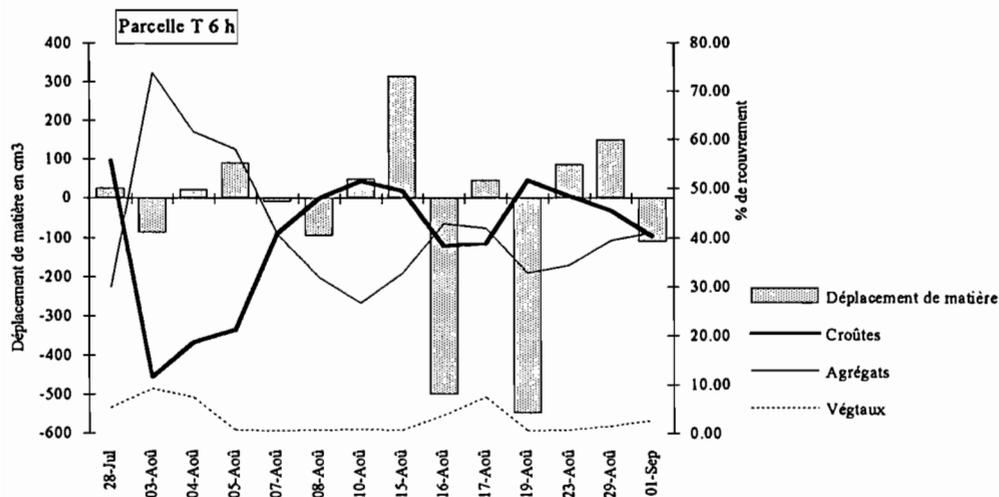


Figure N°36: évolution des organisations de surface en fonction des déplacements de matière sur la surface de mesure de la parcelle T 6 b.

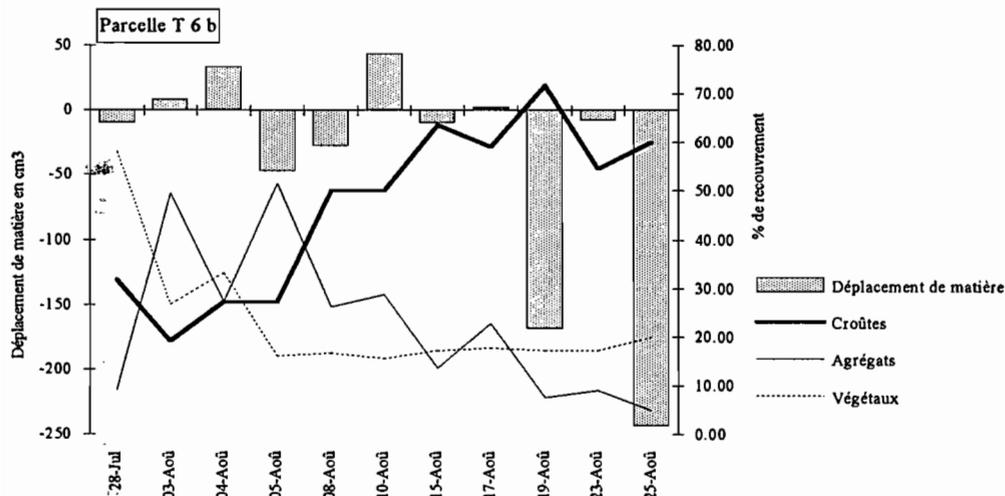
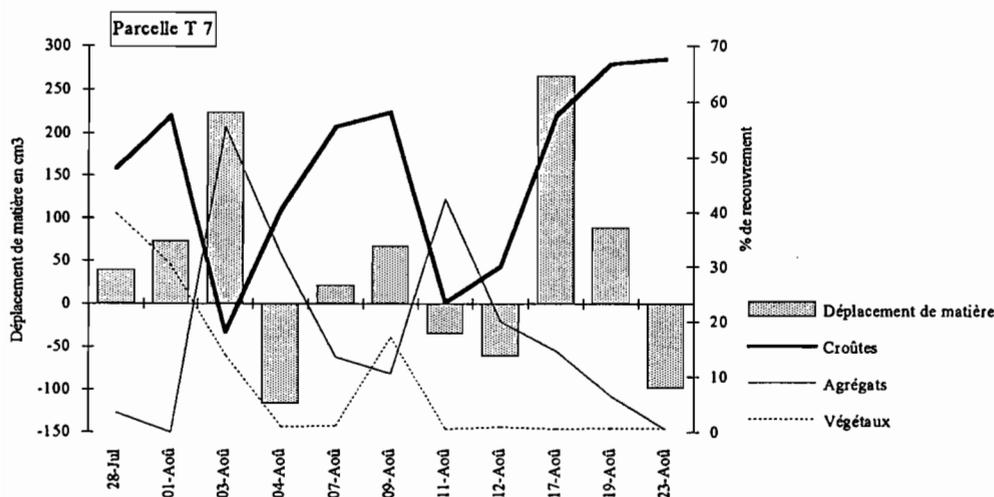


Figure N°37: évolution des organisations de surface en fonction des déplacements de matière sur la surface de mesure de la parcelle T 7.



Pour la parcelle T 3 nous observons un gain de matière lorsque les différentes croûtes ont disparues et que les agrégats ont une surface de recouvrement supérieur à 50%. Par contre, pour les autres surfaces de mesures, ce phénomène n'est pas aussi clair. Pour la parcelle T 4 h l'importation de matière et l'exportation s'alternent sans suivre la formation des croûtes, par contre ces mouvements semblent accompagner l'apparition et la désagrégation des agrégats. Pour la parcelle T 4b la disparition des croûtes et l'apparition des agrégats semblent entraîner une exportation de matière, mais après le 15 août le remaniement de la surface lors du second sarclage a atténué un mouvement d'importation sans amener une exportation. Pour la parcelle T 6 nous pouvons remarquer une forte amplitude de déplacement de matière après le 15 août.

- Conclusion

Le déplacement de matière, que ce soit une importation ou une exportation sur la surface du point quadrat, ne semble pas directement influencé par la formation ou la disparition des croûtes et des agrégats de cette même surface. Nous pouvons remarquer tout de même une forte exportation quelques jours après la formation des croûtes, mais les remaniements de la surface étant rapprochés, cette observation ne se confirme pas dans le temps. Nous pouvons alors rappeler que la surface du point quadrat est aussi un lieu de passage de la matière de l'amont vers l'aval par ruissellement. Les déplacements de matière s'effectuent sur l'ensemble des parcelles à des amplitudes et des fréquences différentes en fonction du point considéré, et cela a pu influencer nos mesures. Aussi, ce ne serait qu'une fois les croûtes bien formées et les agrégats complètement inclus à la surface, que nous pourrions observer une véritable usure de la surface avec un déplacement local de matière.

Synthèse et conclusion

1. Dynamiques des réorganisations superficielles sous l'action des pluies

Notre étude a permis de mettre en évidence le processus global de la réorganisation structurale de la surface des parcelles de tepetates et de sol éolico-columbial cultivé. Cette évolution comporte deux phases principales communes aux deux matériaux, mais différentes dans leurs caractéristiques.

1.1. La formation de la croûte structurale

La croûte structurale est le résultat de la fermeture de la porosité superficielle et d'un tassement de la surface.

L'ensemble des travaux sur les parcelles mises en cultures confère à leur surface une rugosité importante, ainsi qu'une perméabilité adéquate pour la montaison des végétaux. Cette surface remaniée se compose alors d'agrégats de calibres différents et de particules fines libres. Nous assistons à la mobilisation de ces micro particules par l'impact des gouttes de pluies, et leur rejaillissement. Les agrégats aussi, par la dégradation de leur cohésion due au travail mécanique des gouttes de pluie et au phénomène d'humectation-dessiccation, produisent des particules mobilisables. Dans leur déplacement ces particules vont petit à petit colmater la porosité superficielle. Les gouttes d'eau tassent la surface et l'infiltrabilité de l'horizon superficiel se dégrade. La croûte structurale ainsi formée recouvre l'ensemble de la surface de la parcelle non protégée par un couvert végétal.

1.2. L'évolution de la croûte structurale

Dès la formation de la croûte structurale, l'infiltrabilité se dégrade, et nous assistons à l'accumulation d'eau en surface qui ruisselle, forme des flaques et entraîne les particules dans son déplacement.

L'eau tombant à la surface, n'est plus absorbée par le sol dont l'infiltrabilité de l'horizon supérieur est pratiquement nulle, il s'en suit une accumulation d'eau dans les dépressions du micro relief, et un écoulement laminaire. Les micro particules initialement libérées par l'effet mécanique de l'impact des gouttes, se retrouvent en phase liquide et sont transportées par la lame d'eau. Nous assistons alors à une usure hydrique horizontale et au tassement de la croûte structurale sur les reliefs, il se constitue alors une croûte d'érosion. Parallèlement, les particules en phase liquide sont déposées dans un mouvement horizontal dans les parties basses du relief, que sont les inter billons, et constituent la croûte de ruissellement. Lorsque ce dépôt s'effectue sans mouvement, par décantation de l'eau dans une flaque, les particules se rangent dans un ordre granulométrique inverse à la loi de Stock et constituent une croûte de décantation. Celles-ci se composent de nombreux micro horizons résultant des dépôts différents.

Cette deuxième phase correspond à la différenciation des croûtes et leur spécialisation en fonction des zones hautes et basses du relief.

Le déroulement de la réorganisation superficielle peut se résumer en quatre étapes (Ruiz Figueroa. J. F., 1983):

- fragmentation des agrégats du sol,
- pénétration des particules dans les premiers millimètres du sol et leurs dépôts dans les interstices,
- compactation de la surface du sol qui forme une mince pellicule en surface, réduit l'infiltration de l'eau et bloque la pénétration ultérieure des particules fines dans les interstices,
- dépôt des particules fines en suspension dans l'eau, restées à la surface.

2. Les acteurs de la réorganisation superficielle

2.1. L'agent direct: le climat

Le travail d'une parcelle est un déséquilibre de l'interface sol/atmosphère, où la superficie du sol est fragilisée par sa fragmentation. La pluie est alors le facteur principal qui bouleverse et réorganise directement cette surface, jusqu'à atteindre un nouvel équilibre dynamique. Chaque pluie possède ses propres caractéristiques, l'évolution de cette réorganisation sera fonction de:

- L'énergie cinétique des gouttes d'eau possédant chacune une masse particulière, elle influe directement sur l'intensité de l'impact de celles-ci. Plus cette énergie est importante plus le choc mécanique, le rejaillissement, et le tassement du sol seront potentiellement forts.

- L'intensité des événements pluvieux influe sur la dynamique de réhumectation de la surface et de ses éléments. Une humectation rapide par une pluie violente favorise l'éclatement des agrégats, la dispersion des ciments, et l'entraînement des particules.

- La fréquence des événements pluvieux et leur alternance avec un rayonnement solaire important influent sur la dynamique des réorganisations, mais aussi l'état hydrique du sol et de ses organisations. Un sol sec est propice à l'éclatement, alors qu'un sol humide est favorable à la dispersion de ses particules. Elle conditionne le phénomène d'humectation-dessiccation qui agit sur le gonflement et la rétraction des argiles, entraînant ainsi la fragilisation des matériaux.

2.2. Les facteurs secondaires influençant la dynamique de la réorganisation superficielle

Nous avons pu mettre en évidence que certaines caractéristiques des matériaux et de leur préparation influencent directement l'action de l'agent direct sur les différentes organisations de la surface.

2.2.1. Les facteurs agronomiques

2.2.1.1. La fragmentation de la surface

La granulométrie initiale due au terrassement des parcelles se retrouve après deux années de cultures, et les fines particules directement mobilisables par le rejaillissement et la désagrégation favorisent la formation et l'extension de la croûte structurale. Par contre les agrégats sensibles à la désagrégation pour le sol éolico-coluvial, et au phénomène d'humectation et dessiccation pour les parcelles de tepetates, sont garants d'une certaine rugosité de la surface. Les agrégats de petits calibres sont facilement désagrégeables, à l'inverse des gros agrégats (> 5 cm) qui présentent une fonte moins rapide, et donc une production de micro particules plus lente. Le sarclage destructure la surface et produit de gros agrégats en ramenant la terre des inter billons sur les billons, mais l'ancienne croûte d'érosion reste en place, et est simplement recouverte. Le désherbage destructure la surface de façon superficielle, en produisant des particules fines. La formation de la croûte structurale est alors plus rapide par rapport au sarclage.

2.2.1.2. La profondeur du terrassement

Entre le début et la fin de la campagne de culture, le ruissellement a exporté un volume de matière plus ou moins important suivant les parcelles. Ce qui se traduit par un rapprochement de la semelle de labour aux endroits de départ. Cette surface très perméable favorise l'accumulation d'eau sous forme de flaques, et le ruissellement lorsque la pente est importante (>2%). Ce phénomène s'accroît dans les dépressions (dans notre cas vers les bords des parcelles). Lorsqu'elle est affleurante dans les inter billons les horizons supérieurs ne constituent plus un support d'ancrage solide pour les plantes, et les billons sont alors susceptibles d'être emportés plus facilement.

2.2.1.3. Les travaux agricoles

La fréquence des travaux d'entretien des cultures implique une restauration de la porosité de l'infiltration, et de l'aération de la superficie des parcelles, mais elle produit aussi par désagrégation mécanique de nouvelles particules mobilisables et susceptibles d'être rapidement exportées par les premières pluies. Ces remaniements de la surface ont une influence sur les réorganisations superficielles qui s'exercent à trois niveaux.

- La fréquence des travaux

Des travaux rapprochés ne constituent pas un délai suffisant pour que la croûte structurale S T 1 se différencie en croûte d'érosion et de ruissellement. Si le temps est assez important, (plus de 5 jours) les croûtes ERO, RUI recouvriront toute la surface, et la croûte de ruissellement se caractérisera alors par de nombreux micro horizons perméables, le ruissellement prendra alors de l'ampleur. D'autre part nos passages répétés lors de la prise des mesures sur les parcelles déstabilisent la dynamique de réorganisation, et favorisent l'apparition de particules facilement mobilisables. Aussi, nous pouvons émettre l'hypothèse que nos parcelles perdent plus de matière que des parcelles auxquelles ne seraient affecté que les travaux de désherbage, sarclage et épandage.

- La fragmentation de la surface

Le travail du sol se différencie dans la qualité des agrégats produits et du retournement de la terre des inter billons sur les billons, par la présence ou non d'adventices ou d'engrais végétal comme la vesce, de l'humidité de la surface, et de la hauteur des végétaux. En effet, le sarclage laisse une surface tassée propice à la formation d'une croûte de ruissellement, il peut aussi balayer les agrégats de la surface si des adventices s'enchevêtrent avec le soc, et il peut recouvrir les jeunes plants. Si l'humidité est importante le sarclage produit de grosses mottes et des agrégats de gros diamètre. Quant au désherbage, ce travail ne retourne pas la terre en profondeur mais a tendance à produire de nombreuses particules fines facilement mobilisables par les premières pluies.

- Le remaniement du relief

Au cours de la campagne de culture, les billons de chaque parcelle ont été inversés. Les sarclages ont ainsi rapproché la semelle de labour et la surface de tepetates non fragmentée. Cette surface très imperméable favorise l'accumulation d'eau sous forme de flaques. D'autre part, les billons perpendiculaires à la pente freinent le ruissellement en créant des dépressions successives, et leur faible cohésion sur la surface du tepetate non fragmenté, les fragilisent; des tronçons de billons peuvent aussi disparaître en formant des griffes d'érosion. Cela s'observe surtout dans les faibles dépressions Est des parcelles servant à ramener les eaux de ruissellement vers l'exutoire.

2.2.1.4. La nature des intrants

Le faible taux d'azote et de carbone des parcelles de tepetates justifie un apport d'engrais minéraux. Cet apport ne semble pas influencer directement la cohésion des structures du micro relief, mais il les protège indirectement en favorisant la croissance des végétaux.

L'épandage de matière organique semble participer à une certaine cohésion des agrégats qui se désagrègent plus lentement sur la parcelle T 4, les agrégats de structure grumeleuse se désagrègent moins rapidement. D'autre part, les fibres ainsi apportées semblent favoriser une cohésion globale de la structure en réduisant la formation des griffes d'érosion. En effet, la pellicule hydrophile déposée par les acides humiques retarderait l'humectation des agrégats et donc leur désagrégation.

2.2.1.5. La végétation

L'effet protecteur de la couverture végétale sur les bouleversements superficiels est incontestable. La surface bénéficie en fonction de la croissance végétale d'une protection physique contre l'effet de l'impact des gouttes d'eau, du maintien d'un taux d'humidité favorable, et d'une cohésion de ses horizons par l'enracinement des plantes. Le maïs par son système racinaire fasciculé n'est pas aussi stabilisant que les haricots et les fèves. Les haricots et les fèves ont un recouvrement de la surface pendant la montaison plus important que le maïs, mais à la maturation la surface occupée par le maïs est supérieure. Par contre pour le cas de la polyculture de maïs, haricot, fève, la hauteur des haricots étant faible lors du sarclage, ils se retrouvent souvent enfouis sous des amas de terre. Nous devons remarquer que l'outil point quadrat n'est pas adapté pour observer le recouvrement de la végétation tout au long de son stade de croissance, ce dernier étant limité par la hauteur de son cadre, et le poids trop lourd des aiguilles qui ne s'arrêtent pas sur les feuilles.

2.2.2. Les facteurs pédologiques

La différence de comportement entre les parcelles de sol éolico-coluvial, et celle de tepetates consiste en une grande sensibilité du premier matériau à la désagrégation par l'effet mécanique des pluies, et à une fragilité du tepetate t 3 au phénomène d'humectation-dessiccation. Cela peut s'expliquer par des différences de stabilité structurale des deux matériaux, qui seraient définies par les caractéristiques du sol.

2.2.2.1. La nature des matériaux

Pour les tepetates, le fort taux d'argile confère aux agrégats et à la surface une cohésion importante, mais une fragilité à la fissuration et au phénomène d'humectation-dessiccation plus marqué que pour le sol. Les agrégats des tepetates se désagrègent moins rapidement que les agrégats du sol, cela est dû à leur structure massive qui limite l'humectation rapide et profonde des agrégats. Pour le sol, le fort taux de sable induit une faible cohésion du matériau propice à la désagrégation sous l'effet mécanique des impacts des gouttes de pluie, et à l'humectation rapide des agrégats qui se désagrègent rapidement. La différence du pourcentage de cations échangeables dans les deux matériaux pourrait être un facteur influençant directement cette stabilité structurale, et le fort taux de calcium des tepetates contribuerait à cette stabilité.

2.2.2.2. L'humidité superficielle

L'humidité de la surface des parcelles influence directement la dynamique de désagrégation des agrégats. La vitesse de désagrégation dépend en partie de l'état hydrique des agrégats. Des agrégats secs seront sensibles à l'éclatement lors de leur réhumectation rapide, alors que des agrégats humides seront plus sensibles à la désagrégation mécanique. Ces différences de comportement seraient essentiellement liées à l'état des liaisons physico-chimiques des argiles; l'apport de matière organique solidifie ces liaisons.

D'autre part, lors du remaniement de la surface, un sol sec produira en majorité des petits agrégats facilement mobilisables alors qu'un sol humide produira des agrégats de gros calibre. Ces

dernières ont tendance à retarder la fermeture de la porosité de la surface, car ils préservent une forte rugosité et des espaces interstitiels importants.

2.2.3. Les facteurs géomorphologiques

Le principal facteur géomorphologique ayant une influence directe sur la réorganisation superficielle est la pente des parcelles. Une forte pente augmente l'intensité de ruissellement et de la formation de griffes d'érosion, qui se traduit par un départ important de matière. Une pente faible favorise par contre l'accumulation d'eau dans les billons.

La figure suivante peut résumer la dynamique des réorganisations superficielles.

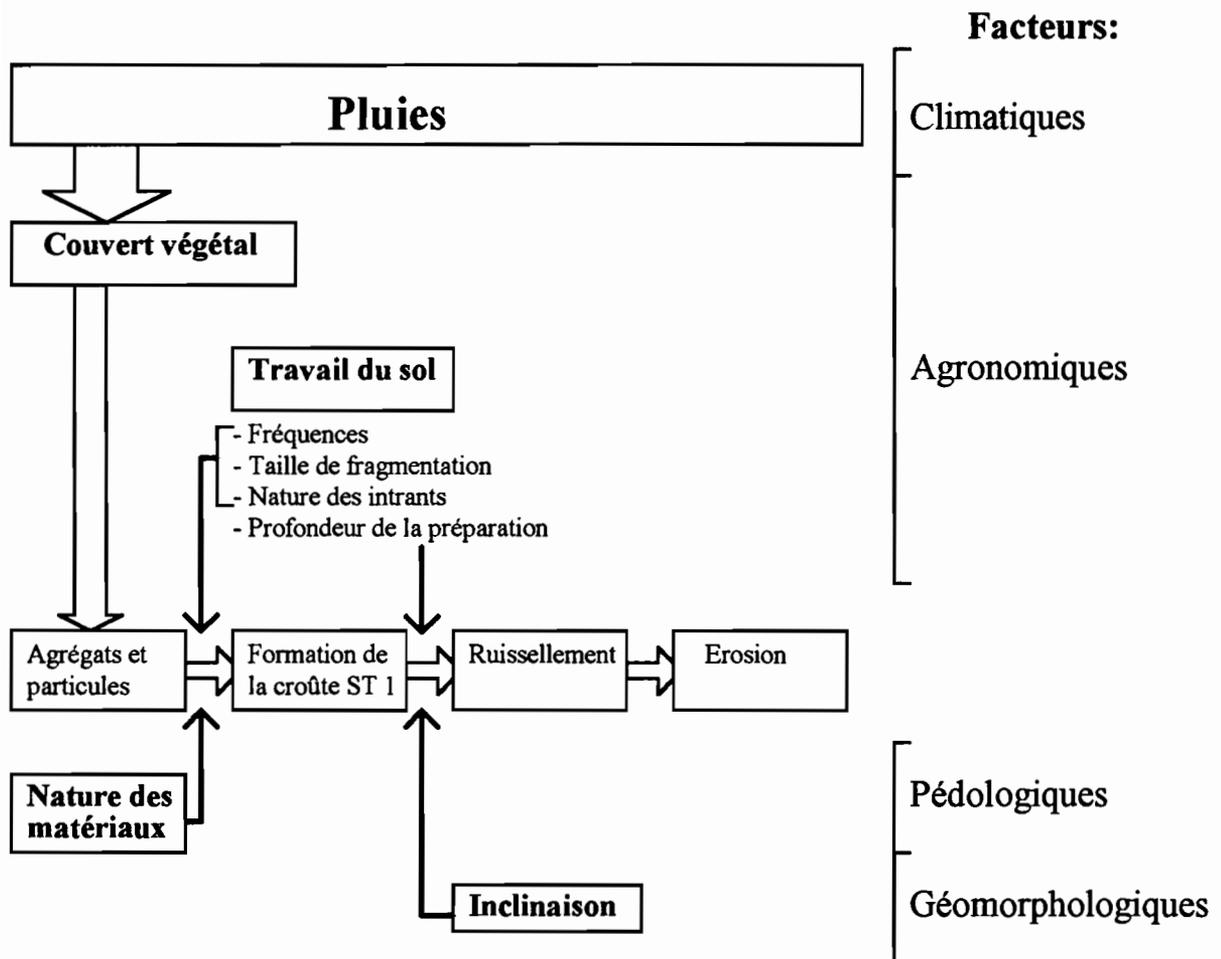


Figure N° 33: dynamique des réorganisations superficielles sur parcelles cultivées

3. Influence de la réorganisation superficielle

Notre période d'étude ne comportant pas la levée des plantules nous ne pourrions qu'émettre des hypothèses sur ce sujet. Une croûte structurale formée doit gêner la levée des cultures. Et, dans l'hypothèse où la saison des pluies n'a pas encore commencé, cette croûte se formerait plus rapidement dès les premières pluies sur les parcelles ne recevant pas d'engrais organique. D'autre part, une fois formée cette croûte se différencie en croûte d'érosion et de ruissellement, et engendre un tassement de la surface et un départ de particules. Suivant l'intensité de ruissellement qui dépend des facteurs que nous avons vus précédemment, les conséquences sur les parcelles sont tout d'abord un transfert de matière.

Ce transfert engendre sur le haut des parcelles le rapprochement de la surface de tepetates non remaniés, et donc la proximité d'une surface perméable susceptible d'amplifier le ruissellement, et de freiner la croissance des racines. D'autre part l'érosion fragilise la cohésion des billons qui peuvent s'effondrer à certain endroit en ne procurant plus un support solide aux plantes. Sur l'ensemble des parcelles, les plantes en monoculture ou polyculture avaient à la même date une croissance plus avancée vers le bas des parcelles par rapport au haut.

L'accumulation en aval de cette matière favorise la formation des croûtes de ruissellement et de dépôts, ce qui se traduit par une accumulation d'eau et un fort tassement de la surface. Ce tassement réduit l'infiltration de l'eau et l'aération qui peut être alors néfaste à la bonne croissance des plantes, mais moins important que le départ de matière en amont.

Pour la parcelle de sol éolico-columbial, la conséquence de la réorganisation est avant tout une fermeture rapide de la porosité de la surface. La pente étant faible nous avons remarqué une forte accumulation d'eau dans les inter billons et malgré une importation de matière importante sur notre surface de mesure, pratiquement aucune exportation ne s'est effectuée hors de la parcelle.

S'il n'existait pas de talus pour retenir les eaux de ruissellement il semble évident que l'exportation s'effectuerait hors des parcelles. Les conséquences de l'érosion ont alors une plus grande ampleur, puisque cette eau turbide rejoint les réseaux hydrographiques de la région et entraîne une pollution qui peut avoir des répercussions importantes quant à la qualité de l'eau domestique. D'autant plus que la demande en eau s'accroît en même temps que la densité de population dans la vallée de Mexico.

4. Recherche de solutions

La première phase de la dégradation structurale superficielle est la dégradation de l'infiltrabilité de la surface, celle-ci engendre un ruissellement qui est le précurseur de l'érosion. Plusieurs facteurs favorisent ce phénomène à des niveaux différents.

Pour entraver et diminuer l'ampleur de l'érosion à l'échelle des terrasses, la technique de billonnage isohypse constitue un frein au ruissellement, mais la pente ne doit pas être trop

importante car les billons risqueraient d'être emportés aux endroits en légère dépression de la parcelle.

Une pente faible pourrait réduire le déplacement de matière par érosion de l'amont vers l'aval des parcelles, mais l'absence de pente amène une accumulation d'eau dans les inter billons. Aussi, l'engorgement de la surface des parcelles de tepetates mais aussi de sol éolico-coluvial pourrait être réduit en améliorant le drainage des parcelles sans inclinaison, par exemple en aménageant des petits canaux de drainage autour des parcelles, inclus dans la surface délimitée par les buttes inter parcellaires. Ainsi ces drains récolteraient les eaux de ruissellement des buttes, et des inter billons.

Une fragmentation très grossière en profondeur du tepetate et plus fine en surface permettrait peut être d'améliorer le drainage verticale des parcelles et d'éviter ainsi un surplus hydrique en surface.

Il est aussi envisageable de remonter à la source du problème et de retarder la formation de la croûte structurale des tepetates, en réduisant la production de particules fines lors du remaniement de la surface. Ces dernières étant facilement mobilisables par le ruissellement pour colmater la porosité. La présence d'agrégats grossiers en surface préserverait un peu plus longtemps la rugosité de celle-ci. Un tri vertical par le passage d'une herse permettrait ainsi d'obtenir une granulométrie fine en dessous d'une granulométrie plus grossière. Les sarclages ainsi que les désherbages pourraient être effectués sur un sol humide, car un sol sec engendre facilement des éléments fins. Le diamètre des agrégats ne doit pas être trop fin, et il semble que en dessous de 2 mm ces derniers soient très mobilisables.

D'autre part la formation de la croûte structurale peut être retardée en améliorant la stabilité structurale des agrégats, la matière organique du fait de son caractère hydrophobe permet de retarder la mouillabilité des agrégats, et donc de consolider leur cohésion lors de leur humectation. Pour le sol l'effet déstabilisant du sable peut être aussi amoindri par un apport de matière organique.

En nous référant à nos observations et aux conclusions de Dabin B., (1991) qui explique: "[...] C'est l'addition de substances organiques qui provoque une consolidation effective des agrégats et les rend résistants à l'action de l'eau. En l'espace de quelques semaines les premiers produits de la décomposition bactérienne et fongique (certains acides fulviques en particulier) donnent une augmentation rapide et importante de la stabilité structurale mesurée par la méthode de HENIN. La biodégradation ultérieure, après quelques mois de ces composés primaires, s'accompagne d'une diminution très nette de la stabilité structurale. [...] La structure est donc le résultat d'une activité biologique bactérienne qui peut avoir des effets constructeurs ou destructeurs suivant que l'on a des phases de synthèse organique ou au contraire de biodégradation et minéralisation.". Nous pourrions imaginer un suivi biologique de la fonte des agrégats sur un temps plus long, et en relation avec les amendements organiques apportés, pour ainsi peut être mettre en évidence une cohésion plus forte des agrégats.

La formation de la croûte structurale peut être retardée en créant un obstacle aux gouttes de pluie, surtout pour le sol éolico-coluvial dont les agrégats sont sensibles à la désagrégation mécanique. La polyculture permet par la présence de plantes basses de recouvrir une surface importante, et de contribuer à la cohésion des billons par leurs système racinaire en pivots. Mais

leur temps de croissance est lent pour protéger le sol lors de la période de forte pluie. Aussi, le maïs ayant une croissance plus rapide peut dans le même temps recouvrir cette surface.

La polyculture a aussi l'avantage de consolider la structure du sol et en particulier des billons par un système racinaire pivotant pour les haricots et les fèves, alors que le maïs par son système racinaire en faisceau ne participe pas autant à la cohésion des billons.

Conclusion

Notre étude a pu mettre en évidence l'influence des caractéristiques de parcelle de tepetate mais aussi des techniques culturales leur étant affectées, sur la dynamique des réorganisations superficielles. Le résultat final de cette réorganisation est **une perte ou un gain** de matière plus ou moins importante suivant les caractéristiques de ces différents facteurs.

Ne pouvant procéder à la mise en culture des tepetates sans passer par une préparation lourde des terrasses, et par des travaux agricoles d'entretien des cultures, nous avons une production de particules fines susceptibles d'être exportées. **Le déplacement** des particules va dépendre de plusieurs facteurs propres à chacune des terrasses:

- la nature des constituants qui influe sur l'agrégation
- la pente
- la surface de végétation qui protège la surface des impacts des gouttes de pluies.
- les travaux culturaux comme le sarclage, le desherbage qui bouleversent la première épaisseur de la surface
- les précipitations, agents principaux dans la réorganisation superficielle qui vont mobiliser les fines particules de la surface. Ces dernières sont détachées par effet splash et par les alternances humectation-dessiccation des agrégats.

Dans un premier temps le rejaillissement de ces particules forme une première croûte structurale qui ferme petit à petit la porosité de la surface; puis cette croûte se différencie en fonction du micro relief. Sur le haut des billons l'érosion péliculaire de la surface forme la croûte d'érosion. Dans les inter billons nous assistons à une accumulation des particules provenant des hauts billons, à leur tassement et leur compactation. Il se forme la croûte de ruissellement. Cette dernière imperméable, accumule les flaques dans les dépressions. Dans ces flaques les particules en suspensions se rangent dans un ordre granulométrique inverse et constituent une croûte de décantation.

A ce stade la terrasse possède une infiltrabilité très faible. Ses caractéristiques agronomiques comme la surface de recouvrement de sa végétation, l'importance des racines, vont influencer le déplacement de matière. En amont de la terrasse nous avons une exportation de matière, et en aval une importation.

A l'échelle de nos mesures, et de notre outil le point quadrat, un pas, l'arrachement d'un adventice sont le début d'un enchaînement de réorganisations qui influe directement et indirectement nos résultats finaux. Des artefacts sont intervenus comme par exemple la montaison des grains d'orge planté l'année précédente, l'enfoncement des pieds de l'outil point quadrat et sa mauvaise maniabilité.

Cependant nos résultats permettent de confirmer qu'une faible pente, la polyculture, l'intrant d'engrais organique et des travaux agricoles distants réduisent la perte de matière par érosion. La monoculture de maïs protège mieux la surface que la polyculture au moment de la floraison.

De même nos conclusions sur la réorganisation superficielle de parcelles cultivées confortent les hypothèses déjà élaborées à ce sujet. Nous pourrions les compléter d'une part par une étude approfondie sur les caractéristiques pluviométriques, au moyen d'un simulateur de pluie et d'autre part par un suivi de l'évolution de la faune et la flore microbiologique propre au tepetate.

Table des figures

- Figure N° 1: illustration des trois zons climatiques (p. 11).
- Figure N° 2: séquence de la région Tlaloc-Texcoco (p. 12).
- Figure N° 3: plan du point quadrat (p. 25).
- Figure N° 4: répartition des pluies sur l'année 1994 (P. 27).
- Figure N° 5: pluviométrie journalière, et positionnement des travaux agricoles (p. 27).
- Figure N° 6: bilan de l'action du premier sarclage sur le micro relief (p. 28).
- Figure N° 7: schéma d'une croûte de ruissellement (p. 29).
- Figure N° 8: schéma d'une croûte d'érosion (p. 30).
- Figure N° 9: schéma d'une croûte de décantation (p. 31).
- Figure N° 10: bilan de l'action du deuxième sarclage sur le micro relief (p. 31).
- Figure N° 11: schéma de l'évolution d'une griffe d'érosion (p. 38).
- Figure N° 12: évolution de l'humidité superficielle en haut des billons par parcelles (face à p. 42).
- Figure N° 13: évolution de l'humidité superficielle aux inter billons par parcelles (face à p. 42).
- Figure N° 14: évolution du pourcentage de recouvrement des agrégats sur la surface de mesure de la parcelle T 3 (face à p. 43).
- Figure N° 15: évolution du pourcentage de recouvrement des agrégats sur la surface de mesure de la parcelle T 4 h (face à p. 43).
- Figure N° 16: évolution du pourcentage de recouvrement des agrégats sur la surface de mesure de la parcelle T 4 b (face à p. 43).
- Figure N° 17: évolution du pourcentage de recouvrement des agrégats sur la surface de mesure de la parcelle T 6 h (face à p. 44).
- Figure N° 18: évolution du pourcentage de recouvrement des agrégats sur la surface de mesure de la parcelle T 6 b (face à p. 44).
- Figure N° 19: évolution du pourcentage de recouvrement des agrégats sur la surface de mesure de la parcelle T 7 (face à p. 44).
- Figure N° 20: évolution des différentes organisations sur la surface de mesures de la parcelle T 3 (face à p. 48).
- Figure N° 21: évolution des différentes organisations sur la surface de mesures de la parcelle T 4 h (face à p. 48).
- Figure N° 22: évolution des différentes organisations sur la surface de mesures de la parcelle T 4 b (face à p. 48).
- Figure N° 23: évolution des différentes organisations sur la surface de mesures de la parcelle T 6 h (face à p. 49).
- Figure N° 24: évolution des différentes organisations sur la surface de mesures de la parcelle T 6 b (face à p. 49).
- Figure N° 25: évolution des différentes organisations sur la surface de mesures de la parcelle T 7 (face à p. 49).
- Figure N° 26: évolution des différentes croûtes sur la surface de mesure de la parcelle T 3 (face à p. 50).
- Figure N° 27: évolution des différentes croûtes sur la surface de mesure de la parcelle T 4 h (face à p. 50).
- Figure N° 28: évolution des différentes croûtes sur la surface de mesure de la parcelle T 4 b (face à p. 50).
- Figure N° 29: évolution des différentes croûtes sur la surface de mesure de la parcelle T 6 h (face à p. 51).

- Figure N° 30: évolution des différentes croûtes sur la surface de mesure de la parcelle T 6 b (face à p. 51).
- Figure N° 31: évolution des différentes croûtes sur la surface de mesure de la parcelle T 7 (face à p. 51).
- Figure N° 32: évolutin des organisations de surface en fonction des déplacements de matière sur la surface de mesure de la parcelle T 3 (face à p. 53).
- Figure N° 33: évolutin des organisations de surface en fonction des déplacements de matière sur la surface de mesure de la parcelle T 4 h (face à p. 53).
- Figure N° 34: évolutin des organisations de surface en fonction des déplacements de matière sur la surface de mesure de la parcelle T 4 b (face à p. 53).
- Figure N° 35: évolutin des organisations de surface en fonction des déplacements de matière sur la surface de mesure de la parcelle T 6 h (face à p. 54).
- Figure N° 36: évolutin des organisations de surface en fonction des déplacements de matière sur la surface de mesure de la parcelle T 4 b (face à p. 54).
- Figure N° 37: évolutin des organisations de surface en fonction des déplacements de matière sur la surface de mesure de la parcelle T 7 (face à p. 54).
- Figure N° 38: dynamique des réorganisations superficielles sur parcelles cultivées (p. 60).

Table des photos

- Photo N° 1: végétation naturelle du site (face à p. 13).
- Photo N° 2: vue d'un répartiteur (face à p. 15).
- Photo N° 3: surface remaniée après le premier sarclage sur la parcelle T 6 (face à p. 29).
- Photo N° 4: vue d'une coupe d'une croûte d'érosion sur un billon de la parcelle T 4 (face à p. 32).
- Photo N° 5: vue d'une coupe d'une croûte de ruissellement d'un inter billon de la parcelle T 3 (face à p. 34).
- Photo N° 6: vue d'une croûte de décantation de la parcelle T 6 (face à p. 34).
- Photo N° 7: succession de griffes d'érosion sur la parcelle T 6 (face à p. 38).
- Photo N° 8: accumulation de terre en aval de griffes d'érosion sur la parcelle T 6 (face à p. 39).
- Photo N° 9: accumulation d'eau sous forme de flaques sur la parcelle T 6 (face à p. 41).

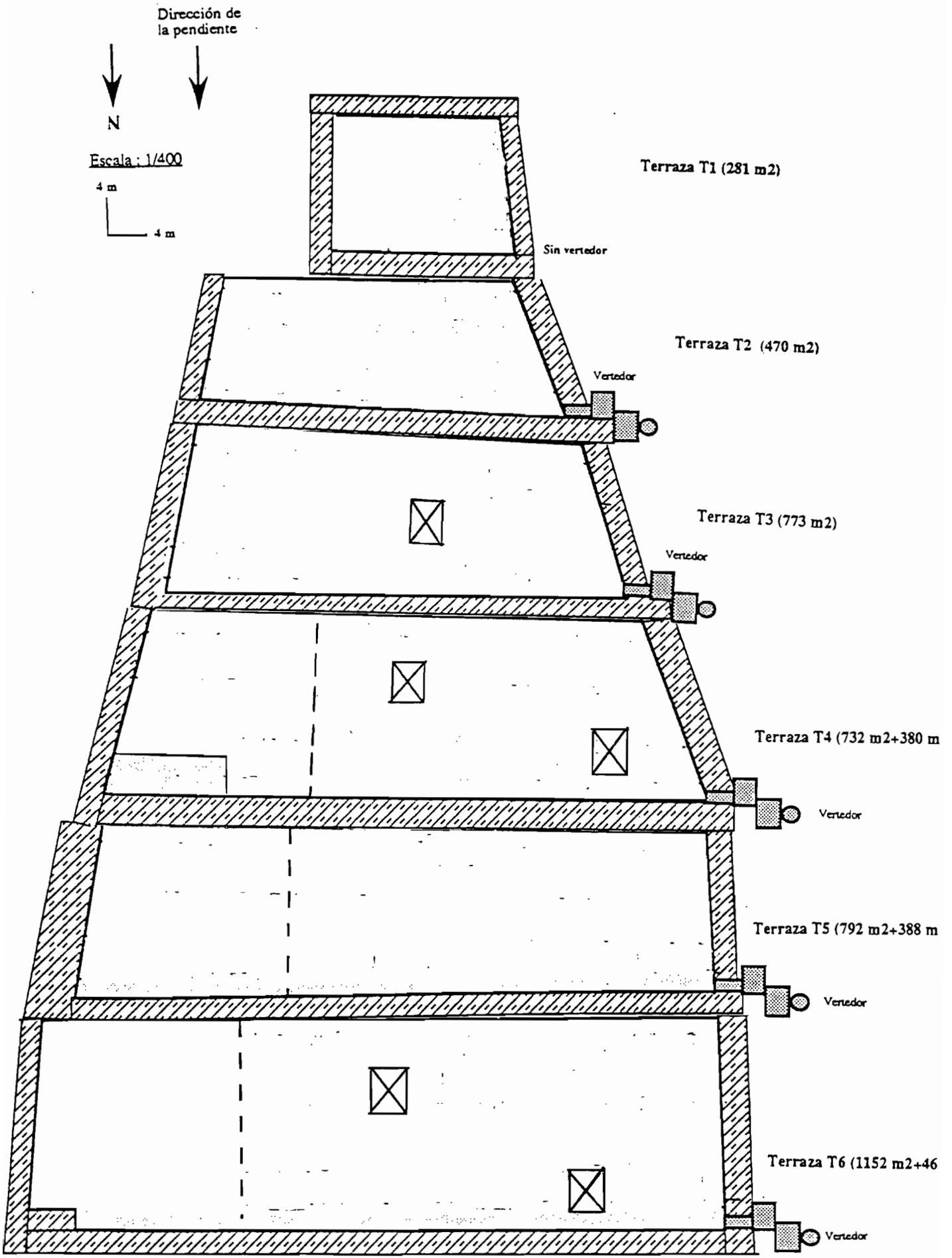
Table des tableaux

- Tableau N° 1: granulométrie des terrasses après rippage et hersage en fonction des parties des terrasses (face à p. 14).
- Tableau N° 2: caractéristiques physico-chimiques de 70 échantillons du tepetates t3 du site (après terrassement) (p. 15).
- Tableau N° 3: caractéristiques des parcelles du site (p. 20).
- Tableau N° 4: calendrier des travaux agricoles (p. 20).
- Tableau N° 5: caractéristiques des parcelles étudiées (p.22).
- Tableau N° 6: temps des différentes phases de désagrégation par immersion des agrégats (p.36).
- Tableau N° 7: évolution des griffes d'érosion par parcelle (p. 39).
- Tableau N° 8: pourcentage de recouvrement des agrégats inférieurs à 5 cm sur la surface du point quadrat (p. 43).
- Tableau N° 9: évolution de la taille moyenne des agrégats (cm) (p. 45).
- Tableau N° 10: influence du diamètre moyen en mm des agrégats sur leur fonte (p. 46).
- Tableau N° 11: déplacement de matière sur la surface du point quadrat (p. 52).

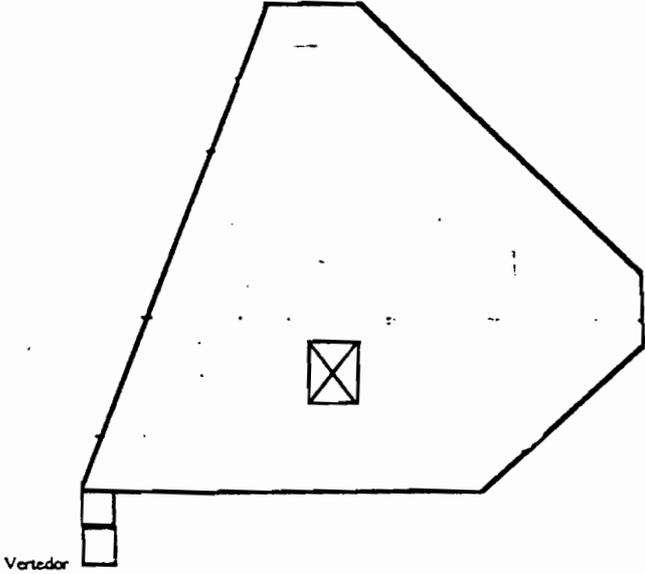
Table des annexes

- Annexe N° 1: plan des parcelles et position de l'outil point quadrat (p. 68).
- Annexe N° 2: base de donnée obtenue par l'intermédiaire du point quadrat (p. 70).
- Annexe N° 3: pourcentage des différentes organisations sur les surfaces de mesures di point quadrat (p. 73).
- Annexe N° 4: exemple de variation des moyennes des hauteurs de la surface du point quadrat pour la parcelle T 7 (p. 74).

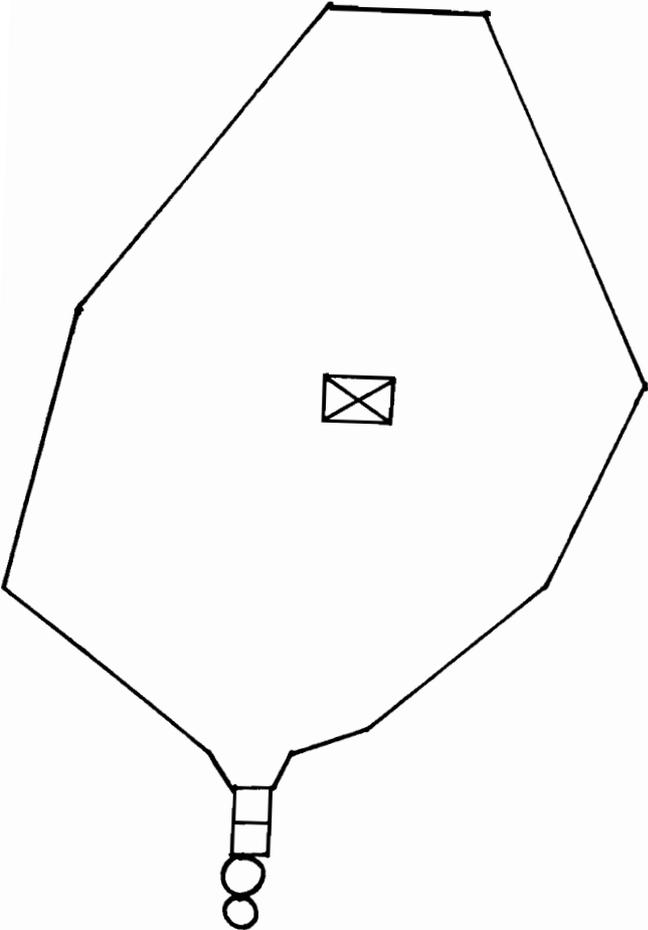
Annexe N° 1: plan des parcelles et position de l'outil point quadrat.



Terraza T7 (713 m2)



Terraza T0



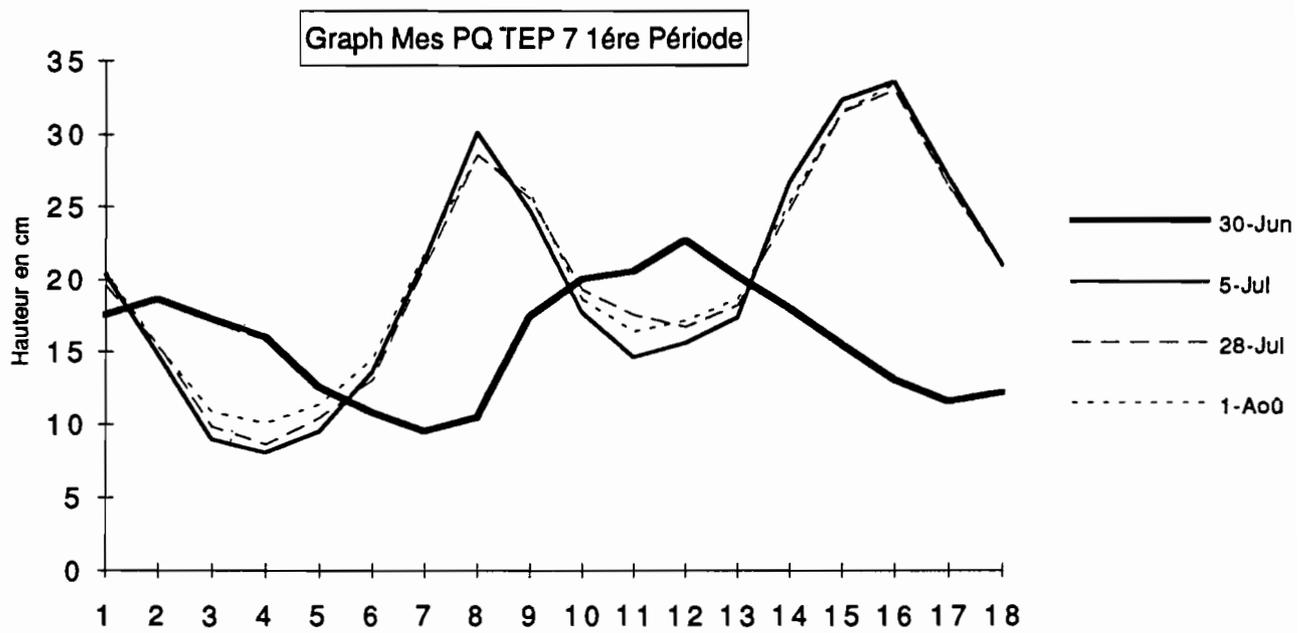
Tep 6 Haut																						Hauteur moy		Volume déplacé			
Date	Croûte			Agrégats					Diamètre minimum							Sable		Végétation						Autre		Hauteur moy	Volume déplacé
	ERO	RUI	DEC	LAB	MAG	AGI	AGL	GAG	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	0.6-1.0	1.0-2.0	2.0-5.0	>5.0	SAB	SFB	total	MAI	HAR	FEV	VES	ORG	RV	FLA		
27-Jul	###	9.60	0.00	0.00	23.20	6.60	0.00	0.00	X	X	X	X	X	X	0.00	0.00	5.34	1.00	0.13	3.00	0.21	1.00	0.00	0.00	14.21		
28-Jul	###	9.60	0.00	0.00	23.20	6.60	0.00	0.00	X	X	X	X	X	X	0.00	0.00	5.34	1.00	0.13	3.00	0.21	1.00	0.00	0.00	14.34	25.74	
03-Aoû	4.00	0.00	0.00	7.60	56.60	0.50	15.20	1.50	0.00	2.00	5.00	15.00	15.00	5.00	2.00	0.00	0.00	9.21	2.00	0.21	3.00	4.00	0.00	0.00	0.00	13.9	-87.12
04-Aoû	###	0.00	0.00	0.00	10.10	36.90	14.60	1.00	0.00	2.00	2.00	15.00	10.00	5.00	2.00	0.00	0.00	7.47	3.00	0.21	0.25	4.00	0.00	0.60	0.00	14.01	21.78
05-Aoû	###	0.00	0.00	0.00	8.10	25.30	24.20	0.50	0.00	0.00	5.00	10.00	15.00	15.00	2.00	0.00	0.00	0.63	0.17	0.29	0.21	0.00	0.00	3.60	0.00	14.47	91.08
07-Aoû	###	24.70	0.00	0.00	4.50	34.30	2.00	0.00	0.00	0.00	2.00	10.00	15.00	10.00	2.00	0.00	0.00	0.63	0.17	0.25	0.21	0.00	0.00	2.00	0.00	X	X
08-Aoû	###	16.70	0.00	0.00	6.10	23.70	2.00	0.00	2.00	2.00	5.00	5.00	2.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.72	0.13	0.38	0.21	0.00	0.00	1.60	0.00	13.99	-95.04
10-Aoû	###	18.20	0.00	0.00	9.60	13.10	4.00	0.00	2.00	2.00	5.00	2.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.17	0.38	0.25	0.00	0.00	2.00	0.00	14.24	49.5
16-Aoû	###	21.70	0.00	0.00	16.70	14.10	3.00	0.00	2.00	5.00	5.00	5.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.63	0.17	0.29	0.21	0.00	0.00	0.60	0.00	15.82	312.84
16-Aoû	###	5.56	0.00	0.00	3.54	32.83	6.56	1.00	X	X	X	X	X	X	0.00	0.00	3.72	0.17	0.65	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.30	-498.96
17-Aoû	###	5.60	0.00	0.00	3.50	31.80	6.60	0.00	2.00	2.00	2.00	5.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	7.50	4.00	0.60	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.63	45.64
19-Aoû	###	5.10	0.00	0.00	3.50	26.30	2.00	1.00	2.00	2.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.59	0.05	0.46	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	10.76	-548.46
23-Aoû	###	6.60	0.00	0.00	14.10	18.70	1.50	0.00	5.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67	0.09	0.46	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	11.19	85.14
29-Aoû	###	9.10	0.00	0.00	12.10	25.30	2.00	0.00	5.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.55	1.00	0.46	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	11.94	148.5
01-Sep	###	12.60	0.00	0.00	15.20	25.30	0.50	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.67	2.00	0.50	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	11.38	-110.88
																											-560.34

Tep 6 Bas																						Hauteur moy		Volume déplacé				
Date	Croûte			Agrégats					Diamètre minimum							Sable		Végétation						Autre		Hauteur moy	Volume déplacé	
	ERO	RUI	DEC	LAB	MAG	AGI	AGL	GAG	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	0.6-1.0	1.0-2.0	2.0-5.0	>5.0	SAB	SFB	total	MAI	HAR	FEV	VES	ORG	RV	FLA			
22-Jul																										23.26		
28-Jul	17.17	14.65	0.00	0.00	4.55	4.55	0.00	0.00	X	X	X	X	X	X	0.00	1.01	58.08	1.01	2.02	5.56	48.99	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00	23.21	-9.9
03-Aoû	0.00	0.00	0.00	19.19	0.00	3.03	46.46	0.00	0.00	2.00	5.00	15.00	15.00	5.00	2.00	0.00	0.00	26.77	2.02	0.61	8.59	15.66	0.00	0.51	3.03	23.25	7.92	
04-Aoû	27.27	0.00	0.00	0.00	0.00	27.27	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	15.00	10.00	5.00	2.00	0.00	0.00	33.33	4.04	4.04	10.61	14.65	0.00	0.00	0.00	23.42	33.66	
05-Aoû	27.27	0.00	0.00	0.00	0.00	3.03	48.48	0.00	0.00	0.00	2.00	10.00	15.00	10.00	2.00	0.00	0.00	16.16	4.55	2.53	9.09	0.00	0.00	4.55	0.00	23.18	-47.52	
08-Aoû	31.31	18.69	0.00	0.00	3.54	22.73	0.00	0.00	2.00	2.00	5.00	5.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	16.67	5.05	1.01	10.61	0.00	0.00	6.57	0.00	23.04	-27.72	
10-Aoû	37.37	12.63	0.00	0.00	6.06	22.73	0.00	0.00	2.00	2.00	5.00	2.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	16.66	6.06	0.00	10.61	0.00	0.00	5.56	0.00	23.26	43.56	
16-Aoû	37.37	26.26	0.00	0.00	5.56	7.53	0.51	0.00	2.00	5.00	5.00	5.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	17.17	5.05	1.52	10.61	0.00	0.00	4.55	1.01	23.21	-9.9	
17-Aoû	46.46	13.64	0.00	0.00	3.54	17.68	1.52	0.00	2.00	2.00	2.00	5.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	17.68	6.06	1.01	10.61	0.00	0.00	0.51	0.00	23.22	1.98	
19-Aoû	48.99	22.73	0.00	0.00	0.51	6.57	0.51	0.00	2.00	2.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.17	7.07	1.52	8.59	0.00	0.00	0.00	0.00	22.37	-168.3	
23-Aoû	44.95	9.60	0.00	0.00	1.01	8.08	0.00	0.00	5.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.17	7.07	2.02	8.08	0.00	0.00	0.00	9.09	22.33	-7.92	
26-Aoû	X	X	X	X	X	X	X	X	5.00	2.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	21.1	-243.54	
29-Aoû	37.37	10.60	0.00	0.00	3.53	12.12	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.55			
01-Sep	37.37	10.61	0.00	0.00	3.54	12.12	0.00	0.00	X	X	X	X	X	X	0.00	0.00	18.69	6.06	2.53	9.60	0.51	0.00	0.00	0.00	8.59			
																											-427.68	

Annexe N° 3: pourcentage des différentes organisations sur les surfaces de mesures du point quadrat.

	Composition des croûtes en %				Composition des agrégats en %			
	ERO	RUI	DEC	LAB	MAG	AGI	AGL	GAG
Avant premier sarclage								
T 3	46.0	24.2	0.0	0.0	11.0	5.1	0.5	0.0
T 4h	42.9	24.7	0.0	0.0	3.0	1.5	0.0	0.0
T 4b	18.2	15.2	0.0	0.0	7.6	5.6	0.0	0.0
T 6h	46.0	9.6	0.0	0.0	23.0	6.6	0.0	0.0
T 6b	17.2	14.6	0.0	0.0	4.5	4.5	0.0	0.0
T 7	29.3	18.7	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0
Après premier sarclage								
T 3	1.0	0.0	0.0	10.6	48.0	0.0	34.0	0.0
T 4h	10.6	0.0	0.0	0.0	48.0	0.5	21.0	0.0
T 4b	0.5	0.0	0.0	0.0	33.0	15.0	0.0	8.1
T 6h	4.0	0.0	0.0	7.6	57.0	0.5	15.0	1.5
T 6b	1.0	0.0	0.0	19.2	0.0	3.0	46.0	0.0
T 7	0.5	0.0	0.0	17.7	1.5	54.0	0.0	0.0
Avant desherbage								
T 3	45.5	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	0.0	0.0
T 4h	34.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	54.0	1.5
T 4b	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	53.0	2.5
T 6h	19.0	0.0	0.0	0.0	10.0	36.0	15.0	1.0
T 6b	27.3	0.0	0.0	0.0	0.0	27.0	0.0	0.0
T 7	46.0	12.0	0.0	0.0	0.0	28.0	4.0	0.0
Après desherbage								
T 3	0.0	0.0	0.0	15.2	0.0	0.0	64.0	2.5
T 4h	0.0	0.0	0.0	35.0	19.0	36.0	0.5	0.0
T 4b	0.0	0.0	0.0	31.0	14.0	24.0	1.5	0.0
T 6h	21.0	0.0	0.0	0.0	8.1	25.0	24.0	0.5
T 6b	27.3	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	48.0	0.0
T 7	20.0	3.5	0.0	0.0	0.5	13.0	0.5	0.0
Avant deuxième sarclage								
T 3	37.4	31.3	0.0	0.0	5.1	17.0	0.5	0.0
T 4h	46.0	18.0	0.0	0.0	17.0	14.0	0.0	0.0
T 4b	34.0	20.0	0.0	0.0	11.0	0.5	0.0	0.0
T 6h	28.0	22.0	0.0	0.0	16.0	14.0	3.0	0.0
T 6b	37.0	26.0	0.0	0.0	5.6	7.6	0.5	0.0
T 7	52.0	14.0	0.0	0.0	6.6	0.0	0.0	0.0
Après deuxième sarclage								
T 3	0.0	0.0	0.0	12.8	0.0	0.0	74.0	1.1
T 4h	0.0	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	86.0	4.0
T 4b	0.0	0.0	0.0	3.0	0.5	78.0	3.0	0.0
T 6h	33.0	5.6	0.0	0.0	3.5	33.0	5.6	1.0
T 6b	37.0	13.0	0.0	0.0	3.5	18.0	1.5	0.0
T 7	41.0	16.0	0.0	0.0	6.1	2.0	34.0	0.0

Annexe N° 4: exemple de variation des moyennes des hauteurs de la surface du point quadrat pour la parcelle T 7.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **BOIFFIN J. et MARIN-LAFLECHE A.**, 1990: La structure du sol et son évolution: conséquences agronomiques, maîtrise par l'agriculteur. Les colloques de l'I.N.R.A., Centenaire de la Station agronomique de l'Aisne, 1990.
- **CASENAVE A. et VALENTIN C.**, 1989: Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. éd O.R.S.T.O.M.
- **CASTA P., CHOPART J. L., JANEAU J. L., VALENTIN C.**, 1989: Mesure du ruissellement sur un sol gravillonnaire de Côte d'Ivoire après six ans de culture continue avec ou sans labour. L'Agronomie Tropicale, p: 255, Vol. 44, N°4, 1989.
- **DABIN B.**, 1991: Eléments de pédologie et utilisation des sols tropicaux. Support de court Aménagement de terrain 4ème année ISTOM 1994.
- **ESPERANZA YARZA de D. la T.** 1992: Volcanes de México, Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Instituto de Geografia, 4a. Edicion corregida y aumentada, p. 63-64.
- **JANEAU J. L., JEROME G.**, 1992: Evolution estructural de la superficie de suelos con Tepetate. (Evolution structural de la superficie de sol avec Tepetates.), Primer simposio International: Suelos Volcanicos Endurecidos, p. 374-378.
- **JEROME G.**, 1991: Etude des réorganisations superficielles sous pluies naturelles sur sol volcanique induré, Tepetate dans la vallée du fleuve Texcoco au Mexique, mémoire de fin d'études 79 ème promotion I.S.T.O.M. 1991.
- **LE BISSONNAIS Y.**, 1988: Analyse des mécanismes de désagrégation et de la mobilisation des particules de terre sous l'action des pluies. Thèse I.N.R.A.
- **LE SOUDE C.**, 1990: Effet d'un conditionneur minéral sur la formation des croûtes superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse I.N.R.A.
- **LEMOINE M.**, 1988: Les 100 portes de l'Amérique latine, éd: Autrement.
- **LY. Boun-Tieng.**, 1993: Evolution d'un système agraire Peri-urbain et étude des systèmes de production de la commune de Santa Catarina del Monte (Mexique): Rapport de stage C.N.E.A.R.C. 1993.
- **NAVARRO H., ZEBROWSKI C.**, 1991: Análisis agronómico comparativo en tepetates. in: Actas 1er Simp. int. Suelos Volcánicos Endurecidos. México, 20-26 oct. 1991. TERRA (Mex). N°10.
- **PENA HERNANDEZ D., ZEBROWSKI C.**, 1992: Estudio de los volcanicos endurecidos (Tepetates) de las cuencas de México y Tlaxcala (Mexico). Informe del mapa morfopedológico de la vertiente occidental de la Sierra Nevada. 30 junio 1992. Commission des communautés Européenne.

- PRAT C., 1991: Etude du "TALPETATE" horizon volcanique induré de la région centre Pacifique du Nicaragua. Genèse, caractérisation, morphologique, physico-chimique et hydrodynamique son rôle dans l'érosion des sols. Thèse 1991.
- PRAT C., 1995: Rehabilitación de los suelos volcánicos endurecidos de América Latina (Chile, Ecuador y Mexico), Informe de actividades desarrolladas durante 1994. Comisión de la Unión Europea. Enero de 1995.
- QUANTIN P., 1992: L'induration des matériaux volcaniques pyroclastiques en Amérique Latine: processus géologiques et pédologiques. Actas 1er Simp. int. Suelos volcánicos Endurecidos México, 20-26 oct. 1991. TERRA (MEX). N°10.
- QUANTIN P., ARIAS A., ETCHEVERS J., FERRERA R., OLESCKO K., NAVARRO H., WERNER G., ZEBROWSKI C., 1993: Tepetates de México: caratérización y habilitación para la agricultura. (informe científico Final del Proyecto). TERRA (Mex). N° 11.
- ROOSE E., 1981: Dynamique actuelle des sols ferrallitique et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Travaux et documents O.R.S.T.O.M.
- RUIZ FIGUEROA J F, 1983: Les micro organisations pelliculaires superficielles formées sous pluie simulée sur des sols ferrallitiques de savanes. Thèse I.N.A.P.G., 1983.
- TESSIER D., 1984: Etude expérimentale de l'organisation des matériaux argileux. Thèse I.N.R.A..
- VALENTIN C., 1985: Suelo y agua. 1er- séminaire scientifique de pédologie pour la région d'Amérique central et Caraïbe. La Havane 8-20 avril 1985.
- ZEBROWSKI C., 1991: Les "tepetates" récupération et mise en valeur des terres volcaniques indurées au Mexique. ORSTOM actualités N°33.
- ZEBROWSKI C., 1991: Los suelos volcanicos endurecidos en America Latina. 1 er simposio internacional: suelos volcanicos endurecidos (uso y manejo de tepetates).

Résumé

La cordillère des hauts plateaux du Mexique se caractérise par la présence de sols d'origine volcanique. L'une des propriétés de ces sols appelés "tepetates", inclus aussi dans la "Sierra Néovolcanique" est une dureté acquise lors d'un processus pédo-géologique qui les rend difficilement exploitables par les méthodes traditionnelles. De plus ces surfaces laissées à nu sont sujettes aux phénomènes d'érosion et participent à la pollution des nappes phréatiques, constat très préoccupant dans la vallée de Mexico dont la densité de population croit considérablement. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude dont la finalité globale est la réhabilitation des sols volcaniques indurés à l'agriculture. Elle consiste en un suivi des réorganisations superficielles de parcelles représentatives des techniques agricoles régionales d'un versant nord-est de la vallée de Mexico, par l'intermédiaire de mesures tels l'humidité superficielle, la fonte des agrégats, le diamètre minimum et d'observation à l'échelle parcellaire d'accidents superficiels. L'outil point quadrat nous a permis de suivre l'évolution du micro relief et de ses différentes organisations. Notre travail a montré qu'à partir d'un remaniement de la surface correspondant aux travaux d'entretien, les agrégats alors organisation principale s'incluent dans une première croûte résultant du rejaillissement de particules sous l'impact des gouttes d'eaux. Ces particules mobilisables proviennent aussi de la désagrégation des agrégats par l'alternance humectation-dessication. Dans une dynamique dépendante des conditions climatiques, agronomiques, pédologiques et géologiques, cette croûte se différencie sur le haut des micro reliefs (haut billons) en croûte d'érosion, et en bas des micro reliefs (inter billons) en croûte de ruissellement et croûte de décantation. Le résultat étant une dégradation de l'infiltration qui aboutit à un déplacement horizontal et donc une exportation de matière vers l'aval. Un itinéraire technique approprié peut alors freiner cette perte de substrat néfaste à la bonne croissance des plantes.

Mots clés: Mexique, Pédologie, sol volcanique, ruissellement, érosion, formation superficielle, croûte structurale, croûte d'érosion, croûte de ruissellement, fonte des agrégats, rejaillissement, tepetate.

Abstract

The mountain range of the high plateau of Mexico is characterised by the presence of volcanic soil. One of the properties of these soils called "tepetates" present in the "Sierra Neovolcanique" is that the pedo-geological process which formed them has rendered them particularly hard and difficult to farm by traditional methods. Indeed, these bare areas are prone to erosion and increase the pollution of the water-table. This is very serious in Mexico valley where the density of population is rising rapidly. Our study has to be placed in this context. Its main aim is the rehabilitation of volcanic soils for agriculture. The study of the impact of rain on the surface-layers of simple plots representing a range of various farming techniques used on the north-eastern slopes of the Mexico valley. Quantitative measures such as surface humidity, the breaking-down of surface aggregates and their minimum diameters as well as noting the intensity of signs of erosion on a given plot. The "quadrat point" tool enabled us to study the evolution of the microstructure. Our works shows the various activities of maintaining arable soil cause the aggregates to become part of a surface crust resulting from the splash-effect. These loose particules are also formed by the breaking-down of aggregates due to repeated "dry-wet" alternations. Under the effect of climatic, agronomical, geological and soil conditions this hard surface forms high erosion and low run-off crusts. The resulting sweet-erosion can be controlled thanks to appropriate agricultural techniques.

Key words: Mexico, pedology, volcanic soil, sheet erosion, erosion, superficial deposit, structural crust, running soil, aggregate break-down, splash effect, tepetate.