

RESTAURATION DE SOLS VOLCANIQUES DEGRADÉS DU EL SALVADOR  
EN UTILISANT DES AMENDEMENTS ORGANIQUES - PREMIERS RESULTATS

Jean Collinet (aout 1993)

1. objectifs et cadre de l'action de recherche,
2. méthode,
3. problématique,
4. premiers résultats,
5. conclusion

## 1. OBJECTIFS ET CADRE

Cette action de restauration de sols est une des composantes d'un programme plus vaste coordonné entre plusieurs instances internationales et salvadoriennes pour réhabiliter le bassin versant de "Las Cañas" (figure 1). Ce sous-bassin fournit à lui seul 25% des sédiments comblant peu à peu le plus grand réservoir hydroélectrique du El Salvador (embalse de Cerrón Grande) où la sédimentation atteint  $5.10^6$  t./an. On a évalué que cette sédimentation provient d'une érosion spécifique de 235 t/ha/an sur le grand bassin (rio Lempa). Des mesures de débits solides sur le sous-bassin de "Las Cañas" prouvent que son érosion spécifique atteindrait 350 t/ha ce qui, en zone de cordillère volcanique est déjà une "érosion extrême avec troncature généralisée des sols profonds ou disparition des sols et affleurements de matériaux parentaux.." (G.S.Hartshorn et al. 1982 - H.J.Leonard, 1986).

Parmi un ensemble de mesures de conservation tant physiques (réseau de tranchées d'absorption, correction de torrent..) ou biologique (reforestation, agroforesterie) à la charge d'équipes salvadoriennes, l'on ne commentera ici que les premiers résultats d'une "restauration par amendements organiques, de sols très érodés sur cendre et ponces volcaniques situés à 15km au nord-est de la capitale San Salvador (canton de Tonacatéqué, village de La Fuente)"

La zone étudiée s'inscrit dans un paysage disséqué dans d'épais dépôts de cendres, ponces et tuffs provenant d'une activité volcanique récente de cette partie de la cordillère pacifique centre-américaine et dont un paroxysme local fut probablement l'explosion de la caldeira de l'Ilopango (#15000ans). Ces formations peu consolidées se sont creusées de vallées primaires profondes et étroites, déterminant des alignements de crêtes parallèles, et de vallées secondaires larges où d'épais sédiments se trouvent plus ou moins remaniés selon les compétences de crues successives (fig.2). Quelques plateaux (Tonacatéqué) échappent à ce schéma, ce, pour des raisons tectoniques (failles).

Figure 1: Amérique Centrale, El Salvador, localisation du bassin versant du rio "Las Cañas"



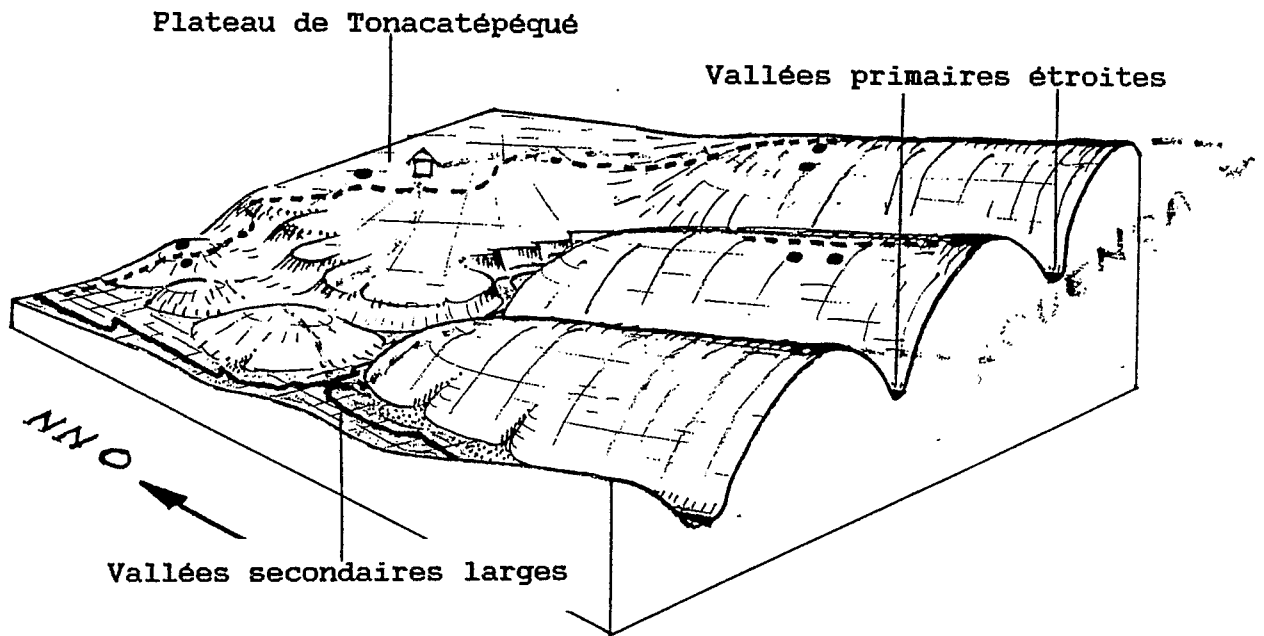


Figure 2: El Salvador, Las Cañas, bloc diagramme des principaux paysages du bassin versant

Cette zone appartient au climat tropical semi-humide, les pluies annuelles atteignent 1800mm, 80% de celles ci tombent entre mai et octobre, on note une diminution des précipitations en juillet et aout, c'est l'époque de la "canicula" dont la durée est une des hantises des paysans d'Amérique Centrale.

Sans la déforestation cette région devrait être occupée par une végétation de forêt tropicale caducifoliée, actuellement on y trouve:

14 % de forêts galeries subsistant dans les gorges et ravines,  
 50% de cultures annuelles (tabac 14%, cannes à sucre 14%, 22% maïs ou maïs + haricot),  
 20% de friches, paturages, caféières éparses,  
 16% d'urbanisation.

Les parties *les moins pentues* c'est à dire à proximité des crêtes et sur les plateaux, comportent des sols, brun foncés, épais, meubles et homogènes (Vitrosols à Andosols eutriques). Leurs caractéristiques analytiques essentielles sont résumées sur le tableau I (médianes de valeurs à -5cm et -25cm).

	A	L	S	MO	C/N	pH	CEC	V	CaMg/K	PT	PO
-5cm	20	30	50	5,4	11	6,1	15,5	87	10	240	10
-25cm	35	20	45	2,4	11	6,0	16,0	77	7	126	5

Les parties *accidentées* qui sont les versants entre 25 et 80% de pente, sont occupées par des Sols squelettiques à peu évolué d'érosion sur matériaux volcaniques pyroclastiques généralement meubles (Tabl.II)

	A	L	S	MO	C/N	pH	CEC	V	CaMg/K	PT	PO
-5cm	10	25	65	0,8	-	5,5	8,0	62	6	350	13
-25cm	15	30	55	0,6	-	5,6	10,0	62	9	250	5

En comparant ces deux exemples, on note immédiatement que le décapage des versants est à l'origine:

- de l'apparition d'une texture limono-sableuse peu différente d'ailleurs de celle du matériau parental,
- de la quasi disparition des horizons organo-minéraux,
- d'une capacité d'échange cationique diminuée de moitié par rapport à celle des sols moins perturbés des sommets.

---

(1) A = argile %, L = limons%, S = sables %, MO = matière organique %, C/N = rapport Carbone organique sur Azote total, CEC = capacité d'échange cationique me/100g sol, V = taux de saturation du complexe d'échange, CaMg/K = Somme Calcium + Magnésium échangeable sur Potassium, PT = phosphore total Pppm, PO = phosphore Olsen

La zone d'expérimentation fut retenus dans la partie la plus dégradée mais encore cultivée, sur des pentes oscillant entre 15 et 40%. Le labour y est fait à l'araire en tracé isohypse, un billonnage manuel intervient après le levé des semis.

## 2. MÉTHODE

Elle consiste en un *suivi des évolutions*:

(i) des rendements de cultures dans l'association traditionnelle maïs + haricot; ces rendements sont aussi analysés en suivant les stades phénologiques,

(ii) des sols sur 7 parcelles de 400m<sup>2</sup> distribuées en 2 sites expérimentaux (pentes de 18% et 30%) installés fin 1991 en milieu paysan:

- 2 parcelles servent de témoins (TEST 1 et 2),
- 2 parcelles reçoivent 15t/ha de fumier provenant d'un élevage avicole voisin (ESTI 1 et 2),
- sur 2 parcelles sont enterrés, lors du labour, 18 t/ha de fragments séchés à 30% de *Gliciridia sepium* (Madero negro au Costa Rica, Madre Cacao au El Salvador, Légumineuse arborescente fixatrice d'Azote),
- 1 parcelle reçoit ces mêmes résidus mais ceux-ci sont épandus en surface après le levé des semis (MVFS 2).

L'installation de ce site qui devait être représentatif d'une forme extrême de dégradation a nécessité une reconnaissance pédologique préliminaire d'une vaste zone et d'insoupçonnables tractations avec les paysans. Les 7 parcelles sont inscrites dans un champ de 1,5ha. Leur positionnement exact fut déterminé après le traitement des données d'un nivellement et des informations analytiques (5 toposéquences x 10 sondages x 3 profondeurs). On a utilisé pour ce faire les programmes du logiciel SURFER qui ont fournis des cartes de classes de pentes et d'isovaleurs de tous les paramètres dont on désirait suivre les évolutions ultérieures (figures 3 et 4).

Le protocole expérimental prévoit des observations rigoureusement codifiées et des prises d'échantillons de terre et de végétaux pour analyses. Les principales observations de terrain portent sur:

- la dynamique de croissance du maïs (4 à 6 mesures/an),
- la densité des pieds,
- la mobilisation de terres érodibles dans les interbillons,
- une évaluation codifiée de la restructuration des sols,
- la détermination des rendements lors des récoltes ainsi que la pesée des différents organes de la plante,
- la pesée des résidus de culture avant le passage du bétail.

Des prélèvements pour analyses d'échantillons de sols sont effectués tous les 2 mois sur 3 profondeurs (0/10, 15/25, 30/40cm), et dans 3 microparcelles de 4m<sup>2</sup> tirées au sort dans chacune des 7 parcelles de 400m<sup>2</sup>. Les 3 prises tirées au sort pour chaque

UBICACION DE LAS PARCELAS - TIPOS DE ENSAYOS

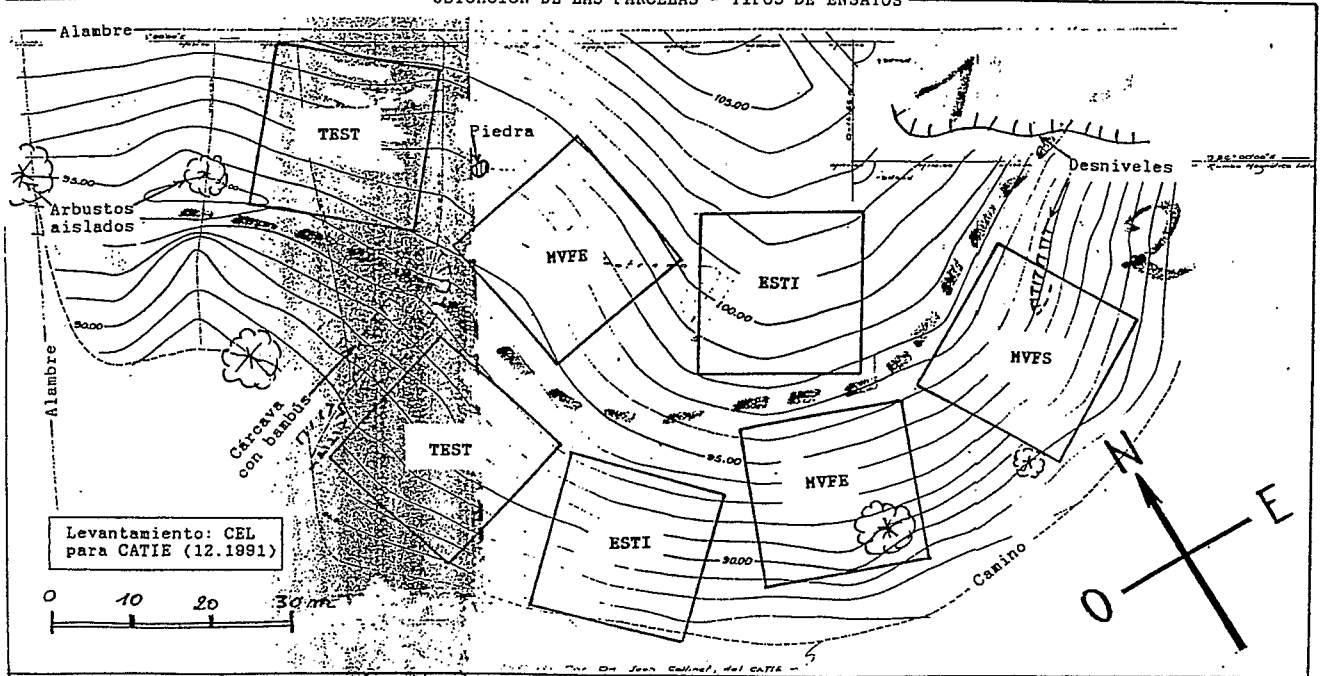


Figure 3: El Salvador, Las Cañas, position des parcelles sur le versant

El Salvador La Fuente Isovalores C I C 0/10cm

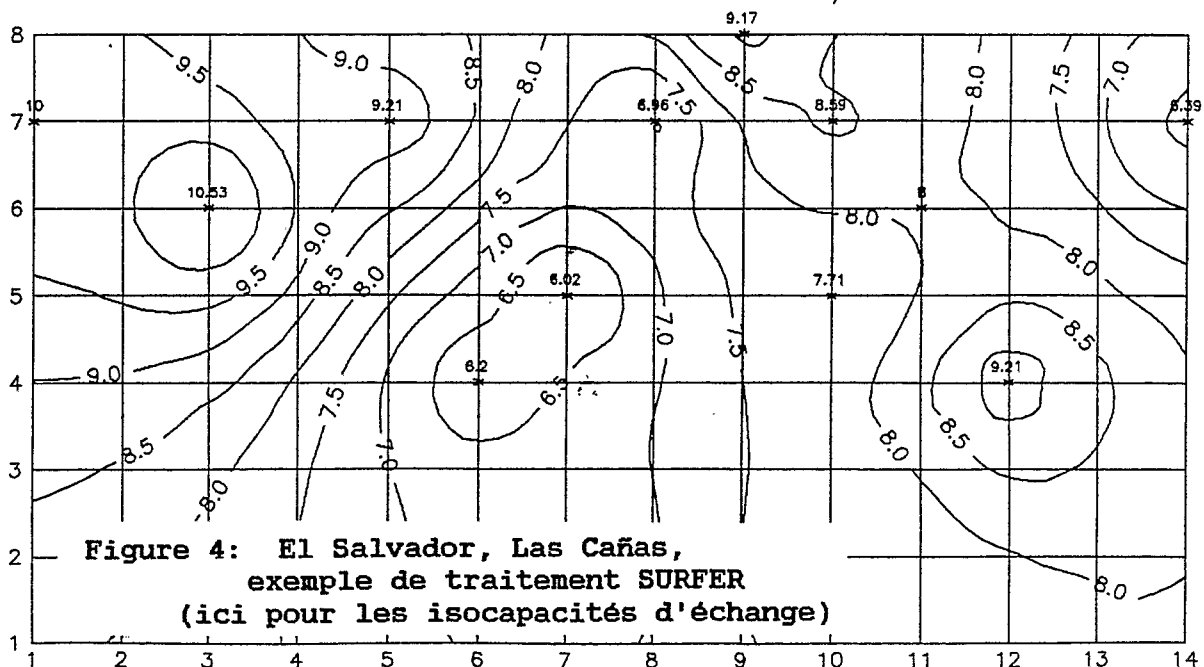


Figure 4: El Salvador, Las Cañas, exemple de traitement SURFER (ici pour les isocapacités d'échange)

profondeur sont regroupées en un seul échantillon. Différents organes végétaux sont également prélevés au moment de la récolte. Finalement 162 échantillons de sol et 35 échantillons végétaux sont analysés chaque année dans les laboratoires du CATIE de Turrialba. Cette note constitue une interprétation de ces premiers résultats.

### 3. PROBLÉMATIQUE

Cet essai a été conçu et mis en place pour pouvoir détecter et suivre des améliorations dans le rendement des cultures et dans les caractères de fertilité générale des sols. Ces effets se manifesteront vraisemblablement selon différentes échelles de temps:

- le *court terme*, effet immédiat sur un cycle, qui se traduira par une amélioration de la fertilité chimique et dans celle-ci, on devrait surtout observer des effets provenant des cycles de l'azote et du phosphore car il n'y a pas de carence potassique dans ces sols.

- le *moyen terme*, c'est à dire 2 ou 3 cycles, durée nécessaire pour la reconstruction d'un complexe absorbant et pour percevoir les effets de cette reconstruction (meilleure fixation donc utilisation des engrais minéraux),

- le *long terme*, son échéance est difficile à fixer car il s'agira d'y constater une nette amélioration des caractéristiques physiques des sols reconstruits, caractéristiques permettant d'augmenter les porosités et la stabilité des structures donc de favoriser les infiltrations et limiter les érosions.

On pense enfin qu'une restauration basée sur des apports de matière organique, notamment de résidus de végétation arbustive à arborée est un bon compromis permettant une *amélioration des productions non plus liée à une extension de surfaces supposées cultivables mais à une amélioration des rendements fixant, ou diminuant, les surfaces actuelles au profit d'une reforestation en Plantes utiles*, dont des Légumineuses, fournissant (i) la matière végétale améliorante, (ii) une protection mécanique contre pluies et ruissellements.

### 4. PREMIERS RÉSULTATS

Ils concernent le cycle 1992 complet et une partie des informations sur le cycle 1993. Les interprétations culturales concerneront uniquement le maïs.

#### 4.1. Effets à court terme

Il s'agit d'effets immédiatement visibles concernant les rendements en grains et l'influence de la dynamique de développement des organes végétatifs sur l'érosion potentielle.

#### 4.1.1. Rendement du maïs

La figure 5 montre la distribution des rendements observés en fin du cycle 1992 (grains secs à 14%, variété améliorée locale H13), ainsi que les taux de modification de ces rendements par rapport aux témoins des deux sites.

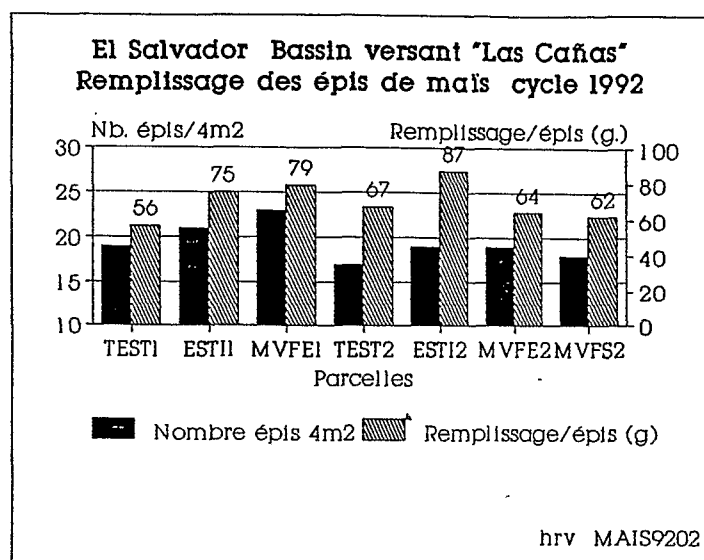
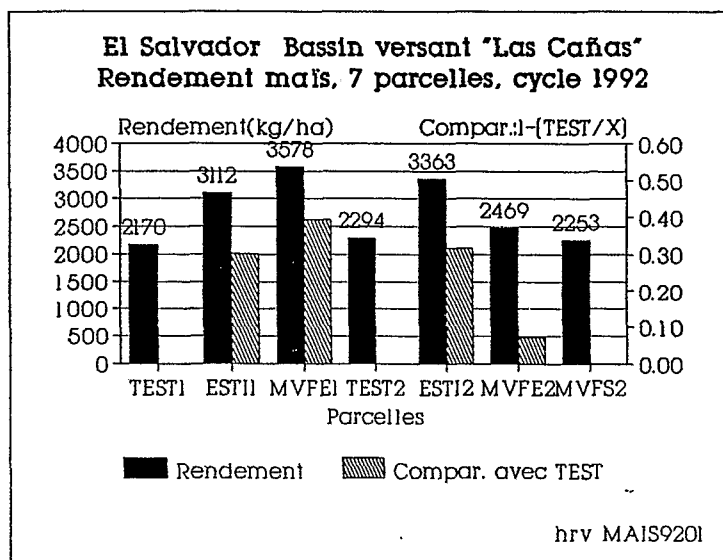


Figure 5

Figure 6

Les rendements des témoins sont généralement ceux de conditions moyennes à médiocres dans cette région (F.Ferán, 1993 - H.W.Fassbender, 1987), lorsque il n'y a pas de canicula, c'est à dire lorsque l'alimentation en eau reste régulièrement assurée pendant tout le cycle. Par rapport à ces témoins, les modifications des rendements sont les suivantes (dans l'ordre):

**MVFE 1 +39% > ESTI 2 +32% > ESTI 1 +30% > MVFE 2 +7% > MVFS 2 0%**

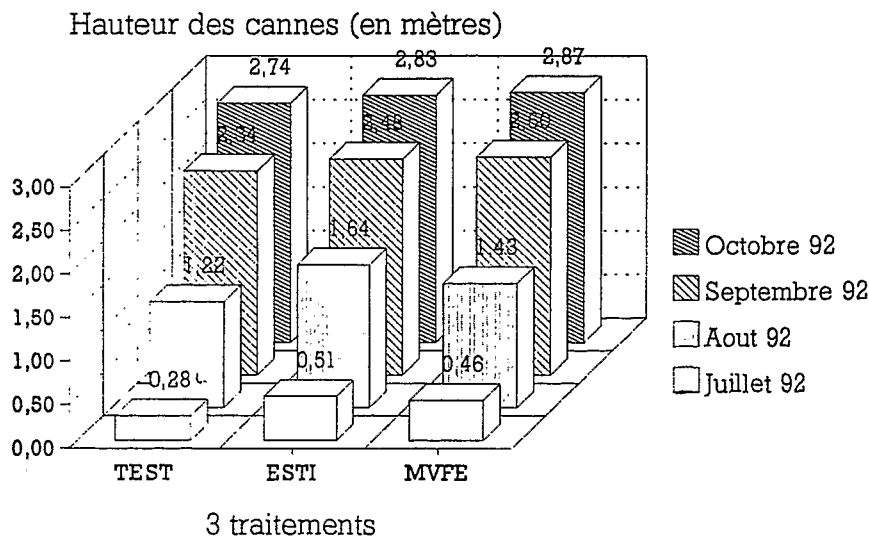
Les matériaux plus érodés du site II plus pentus connaissent des conditions initiales moins favorables (faible épaisseur, forte charge en graviers de ponce, taux initiaux de MO insignifiants) aussi les effets des apports organiques "frais" (MVFE 2, MVFS 2) y furent-ils moins probants. Les pertes de semis par érosion sur fortes pentes apparaissent sur la figure 6 en considérant le nombre d'épis (1 épis = 1 pied) par microparcelles tirées au sort dans le site II. Le taux de remplissage des épis est, quant à lui, la conséquence directe de l'amélioration de la fertilité du sol. Le produit pieds x remplissage explique les différences de rendement dans toutes les situations expérimentales.

On a essayé d'aller plus avant dans l'analyse de ces

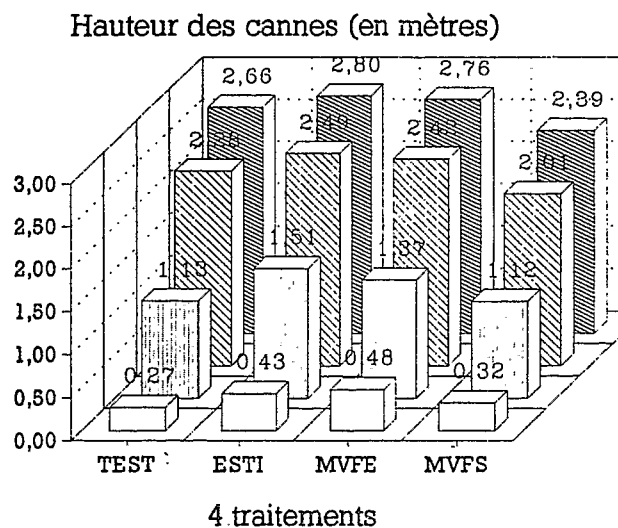


différences de rendement en suivant la *dynamique de croissance du maïs*. Sur les figures 7 et 8, il apparaît que les gains sont liés à une montaison plus rapide pour les parcelles ESTI et MVFE allongeant donc d'autant la durée de maturation avant la saison sèche.

### Dynamique de croissance du maïs 1992



Site I (amont)  
figure 7



Site II (aval)  
figure 8

#### 4.1.2. Protection assurée par le couvert

Il est bien connu que le développement rapide d'un couvert dense du sol en début de la saison des pluies sert à intercepter l'énergie des pluies donc limiter la mobilisation de terres érodables (E.Roose, 1977, 1981). C'est d'ailleurs le facteur "C" qui est pris en compte dans la formule de prévision des pertes en terres de W.H. Wischmeier et D.D. Smith (1978). On a pu constater de nouveau ici la grande *importance de ce facteur "couvert végétal"* notamment lors des premières fortes pluies de la saison. Pour ce faire l'on a utilisé une méthode originale, adaptée à cette situation expérimentale de champs billonné en traces isohypses, pour déterminer avec une bonne précision la mobilisation de terres dans les interbillons de chaque parcelles de 400m<sup>2</sup> (cette méthode sera exposée dans une prochaine note).

Les figures 9 et 10 montrent un exemple de l'ampleur de cette mobilisation de sédiments interbillons provenant des multiples micro-colluvionnements locaux. Il ne s'agit pas encore, à proprement parler, d'une érosion puisque, sans rupture de billons, le matériel reste sur le champ. Il s'agit plutôt d'une érosion potentielle liée: (i) à la résistance intrinsèque des mottes du billonnage, (ii) aux structures et densités des couverts végétaux.

## Terre mobilisée par billons (site 2)

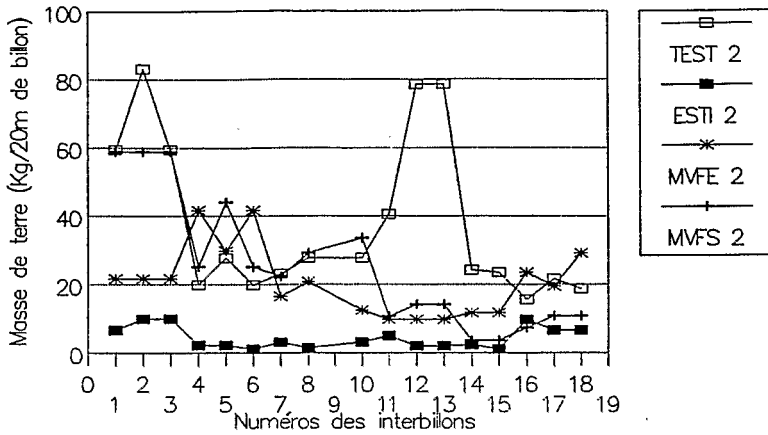


Figure 9

## Mobilisation cumulée parcelles site 2

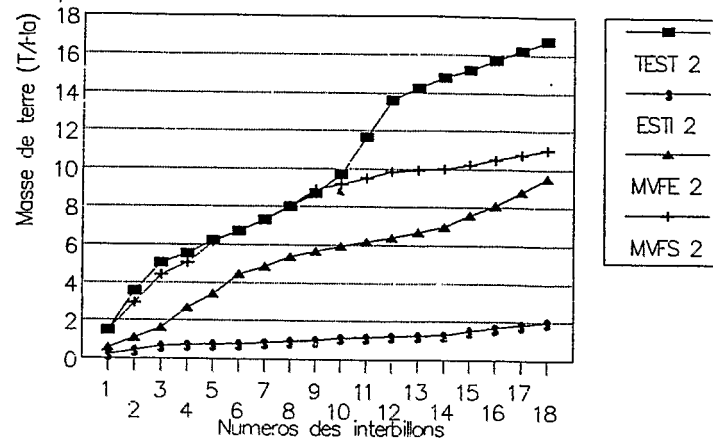


Figure 10

Sur la figure 9, l'on a déterminé le poids des sédiments par interbillons de 20m, la figure 10 représente les mêmes informations cumulées et transformées en t/ha.

## El Salvador, bassin versant "Las Cañas"

### Effet couvert maïs sur érosion (site 2)

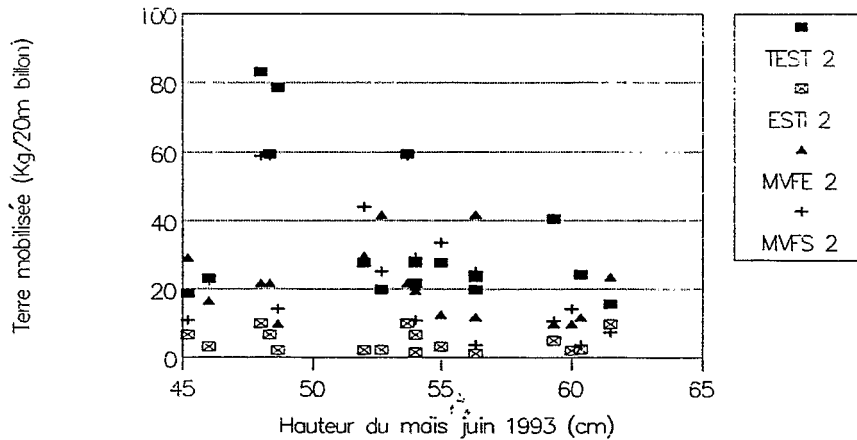


Figure 11

La figure 11 fait une synthèse de ces observations en associant densité de couvert et perte en terre. Cet effet couvert, déduit de la vitesse de croissance des cannes (cf. figures 7 et 8), est surtout net pour les parcelles à plus faible vitesse de croissance (TEST 2, MVFS 2), il est évidemment moins net pour celles à plus fortes vitesses de croissance (ESTI 2).

#### 4.2. Effets à moyens terme

Il s'agit maintenant de détecter les *premiers signes* de la reconstruction d'un complexe d'échange permettant de *passer de l'actuel quasi non-sol à un sol*. Pour ce faire, l'on a suivi la dynamique de la matière organique en toutes situations expérimentales (stockage, déstockage M O %) ainsi que l'évolution de la capacité d'échange cationique (C E C me/100g sol). Les tendances évolutives nous ont paru assez explicites pour pouvoir aborder cette question dès l'issue du premier cycle, ce, probablement compte tenu de l'état initial de ce que l'on a appelé précédemment des "quasi non-sols".

##### 4.2.1. Evolution des taux de matière organique

Les figures 12 et 13 montrent l'évolution des teneurs en M O tout au long du cycle. Comme il s'agit de comparer les effets des différents traitements avec les données repères des parcelles témoins correspondantes, l'on a effectué toute une série de pondérations expliquées dans l'exemple du tableau III.

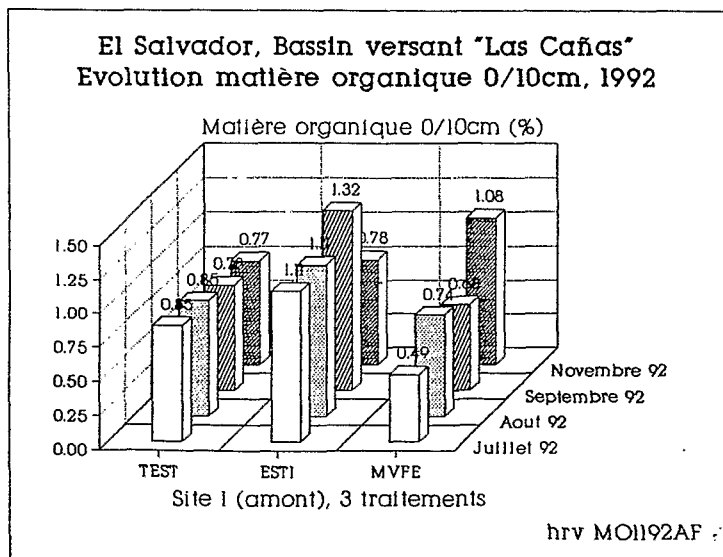


Figure 12

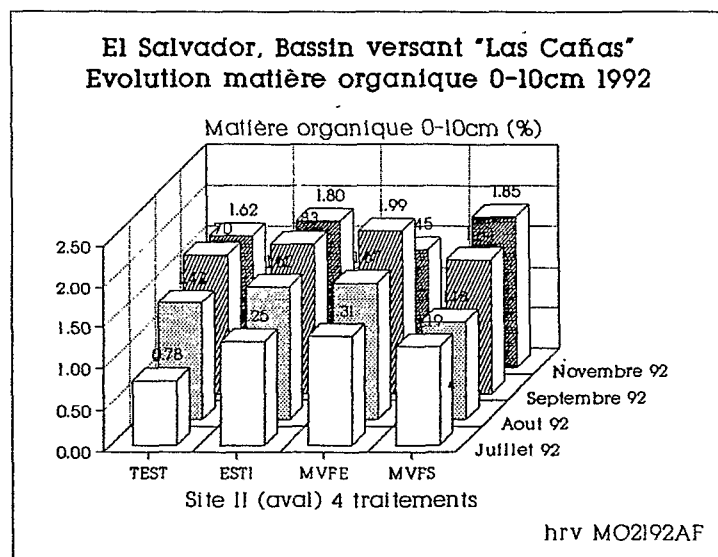


Figure 13

Avec des amendements de 15t/ha de fumier de poule (ESTI) et 18t/ha de fragments végétaux frais (MVFE, MVFS) l'on observe:

- soit des améliorations qui paraissent occasionnelles avec un pic en cours de cycle (1,99% MO en MVFE 2 ou 1,32% MO en ESTI 1),
- des améliorations qui semblent plus continues avec des valeurs maximales en fin de cycle.

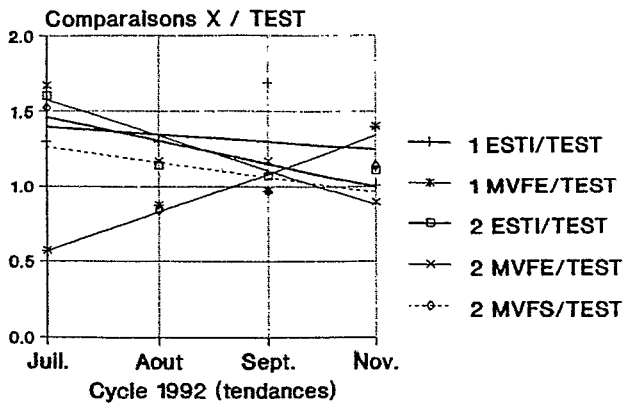
Tableau III: Exemple de pondération des données analytiques afin d'en permettre la comparaison avec les témoins (Site I, comparaison TEST 1 et ESTI 1 entre 0 et 10cm

M O %: teneurs initiales 1991 dans les futures parcelles	TEST 1 0,25	ESTI 1 1,05	
Résultats d'analyses		Corrections	
		sans	avec(*)
Juillet 92	0,85	1,91	1,11
Aout 92	0,85	1,91	1,11
Septembre 92	0,78	2,12	1,32
Novembre 92	0,77	1,58	0,78

(\*)  $1,91 - (1,05 - 0,25) = 1,11$

Les figures 14 et 15 font une synthèse de l'évolution des taux de MO tout au long du cycle (4 mesures) et à travers les différentes situations expérimentales, ce, en suivant l'évolution des rapports Parcelles X / Parcelles témoins.

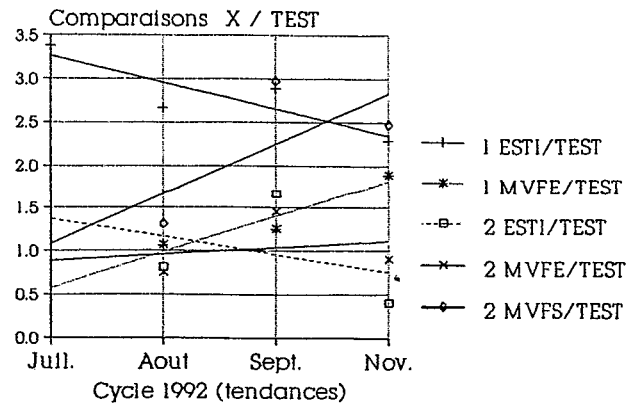
Las Cañas: évolutions comparées de la matière organique, 0/10cm, cycle 1992



hrv MO192CF

Figure 14

Las Cañas: évolutions comparées de la matière organique, 15/25cm, cycle 1992



hrv MO292CF

Figure 15

L'on note généralement sur les 10 premiers centimètres des parcelles ESTI, MVFE et MVFS, des taux de matière organique 1,3 à 1,7 fois plus importants que sur leurs témoins, ce, en début de cycle.

Mais l'on constate aussi jusqu'à 25cm une dégradation sur les

parcelles ESTI (fumier de poule) amenant un déstockage en fin de cycle et plutôt une *agradation* sur les parcelles MVFE (fragments végétaux enterrés). Ces évolutions sont jusqu'alors, interprétées comme le résultat d'actions antagonistes entre des minéralisations et des humifications de composés humiques précurseurs se réalisant au dépens de matériaux différemment évolués. Cet antagonisme penche vers une minéralisation pour le fumier (ESTI) et en faveur d'une synthèse de précurseurs humiques fabriqués à partir de la matière végétale fraîche (MVFE). Cette situation MVFE apparaîtrait déjà comme la plus intéressante avec des taux de M.O. en moyenne 1,5 fois plus importants en fin de cycle. La situation MVFS donnerait la même tendance mais elle est encore trop peu exploitable.

#### 4.2.2. Evolution du complexe d'échange cationique

La modification texturale amenée par le labour provoque évidemment un effet positif sur le complexe absorbant ceci est confirmé sur la figure 16 où l'on a exprimé cette évolution de la capacité d'échange en fonction des taux d'argile, toutes situations étant confondues (sites, parcelles, profondeurs) et en rappelant que l'"argile granulométrique" provient de l'analyse classique de de quasi non-sols formés sur cendres, tuffs et ponces volcaniques.

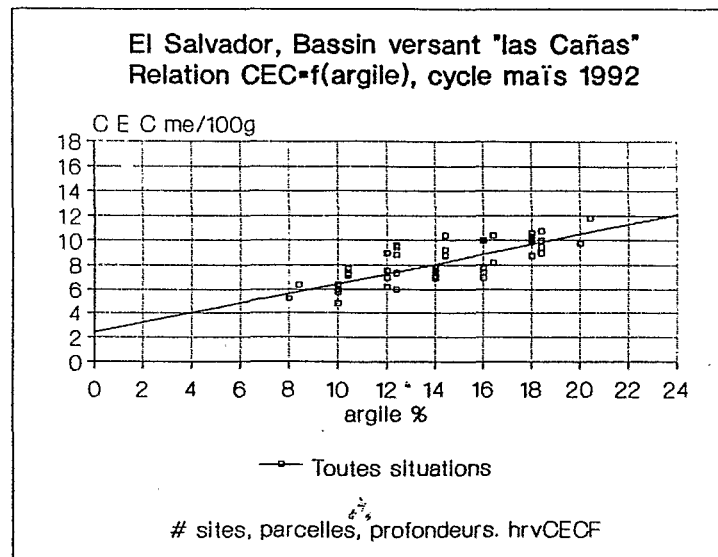
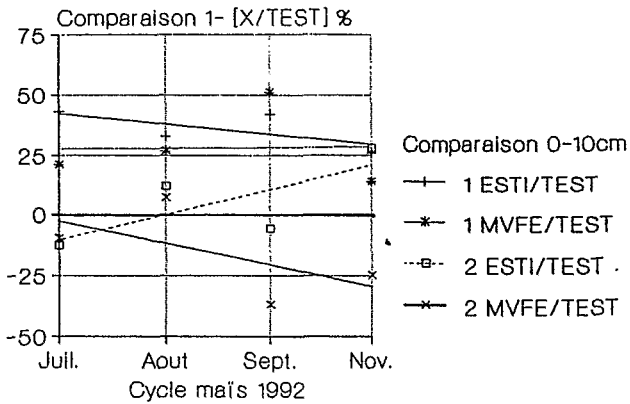


Figure 16

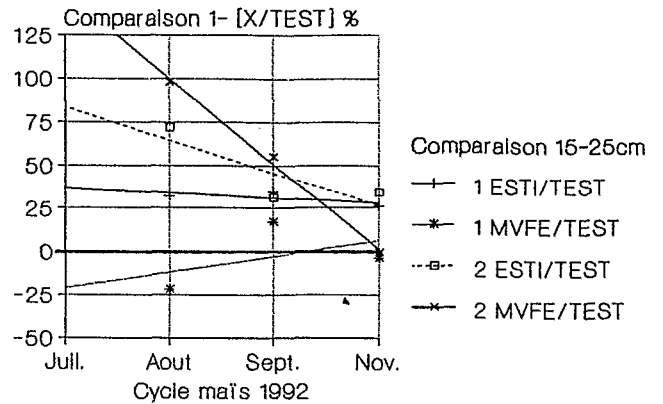
Cet "effet argile" étant isolé, on a suivi les évolutions des capacités d'échange cationiques (C E C) tout au long du cycle en exprimant leurs modifications par rapport à leurs témoins respectifs ce, en prenant toujours la précaution de pondérer les résultats en fonction des C E C initiales de chaque parcelle (figures 17 et 18).

El Salvador, Bassin versant "Las Cañas"  
CEC tous sites 0-10 comparaison témoins,



hrv CEC192CF

El Salvador, Bassin versant "Las Cañas"  
CEC tous sites 15-25 comparaison témoins



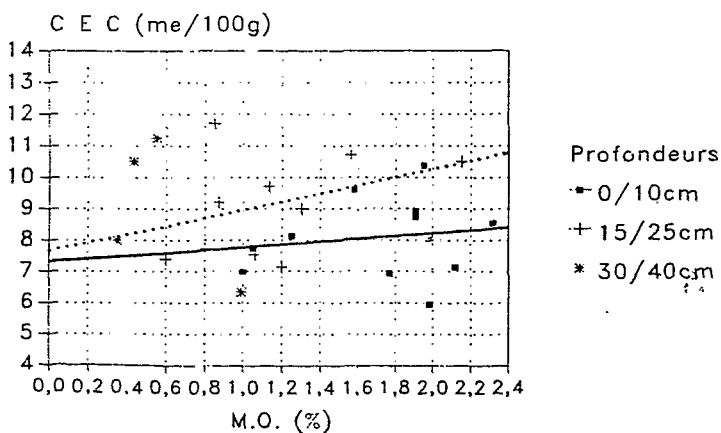
hrv CEC292CF

Figure 17

Figure 18

Au bilan, le traitement ESTI a un effet nettement positif sur la C E C avec une amélioration de 25 à 50% de celle du témoins et aussi une faible diminution en fin de cycle. Le traitement MVFE semble par contre moins intéressant, soit parceque l'on y constate d'emblée pas ou peu d'amélioration, soit parceque la C E C s'y effondre en fin de cycle.

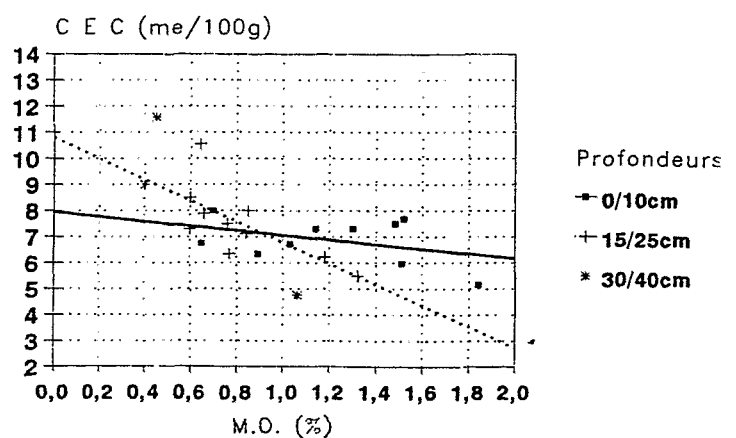
El Salvador, bassin versant "Las Cañas"  
C.E.C. = f (mat.orga.), parcelle ESTI



Sites 1 et 2, ESTI, 3 profondeurs

Figure 19

El Salvador, bassin versant "Las Cañas"  
C.E.C. = f (mat.orga.), parcelle MVFE



Sites 1 et 2, MVFE, 3 profondeurs

Figure 20

L'analyse de la situation précédente, portant sur le *moyen terme*, accorderait la préférence à une amélioration basée sur

*l'incorporation de fumier (ESTI) ce qui va à l'encontre de ce qui avait été proposé à l'issue d'une observation des effets à court terme (& 4.1.) où l'enfouissement de matières végétales fraîches fournissait au sol un stock de M O moins labile.*

On a alors essayé de voir plus strictement les effets des 2 types de matières organiques sur la C E C . Les figures 19 et 20 montrent qu'il existe un comportement totalement opposé des "substances" organiques provenant des deux types d'amendement:

- celles contenues ou synthétisées dans le fumier - *parcelles ESTI* - (figure 19) construisent un complexe organo-minéral actif, il y a effectivement *augmentation générale de la C E C,*

- celles synthétisées à partir de l'enfouissement de matières végétales fraîches - *parcelle MVFE* - (figure 20) ont un *effet nettement négatif sur la C E C.*

Les observations ne portent que sur un cycle et demi aussi les interprétations ne sont-elles encore que partielles. Nous proposons donc seulement une *hypothèse de travail* pour expliquer ce qui précède: les substances jusqu'alors synthétisées, en faible quantité, à partir de la matière végétale fraîche sont des *anions organiques précurseurs* qui pour le moment saturent les sites positifs des argiles. Elles ne se comportent donc pas (encore) comme agents flocculants et stabilisants des particules minérales. Il ne se constitue donc pas (encore) de complexe organo-minéral susceptible de renforcer et amplifier le seul rôle de l'argile dans la fixation cationique.

#### 4.3. Effets à long terme

Bien qu'encore peu prospectables, on a pu noter les deux choses suivantes:

- l'apparition, dans un matériau initialement pulvérulent, d'une *structuration faiblement à moyennement développée* avec 2 catégories d'agrégats: (i) subanguleux de 25 à 35mm sur ESTI et MVFE, (ii) les mêmes associés avec une agrégation arrondie et très fine (3 à 5mm) sur MVFS (épandage superficiel des matériaux végétaux) où l'origine pro parte biologique ne fait aucun doute.

- l'*apparition d'un pré-sol de 12cm* particulièrement net dans les ponces de MVFS 2 .

## 5. CONCLUSION

Le tableau IV résume et synthétise les interprétations proposées précédemment. On a utilisé pour ce faire un code de 0 à 3 rapportant les effets observés des amendements et de leur mode d'incorporation. Les informations se rapportant à la situation MVFS sont encore partielles.

Tableau IV: Résumé des effets d'amendements organiques constatés sur les 7 parcelles (cycles 92 et pro parte 93)

	PARCELLES						
	TEST1	ESTI1	MVFE1	TEST2	ESTI2	MVFE2	MVFS2
<u>Effets à court terme</u>							
rendements	1	3	3	1	3	2	1
mobilisation de terre	0	2	0	0	3	1	1
<u>Effets à moyen terme (comparaisons avec les témoins 1 ou 2)</u>							
dynamique MO 0-10cm.	0	1	3	0	1	0	0
dynamique MO 15-25	0	0	3	0	0	1	2
dynamique CEC 0-10	0	0	0	0	2	0	0
dynamique CEC 15-25	0	0	2	0	0	0	0
CEC = f(argile) 0-10	2	0	2	2	0	2	?
CEC = f(argile) 15-25	3	2	3	3	2	3	?
CEC = f(mat.org)0-10	0	1	0	0	1	0	?
CEC = f(mat.org)15-25	2	2	0	2	2	0	?
<u>Effets à long terme</u>							
restructuration	0	2	3	0	1	3	2
Bilan	8	13	19	8	15	12	?
(rappel parcelles)	TEST1	ESTI1	MVFE1	TEST2	ESTI2	MVFE2	MVFS2
<u>Classement des améliorations constatées (1992, pro parte 1993)</u>							
MVFE 1 > ESTI 2 > ESTI 1 > MVFE 2 > MVFS 2 > TEST 1 ido TEST 2							
Code des effets intéressants	0 = rien ou effet négatif 1 = peu d'effet positif 2 = moyennement positif 3 = fortement positif						

A l'issue de ces premières informations l'on est amené à à mettre en balance l'utilisation de résidus végétaux frais (MVFE, MVFS ?) et celle du fumier (ESTI). Rappelons que les arguments scientifiques furent les suivants:

- la MO issue du fumier tend à disparaître par minéralisation plus ou moins rapidement en fin de cycle alors que l'on aurait une augmentation du stock de celle issue des matériaux initialement frais, aussi MVE serait plus intéressant que ESTI,



- les "coups de fouet" procurés aux cultures par ces amendements organiques se traduisent par des *augmentations équivalentes des rendements* en fin de cycle (30 à 50%),  $MVFE = ESTI$ ,
- la *protection contre l'érosion* serait plus rapidement acquise avec le fumier grâce à un développement des organes végétatifs plus rapides,  $ESTI > \text{ou} = MVFE$
- par contre le fumier permettrait de construire plus rapidement un *complexe d'échange* et alors :  $ESTI > MVFE$ .

S'agissant de conservation à l'échelle d'un bassin versant, l'on doit également prendre en compte un aspect socio-économique. Il convient aussi de considérer la *facilité d'obtention* du matériel organique et alors là, sans aucune restriction, la *faveur doit être accordée au matériel végétal frais des Légumineuses* arborescentes (ici *Gliciridia sepium*, ce pourrait être *Erythrina fusca* (alias Poro au Costa Rica) ou quelques autres bien adaptées au climat local.

Ce choix se trouve être bien adapté à la situation rencontrée car les parcelles très pentues des paysans les plus démunis sont généralement un peu plus vastes (2 ha) que celles des zones topographiquement plus favorables. Comme il reste environ 50 à 60% en *friches sur pentes trop fortes (> 50%) à côté des cultures vivrières*, ces friches peuvent être plantées en *Légumineuses* qui fourniraient alors au bout de 3 à 4 ans environ 10t/ha de matière végétale fraîche ad'hoc chaque année. On est proche des apports organiques dont l'efficacité vient d'être prouvée.

Par rapport au fumier qui doit être acheté et transporté, *cette solution ne grèverait pas trop le paysan*. Les plants de Légumineuses peuvent être négociés à des tarifs intéressants auprès des instances techniques des Ministères et la récolte de leurs résidus frais ne requière que quelques jours de travail une fois l'an.

Le compostage est une alternative difficile à mettre en oeuvre compte tenu: (i) des difficultés de trouver l'eau nécessaire aux arrosages permettant le démarrage des fermentations, (ii) l'éloignement des lieux d'habitation des champs des paysans les plus démunis.

Ajoutons enfin que l'augmentation des rendements *améliorera la productivité des terres*, elle sécurisera et fixera les déguerpis d'autres régions (guerre récente) et pourra limiter les actuelles situations conflictuelles entre protecteurs de bassin pour production d'énergie et producteurs de vivrier.