

# RAPPORT DE MISSION EN TUNISIE

**du 7 au 14 mars 2003**



**L. Séguy  
E. Scopel  
Cirad-ca**

**Programme GEC**



## S O M M A I R E

I – INTRODUCTION	1
II- OBSERVATIONS SUR LA CAMPAGNE AGRICOLE EN COURS	1
III – RECOMMANDATIONS POUR LA CONSTRUCTION DU SYSTEME DE SEMIS DIRECT (SCV)	3
3.1. Plantes de couverture sous couvert des céréales	3
3.2. Plantes de couverture en intercalaires de légumineuses	3
3.3. Collections	4
IV – DIVERS	5
4.1. Des indicateurs naturels	5
4.2. Les légumineuses d’hiver : un support de choix pour l’installation de plantes de couverture en intercalaires à partir de mars	6
4.3. Sur le développement des SCV	6
V – L’EROSION DANS LE CADRE TUNISIEN (COMPTE RENDU DE MISSION DU 7 AU 14 MARS 2003) ERIC SCOPEL	7
VI – REMERCIEMENTS	13

### ANNEXES

#### I – INTRODUCTION

Les termes de référence de la mission L. Séguy + E. Scopel, définis par l’AFD Tunis (Jean-François Richard), sont réunis en annexe. Ce qu’il a été possible de faire pour répondre aux questions les plus urgentes :

- évaluation du système du « zéro travail » dans les différentes régions (Mateur, Goubellat, Bou Salem, Krib, Kef) par rapport au système traditionnel avec travail du sol, chaque fois que les conditions de mise en place des 2 systèmes le permet ;
- construction du système de « semis direct » qui nécessite des plantes de couverture de renfort dans le système « zéro travail » (produire plus de biomasse au-dessus et dans le sol carbone , « couvrir le sol » pour lui conférer à la fois résistance à l’érosion et fermeté facilitant l’accès des machines à la parcelle, sans dommages) ; les bases de cette construction du « semis direct » ont été établies pour mise en place immédiate dans les différentes régions ;

- recommandations pour le suivi de l'érosion, des externalités en général, de la dynamique de l'eau, dans les systèmes de culture comparés (zéro travail et conventionnel).

Ce qui reste à faire et devra être mis en œuvre au début septembre pour bâtir le programme de développement du semis direct dans les prochaines années, après le séminaire de janvier 2004 :

- le dispositif de recherches, de « création-diffusion », compte tenu des résultats obtenus au cours de la première phase du projet : rotations et systèmes de cultures en fonction des différentes régions, partenariats (agriculteurs et/ou associations, institutions de recherches, etc ...), analyse d'impacts (agronomique, socio-économique, technique) ;
- stratégies de développement du semis direct avec le secteur public et privé, échelles d'application (objectifs, moyens).

## II – OBSERVATIONS SUR LA CAMPAGNE AGRICOLE EN COURS

Sous une pluviométrie exceptionnellement élevée, les récoltes s'annoncent également exceptionnelles, sauf accident climatique de fin de cycle (sirroco).

Les dégâts causés par l'érosion dans les systèmes de culture traditionnels (sol travaillé) sont considérables, catastrophiques à l'échelle des unités de paysage, même sur pentes protégées par banquettes anti-érosives : des canyons se sont creusés dans toutes les régions de, parfois, plusieurs mètres de profondeur ; les parcelles de culture comportent des « griffes » généralisées, plus ou moins importantes, fonction de la susceptibilité des sols à l'érosion et de l'intensité du travail du sol.

(\*) malgré ces dégâts considérables, la prise de conscience n'est pas générale.

Au Krib, chez Monsieur Adnen Abdrabou, le dispositif expérimental qui permet de comparer zéro travail et travail du sol, entre banquettes anti-érosives et sans aménagement anti-érosif, fait la démonstration indiscutable de la supériorité du zéro travail sur pentes fortes, même lorsque le semis est réalisé dans le sens de la pente : le sol ne comporte aucune griffe d'érosion récente, aucun dégât de surface avec une végétation de blé très homogène et bien développée ; à l'inverse, sur travail du sol entre banquettes, de très nombreuses griffes ont décapé tout le sol et la roche mère apparaît sur une part importante de la surface ; la végétation du blé là où le sol est encore présent est hétérogène.

Cette expérimentation rigoureuse, incontestable, qui compare les différents systèmes, au même niveau topographique de la toposéquence, montre que les sols à faciès sableux dominants, peu épais, sont extrêmement susceptibles à l'érosion lorsqu'ils sont travaillés et peuvent disparaître en un an ; le zéro travail sur résidus de récolte de céréales, permet de contrôler parfaitement l'érosion, même les années les plus pluvieuses et agressives pour ce type de sol.

Sur l'exploitation pilote de Goubellat, même constat, avec des dégâts moindres qu'au Krib sur parcelles travaillées ; le développement de l'avoine est plus développé et plus homogène sur zéro labour que sur travail du sol.

Au Kef, sur l'exploitation de Monsieur le Professeur, la comparaison « zéro travail x travail du sol », sur la même toposéquence, est très nettement à l'avantage du zéro travail : contrôle total de l'érosion, développement végétatif des céréales et légumineuses (fèverolle) bien supérieur (hauteur des cultures, homogénéité).

Parmi les imperfections du zéro travail en année plus pluvieuse, on notera :

- des déficiences en oligo-éléments sur sols sableux (Krib) : Fe, Zn, Mn (remontée significative du pH en sol saturé qui bloquent les oligos les plus exposés à ce phénomène) ;
- des désherbages de céréales souvent imparfaits (brome à traiter dans les premiers stades de croissance, ray grass ...) ;
- des épandages d'azote en couverture, toujours très hétérogènes sur pentes ; de 5 à 10 quintaux/ha peuvent ainsi être perdus pour une technique d'épandage mal réalisée ; le semis direct permet, très rapidement, après 2 à 3 années consécutives (fonction surtout de l'importance de la biomasse racinaire de graminées) d'améliorer la portance des sols (sols poreux, mais très résistants à la déformation) ; cet avantage devrait se traduire par un accès à la parcelle permanent, sans dommages pour les états de surface, et permettre ainsi de réaliser des épandages homogènes de N en couverture (un distributeur d'engrais centrifuge peut être amorti très rapidement) ;
- un profil cultural parfois insuffisamment poreux en année très pluvieuse, en situation topographique plane ou très peu pentue ; ce cas a été rencontré au Krib et à Goubellat où les céréales ont été implantées sur du pois qui ne restructure pas les sols de manière efficace ; l'eau stagne assez souvent et assez longtemps sur ces parcelles pour favoriser la dénitrification : les céréales observées montrent, dans ce genre de situation, des déficits azotés assez importants par rapport aux parcelles travaillées ;
- enfin, on peut constater que la dose totale de N en couverture appliquée cette année sous forte pluviométrie aurait pu être plus conséquente ; en effet, la quantité d'eau très excédentaire accumulée dès janvier aurait dû inciter à fertiliser plus fort, sans prise de risque importante, pour des objectifs de rendements nettement plus élevés (si on ne prend pas ce risque en année exceptionnellement arrosée, quand le fera-t-on ?).

L'exploitation SEDAN constitue toujours un excellent exemple à suivre pour la construction du semis direct en Tunisie : niveau de maîtrise, création de l'innovation (associations de plantes de couverture) sont très démonstratifs.

### **III – RECOMMANDATIONS POUR LA CONSTRUCTION DU SYSTEME DE SEMIS DIRECT (SCV)**

Par rapport à la technique actuelle de « zéro travail » sur résidus de chaumes laissés par les ovins, le semis direct sur couverture végétale (SCV) utilise toutes les opportunités pluviométriques significatives (août, septembre ; puis mars, avril, mai) pour implanter des biomasses de renfort, ou avant les cultures, ou sous couvert ; même si dans un premier temps ces biomasses de renfort sont consommées par les animaux (donc production ovine accrue) ; elles permettent :

- de couvrir les sols ;
- recycler les bases et nitrates ;
- injecter du carbone dans les sols en les restructurant grâce à leurs systèmes racinaires ; cette production de biomasse additionnelle, dans le profil cultural, est protégée de l'action de l'homme et des animaux.

### 3.1. Plantes de couverture sous couvert des céréales

**Où ?** chez ADNEN à l'échelle de la toposéquence : en haut, au milieu, en bas (toposéquence sableuse),  
 au CTC, sous blé dur et orge,  
 chez Abdelaziz Ben Hammouda,  
 chez Nasserline, si possible (toposéquence argileuse).

#### Dates de semis et espèces

1/	2/	3/	4/	5/
<b>15-20/03</b>	<b>15-20/04</b>	<b>05/05</b>	<b>Avant récolte</b>	<b>Après récolte</b>
. tous les trèfles dont Alexandrie . vesce Brésil et locale . radis fourrager . avoines, dont locale . luzernes	Idem 1/ + mil, sorghos, brachiarias, cenchrus, eleusine, andropogon, sarrasin, sésame, kikuyu, bambatsii, quinoa, cynodon, paspalum	Idem 2/	Idem 2/ Sans les trèfles et les avoines	Idem 4/

- les options 1, 2, 3 sont les plus intéressantes car elles donnent le temps aux espèces de se connecter à l'eau profonde,
- les options 4 et 5 sont beaucoup plus aléatoires,
- les options 1, 2, 3, 5, semis à la volée,
- l'option 5 enterrée (semis direct).

- 1 à 2 m<sup>2</sup>/espèce et par date suffisent pour ce test de comportement.

### 3.2. Plantes de couverture en intercalaires de légumineuses (fèverolle, pois, pois chiche)

**Où ?** ⇒ au CTC, dans fèverolle  
 ⇒ Chez Adnen, et à Goubellat

#### Dates de semis espèces

1/	2/
<b>15-20/03</b>	<b>15-25/04</b>
. avoines . vesces . luzernes . radis fourrager . trèfle Alexandrie	Idem 1/, <b>sans les avoines</b> + mil, sorghos, brachiarias, cenchrus, eleusine, sarrasin, sésame, cynodon, paspalum, quinoa, andropogon

(\*) **à la première date** : 15-20/03, toutes les espèces peuvent être implantées au binage (semis à la volée avant binage) ou simplement à la volée pour les petites graines,  
**à la deuxième date** : 15-25/04 implantation à la volée.

### 3.3. Collections

→ identifier les espèces qui peuvent produire des grains en Tunisie (semences sur place),  
→ en province une quantité suffisante pour alimenter les systèmes SCV chez nos partenaires en 2004.

Où ? ⇒ au CTC

#### Dates de semis et espèces

- **toutes les espèces disponibles**, dont **restes** de l'année 2002,
- **2 dates** : 15-20/04 et 15-20/05,
- collections conduites sous irrigation (irriguer dès le semis, après roulage),
- multiplier un maximum de surface pour les espèces :
  - qui ont déjà donné des graines viables en 2002, telles que brachiaria decumbens, Eleusine, Cenchrus, Bambatsii, Milgarra, etc ...,
  - qui sont en grande quantité :
    - . les trèfles,
    - . les luzernes (semences à venir de Montpellier),
    - . radis fourrager,
    - . avoines de Madagascar,
    - . Eleusine,
    - . sorghos,
    - . sarrasin,
    - . sésame,
    - . etc ...

(\*) ces collections sont très importantes pour le futur des SCV en Tunisie, donc à soigner. Les quantités importantes de semences en provenance d'Australie (1 kg/espèce : luzernes, Cenchrus, Bambatsii, Brachiaria decumbens ...) devront être multipliées au CTC (en dehors des essais extérieurs, multiplier tout au CTC sur les 2 dates et conserver un talon de réserve).

## IV – DIVERS

### 4.1. Des indicateurs naturels

**L'importance des crucifères** dans les cultures (diverses espèces) et dans les jachères, indique que les crucifères **cultivées** devraient très bien se comporter :

- **comme biomasse de couverture**, en mélange avec l'avoine + vesce velue, ou avec fenugrec (exemple des parcelles de Monsieur Abdelaziz Ben Hammouda à Mateur), ou en début de cycle en cas de pluies précoces d'août-septembre, ou à partir de mars, puis avril avant les pluies fréquentes de début mai, sous couverture des céréales ou en intercalaires des légumineuses (pois, pois chiche, féverolle) ; le radis fourrager peut ainsi être un élément précieux dans la construction des SCV, de même que le colza ;
- **comme culture** : le colza, qui pourrait être une culture de rotation importante sous réserve de construire rapidement son avenir commercial (les herbicides de contrôle des dicotylédones existant aujourd'hui pour le colza, ce qui n'était pas le cas il y a quelques années).

**Les besoins en azote des céréales** peuvent être mis en évidence, in situ, sans analyses coûteuses ; il s'agit simplement d'installer 2 à 3 bandes à double densité par parcelle, au moment du semis ; ces bandes témoins ont des besoins accrus en N et indiquent avec précision (en fonction des conditions pédoclimatiques et des modes de gestion des sols) les premiers symptômes de déficience, donc le moment d'application de N en couverture.

Dans la **jachère naturelle**, on note la présence de vesces, dont une rampante à tige rouge très bien adaptée aux sols squelettiques des sommets de croupes, de même que la fréquence importante de medic (espèces diverses) ; ce matériel végétal mérite d'être collecté pour être re-intégré dans les SCV (ces espèces ont déjà fait leurs preuves et ont été choisies par la nature elle-même).

Le brome devient une peste végétale, dans les systèmes céréaliers dominants ; cette espèce (appétée lorsque jeune), de même que l'espèce locale de Cynodon d., peuvent servir à construire, en semis direct :

- des **parcelles de parcours** sur les sols les plus dégradés, les plus squelettiques et les moins fertiles : ces espèces pérennes peuvent être associées à la vesce velue ; le brome pousse en hiver, le chiendent en été : les 2 espèces peuvent donc se relayer ;
- des parcelles de **jachère cultivée** : avoine + vesce en hiver (en semis direct) suivie de Cynodon d., en été (contrôlé naturellement par le froid en hiver).
- des **parcelles de culture** : semis direct de légumineuses annuelles (pois, pois chiche, féverolle) sur couverture vivante de brome + Cynodon (couverture permanente).

L'espèce locale de Cynodon d. (très résistante à la sécheresse) peut, comme l'espèce *Paspalum notatum* cv. pensacola, servir à fixer les banquettes anti-érosives et éviter ainsi leur dégradation (le pensacola, également vivace, résiste bien au froid et pourrait servir de relais au Cynodon d. en hiver). Ces 2 espèces vivaces, en succession annuelle (Pensacola en hiver, Cynodon en été) pourraient également constituer des couvertures efficaces, pâturées, sous oliviers et amandiers (en contrôlant leur pousse à partir de avril ⇒ mulch contre l'évaporation en saison sèche).

## 4.2. Les légumineuses d'hiver : un support de choix pour l'installation de plantes de couverture en intercalaires à partir de mars

Les plantes de couverture peuvent être installées :

- au binage en mars (semis à la volée avant binage) ;
- à la volée en avril (petites graines) : dans ce cas, des espèces à très puissant et profond enracinement, et très résistantes à la sécheresse seront implantées (genres mil, sorgho, Cenchrus, Eleusine, Andropogon, Brachiaria).

Ce système (SCV) permettra de fournir de la biomasse additionnelle en saison sèche et surtout de restructurer puissamment le profil cultural (chevelu racinaire recycleur de bases, nitrates, etc ...) ; en outre, il constituera un support de choix pour les céréales de l'année suivante.

## 4.3. Sur le développement des SCV

Les SCV avancent à grands pas, avec enthousiasme, chez les agriculteurs pilotes (Adnen, Andelaziz, Nasserline, etc ...) qui ne doutent pas de l'importance des SCV ; chez les institutions de recherche et de développement, le doute est plus souvent présent, la critique fréquente ; il est important de noter que certains chercheurs de l'ESAK sont déjà convaincus et appuient fortement, par leurs travaux, le développement des SCV (équipe dirigé par Moncef Ben Hamouda).

On notera également l'importance du travail du CTC (Monsieur Khalifa M'Hedbi, Stéphane Chouen et leurs équipes) qui a su nouer des liens solides avec les agriculteurs dans les différentes régions et dynamiser l'avance du zéro travail.

Pour ce qui concerne **la stratégie de construction des SCV** à partir de 2003/2004 : à la lumière des résultats significatifs qui seront exposés au séminaire de janvier 2004, les actions de recherche-développement devront être remodulées et devront prendre en compte :

1/ Au niveau du milieu physique :

- les unités de paysage,
- la texture et l'épaisseur des sols.

2/ Au niveau des méthodes et démarches d'intervention :

- en prenant en compte les résultats obtenus, reconstruire les rotations de culture avec et sans jachère (naturelle ou cultivée) ;
- au-delà des modes de gestion des sols différenciés (travail du sol, zéro travail, semis direct), introduire les composantes fertilisation (fumures actuelles et demi-doses), contrôle fongicides (nature et doses actuelles, doses réduites), contrôle herbicides (réduction des doses) ;
- comparer les performances des parcours naturels avec des parcours cultivés en semis direct qui utilisent des mélanges d'espèces (cf. au Krib, chez Adnen), étudier les modes de gestion les plus appropriés (pâturage tournant, etc ...) ;
- construire des « bases opérationnelles systèmes de culture » (matrices des systèmes) en milieu réel, de manière rigoureuse (témoins intercalés répétés) à l'échelle des unités de paysage représentatives. Ces dispositifs pluridisciplinaires par construction,

garantiront la pluridisciplinarité effective des divers intervenants ; l'appui des diverses thématiques qui garantissent les progrès des systèmes de culture se fera, de manière hiérarchisée (importance des composantes des systèmes) à la lumière des réponses des systèmes. Ce travail de montage sera réalisé au cours de la mission de septembre qui devrait être exclusivement consacrée à ce travail déterminant pour l'avenir du semis direct en Tunisie.

*(\*) A prévoir pour cette mission la présence de M. Arnaud pour la biométrie des nouvelles propositions systèmes SCV, E. Scopel (érosion, externalités) et M. Raunet (coordination avec partenaires de la recherche).*

## **V - L'ÉROSION DANS LE CADRE TUNISIEN (COMPTE RENDU DE MISSION DU 7 AU 14 MARS 2003) ERIC SCOPEL**

Le projet d'appui à la diffusion des SCV dans le contexte tunisien financé sous différentes formes par le gouvernement français a débuté mi 99. On constate depuis un intérêt croissant des producteurs et une évolution systématique des surfaces concernées. Face à cette évolution et pour renforcer cet effort, une évaluation de l'impact réel de ces systèmes de culture sur la réduction de l'érosion hydrique et l'amélioration du bilan hydrique s'avère nécessaire. Il est notamment intéressant de comparer avec d'autres techniques anti-érosives telles que les banquettes en courbes de niveau financées par ailleurs par d'autres projets de développement rural. Le présent rapport essaie donc, en fonction des dispositifs et des sites actuels de travail, de donner quelques orientations pour pratiquer rapidement cette évaluation. Une annexe détaillée donnera d'amples informations sur les méthodes proposées.

### **Quelques observations qualitatives :**

**La campagne 2002-2003 est particulièrement intéressante car atypiquement pluvieuse jusqu'au déroulement de cette mission en mars. Les conséquences d'une telle pluviométrie sur la dégradation des sols par érosion sont particulièrement éclairantes puisque dans ce domaine, quelques événements exceptionnels peuvent provoquer des dégradations irréversibles. Les dégâts constatés cette année sont particulièrement forts dans toutes les parcelles cultivées traditionnellement avec travail aux disques et sans protection du sol (forte érosion laminaire dans les situations de faible pente, avec formation de ravines dès que la pente s'accroît), et ce, même sur des sols argileux plus stables, dès lors que la pente est un peu plus importante (voir photos dans la région de Mateur).**



**Figure 1** : Photos de la région de Mateur illustrant les forts dégâts d'érosion en griffes sur la campagne 2002-2003, même sur vertisols stables

Par contre, dans toutes les situations en SCV visitées, aucune trace d'érosion n'a pu être observée, quel que soit le sol (même sur sols sableux moins stables comme dans l'exploitation d'Adnen Abdrabou au Krib) et quelle que soit la pente (de 0 à plus de 30%). Dans d'anciennes griffes d'érosion, des écoulements superficiels ont été constatés sans que cela se traduise toutefois par une accentuation de la taille des griffes (exploitations d'Adnen Abdrabou et d'Abdelaziz Ben Hammouda ). Certaines de ces griffes ont été totalement stabilisées grâce au semis d'espèces pérennes comme des chiendents ou d'autres graminées. A noter que plusieurs dispositifs permettaient de comparer, au moins visuellement, le système de banquettes avec celui de SCV (à Goubellat chez Karim Ben Bechir et au Krib chez Adnen Abdrabou). Avec des systèmes à banquettes seules, on pouvait constater des traces d'érosion laminaire, voire même en griffes chez Adnen Abdrabou, entre les banquettes : le système n'est pas stabilisé et les processus de transferts solides continuent à se manifester avec un déplacement de la fertilité qui se concentre au pied du billon anti-érosif, diminuant la surface agricole utile. Cette année, certains cordons ont même cédé, concentrant les écoulements dans de nouvelles et grandes griffes d'érosion (voir photos).



**Figure 2** : Photos illustrant les limites de systèmes anti-érosifs en cordons lors d'années fortement pluvieuses, Parcelles de Adnen Abdrabou au Krib

Le constat général de ces observations est 1) qu'effectivement les problèmes de dégradation des sols agricoles par érosion hydrique sont très forts, notamment lors de fortes pluies très agressives comme celles de cette année, et 2) que les SCV peuvent répondre de manière très

efficace à ces problèmes, voire plus efficace que les techniques de terrasses anti-érosive traditionnellement utilisées. Il reste à caractériser ces impacts de façon quantitative par des mesures *in situ*.

### **Quels dispositifs et quel pas de temps :**

**Il semble opportun de mettre en place très rapidement des protocoles d'observations pour apporter des éléments chiffrés des impacts des SCV sur le bilan hydrique et l'érosion dès le séminaire prévu en janvier 2004 par les bailleurs et les responsables du projet. Pour cela nous proposerons ici de travailler sur deux pas de temps :**

- des observations dès cette fin de campagne 2003 sur certaines situations déjà en place et permettant des comparaisons entre systèmes.
- une campagne d'observations sur le cycle 2003-2004 avec la mise en place de quelques dispositifs spécifiques simples. Ces dispositifs apporteront des éléments dès janvier et pourront se pérenniser sur la campagne suivante pour compléter la caractérisation.

Devant cette urgence et devant les difficultés techniques à bien gérer des dispositifs en SCV en station, nous recommanderons de concentrer les observations sur des dispositifs contrôlés, **mais chez, et gérés par, des producteurs volontaires**<sup>1</sup>. Les exploitations d'Adnen Abdrabou sur sols sableux, celles de Karim Ben Bechir sur sols argilo-sableux bruns, voire celle d'Abdelaziz Ben Hammouda (ou autres producteurs du groupe de Mateur) sur vertisols (sols argileux noirs), nous semblent être les meilleures options.

Cela n'empêche pas bien sûr de compléter nos propositions par des observations sur des dispositifs en station lorsque ceux-ci existent déjà.

Enfin, **nous recommandons de toujours effectuer les observations sur des traitements situés exclusivement dans la même position topographique** de l'unité de paysage (même sol, même pente et on évite ainsi les interactions entre traitements lorsque ceux-ci sont situés les uns au dessus des autres et qu'il y a des transferts des plus hauts vers les plus bas).

### **Sur la campagne 2002-2003 :**

Dès cette fin de campagne, on peut procéder à **des mesures de densités apparentes** afin de caractériser les effets des couvertures sur la porosité (rôle des racines nombreuses et non consommées par les moutons + activité faunique) et **des mesures d'infiltration** par la méthode du « Beer can » pour caractériser les effets de cette porosité sur la conductivité hydraulique. Il est à noter que les deux observations peuvent se faire de façon simultanée (voir annexe).

1) Chez Adnen Abdrabou, sur le faciès sableux aménagé en cordons. Choisir un des cordons supérieurs (pas trop endommagé). On propose de faire six points sur la partie cordon plus travail du sol et de faire également six points sur la partie en semis direct située dans le

---

<sup>1</sup> L'expérience accumulée dans de nombreux pays montre que les SCV exigent, pour être efficaces, un pilotage et des interventions en temps réel (contrôle des adventices, fertilisation, contrôle des ravageurs et maladies...). La gestion en station de dispositif de recherche qui demande à être planifiée (accès aux intrants et à la main d'œuvre) s'accorde mal avec cette flexibilité : les systèmes finissent par être mal gérés et s'éloignent des systèmes que l'on prétend caractériser.

prolongement du cordon. Enfin faire six points dans la partie semis direct mais en bas de pente (comparaison entre haut de pente et bas de pente en SCV).

2) Chez Adnen Abdrabou également, sur le faciès plus argileux en bas, également aménagé, faire la même comparaison avec six points en travail du sol plus cordons et six points en semis direct.

3) Chez Karim Ben Bechir, sur les aménagements avec un sol plus argileux mais très caillouteux, on peut effectuer la comparaison entre, le travail conventionnel d'une part et SCV de l'autre. Là aussi six points seront effectués de chaque côté pris dans des banquettes au même niveau.

### **A partir de mi 2003 :**

#### *\* Enrichissement des dispositifs actuels :*

On peut penser enrichir ces dispositifs en nombre de traitements à observer à partir de la campagne 2003. Ainsi chez Adnen Abdrabou on pourrait subdiviser la terrasse (celle observée dès la fin de campagne antérieure), actuellement en travail du sol dans le dispositif de cordons anti-érosifs sur sols sableux, en trois traitements de gestion du sol : 1) le travail aux disques comme actuellement, 2) du semis direct sans réelle couverture (passage des moutons), 3) du semis direct optimisé en terme de production de biomasse (voir propositions de Lucien Séguy) avec plus de restitutions de biomasse au système (si compatible avec la gestion des troupeaux). Si on rajoute le traitement actuellement en semis direct sans aménagement qui se trouve dans le prolongement de la terrasse, on se retrouve avec quatre traitements. Le semis du blé pourrait s'effectuer dans le sens de la terrasse, croisant ainsi les quatre traitements (attention aux problèmes de réglage de la profondeur de semis).

On pourrait effectuer le même montage dans le faciès argileux de la partie plus basse de la même exploitation.

On pourrait également travailler sur deux ou trois traitements (travail du sol, semis direct avec très peu de paillis et SCV optimisé) placés côte à côte sur un faciès de vertisol avec pente comme dans l'exploitation d'Abdelaziz Ben Hammouda ou d'un autre producteur de Mateur.

#### *\* Caractérisation initiale :*

Il est recommandé de prélever des échantillons de sols au départ de ce nouveau dispositif afin de pouvoir suivre les évolutions des caractéristiques chimiques du sol avec le temps d'application des divers traitements, si par hasard ces dispositifs venaient à se pérenniser sur quelques années. Pour cela, on effectuera à la tarière classique, un échantillon composite (sur 15 positions) des horizons 0-10, 10-20 et 20-30 cm de chaque traitement. Ce prélèvement sera fait à la fin de la saison sèche avant le travail du sol et juste avant le retour des pluies. Il est préférable d'effectuer les échantillons suivants à la même époque pour faciliter l'interprétation des évolutions.

On recommande d'analyser le carbone (Walkley et Black ou CHN) et l'azote total (Kjeldahl ou CHN) sur ces horizons séparés. On pourra par contre procéder à des analyses classiques physico-chimiques sur le mélange des horizons 0-10 et 10-20 cm (après mesure du C et du N). Normalement des mesures de densité apparente auront été effectuées durant la campagne précédente, si ce n'était pas le cas, il serait bon d'effectuer 3 à 4 points d'observations sur les trois profondeurs par traitement. Cette densité apparente permet de passer de teneur par

horizon à des stocks, ce qui est particulièrement important concernant la matière organique et les bilans carbonés.

*\* Suivi climatique :*

Il est INDISPENSABLE qu'un pluviomètre soit installé sur chaque site d'expérimentation pour pouvoir interpréter correctement les données de ruissellement. Il devra être placé le plus près possible du dispositif (moins d'une centaine de mètres), dans un endroit dégagé (arbres, bâtiments ou tout autre obstacle élevé à plus de 50 m), mais accessible pour l'observateur. Il est recommandé de bien vérifier l'horizontalité du pluviomètre surtout s'il s'agit d'un petit pluviomètre en plastique (plus la surface de recueil de la pluie est petite, plus l'erreur potentielle est élevée). On a pu observer jusqu'à 30% d'erreur sur ces pluviomètres s'ils ne sont pas placés avec précaution. Il convient donc à l'installation, et après chaque lecture, de prendre garde à son bon positionnement.

Il serait bon également de recueillir de la station météorologique la plus proche (si elle existe) des données climatiques complémentaires : température mini et maxi pour recalculer les cycles physiologiques des cultures, humidité relative, le vent (vitesse maxi en km) et le rayonnement afin de pouvoir calculer l'ETP (soit la demande évaporative climatique), et d'évaluer le bilan hydrique de ces cultures. Si aucune station n'est disponible, il est à noter qu'il existe maintenant sur le marché des petites stations automatiques assez économiques (2 à 3000 dollars) et qu'il serait peut-être bon que le projet s'équipe avec un ou deux de ces appareils (une au Krib et une à Mateur par exemple).

*\* Suivi du ruissellement :*

Sur chacun des traitements un petit dispositif de recueil des eaux de ruissellement ainsi que des pertes solides liées pourront être installés (voir annexe). Ils seront mis en place juste après le semis afin de ne pas perturber la préparation du sol et les semis du blé (attention à ne pas trop piétiner lors de l'installation et perturber la germination des semences). A chaque événement pluvieux, les eaux ruisselées recueillies seront mesurées et le rapport de ruissellement (ruissellement sur pluie) sera calculé pour chaque traitement.

*\* Suivi de l'humidité des sols :*

Comme décrit en annexe, nous ne recommandons d'effectuer des suivis d'humidité des sols que lorsque des périodes plus sèches apparaissent dans le cycle. Si une période de 8 jours sans pluie survient on peut commencer à effectuer des profils par prélèvements gravimétriques à la tarière. On effectuera alors trois profils par traitements. On pourra répéter l'opération tous les 3-4 jours si la sécheresse se prolonge, et ce, jusqu'à ce que plusieurs grosses pluies ne surviennent à nouveau.

*\* Suivi de l'érosion :*

L'érosion laminaire pourra être évaluée grâce aux dispositifs de recueil des eaux de ruissellement précédents. Après chaque événement les pertes solides seront mesurées pour chaque traitement (voir annexe).

Cette érosion laminaire pourra aussi être évaluée par la méthode dite « des clous et rondelles » (voir annexe). Une dizaine de clous pourront être placés dans chaque traitement, à des endroits où ils ne risquent pas d'être enfoncés par le passage de gens ou de tracteurs. La mesure finale se fera à l'issue de la récolte du blé ou carrément en fin de cycle. Si les mesures

de densité apparente n'ont pas été faites, il convient de faire 5 points de l'horizon 0-10 cm par traitement au début du cycle et cinq autres au moment de la mesure. Cette méthode, parce qu'elle est aisée à pratiquer, même si elle ne donne qu'une évaluation grossière, pourra être appliquée aussi dans d'autres parcelles de producteurs, à partir du moment où il y a deux traitements comparables (même parcelle ou parcelle contiguë avec même sol, même culture, date de semis comparable).

L'érosion concentrée en ravines ou griffes pourra être évaluée en effectuant des profils topographiques (voir annexe) à trois niveaux (en haut, au milieu et en bas) entre les cordons, et ce en début de cycle (juste après le travail du sol) et en fin de cycle. Pour pouvoir comparer, il convient de faire ces profils exactement au même endroit et avec des piquets de référence latéraux exactement à la même hauteur (une partie du sol peut être partie aussi à l'endroit des piquets). Pour cela on recommande de prendre des piquets courts et, si possible de les laisser en place durant tout le cycle s'il ne gênent pas la progression et le passage des outils.

#### *\* Caractérisation de la croissance des cultures :*

Un premier indicateur important est la profondeur de colonisation racinaire. En effet, plus ce volume racinaire est important et plus la plante disposera d'une quantité d'eau et de minéraux importante. Pour cela, on pourra creuser une fosse par traitement, à floraison, pour observer, la profondeur maximale de colonisation et la profondeur où environ 80% des racines sont concentrées (approximation visuelle). On pourra en profiter pour observer le profil cultural de ces situations.

Le meilleur indicateur du bon comportement de la culture est la biomasse produite. Cette biomasse pourra être évaluée à deux moments : à floraison comme indicateur du fonctionnement durant la phase végétative et à la récolte. A floraison on pourra effectuer le prélèvement de 4 fois 3 mètres linéaires par traitement. Soit on peut tout emmener au labo et tout passer à l'étuve pour estimer cette biomasse, soit on pèse les échantillons en vert au terrain (ou au labo) et on ne prélève qu'une aliquote que l'on pèse également en vert, que l'on passe à l'étuve puis que l'on pèse en sec.

Pour la récolte on pourra effectuer des carrés de rendements de 2 m<sup>2</sup> environ. Le nombre de ces carrés dépendra de l'hétérogénéité de la culture : si l'ensemble est assez homogène on pourra se contenter de 4 carrés par traitements, si l'ensemble est plus hétérogène on en pratiquera au moins 6 par traitements. On pourra également évaluer la production sur chaque dispositif de ruissellement. Il est important d'évaluer la production de grains ET la production de pailles pour avoir la biomasse totale et l'indice de récolte.

De façon générale il est important de quantifier TOUTE la biomasse produite par traitements. Si des biomasses de renforts sont plantées (comme probablement dans le traitement de SCV optimisé), il est important d'évaluer la biomasse produite par ces inter-cultures. Inversement si les troupeaux circulent sur ces dispositifs il est important d'évaluer les exportations liées à leur pâture. On devra donc évaluer le paillis restant après leur passage par prélèvement de 4 fois 1 m<sup>2</sup> par traitement. La différence avec la biomasse produite avant leur passage donnera les exportations.

#### **Mesures sur le long terme :**

Si ces dispositifs et traitements devaient se pérenniser au delà de deux années supplémentaires, il serait bon d'effectuer certaines observations au moins à la fin de cette expérimentation. En effet, de nombreux effets cumulés pourraient apparaître sur les caractéristiques physiques et chimiques de ces sols. Nous recommanderions alors de procéder à

des mesures de densité apparente et d'infiltration comme proposé ici pour la campagne 2002-2003. De même, des prélèvements de sols pour analyses chimiques pourront être effectués comme recommandé ci-dessus pour la caractérisation initiale. On pourra ainsi voir les effets sur le bilan, et stockage éventuel, du C (même si on procède à peu de restitutions organiques dans ces systèmes). Il est important de procéder de la même manière, d'utiliser des mêmes méthodes et, si possible, d'avoir recours au même laboratoire d'analyse que lors de la caractérisation initiale

### **Conclusions : contraintes et considérations générales :**

Nous avons essayé de proposer dans le présent rapport quelques adaptations aux dispositifs actuels et quelques observations afin d'apporter des quantifications, le plus rapidement possible, sur les effets comparés des SCV sur le bilan hydrique et l'érosion.

Malgré tout il n'est pas si aisé d'obtenir de tels résultats, et même avec un effort maximum de simplification les méthodes proposées sont, pour certaines, contraignantes. C'est le cas des suivis de dispositifs de ruissellement et d'érosion qui demandent qu'une personne soit disponible pour que, dès qu'il pleut, elle puisse aller relever la pluie, faire les mesures et vider les réceptacles. De même quatre dispositifs à vider représentent un travail considérable. Nous conseillons donc soit qu'un étudiant, soit une personne payée par le projet (un ouvrier de l'exploitation) reste sur place et se charge de ce suivi. Généralement deux personnes qui se remplacent régulièrement donnent de meilleurs résultats.

Par ailleurs des suivis de profils d'humidité sont difficilement planifiables à l'avance puisque nous recommandons d'attendre une période sèche souvent imprévisible. De plus cette opération exige des allers-retours tous les 3-4 jours entre le dispositif et le laboratoire. Il faut donc un certain degré de flexibilité dans l'organisation du travail.

Les autres sont plutôt des opérations lourdes mais ponctuelles, facilement réalisables si de la main d'œuvre peut être mobilisée localement.

Enfin les observations décrites ici peuvent s'appliquer aux dispositifs proposés chez les agriculteurs, mais elles peuvent également s'appliquer à tout dispositif contrôlé existant par ailleurs. Elles peuvent donc être d'utilité pour l'ensemble des partenaires de recherche s'ils désirent caractériser ces effets sur des sites complémentaires déjà installés (Le Krib, Le Kef, Abou Salem).

Nous restons bien évidemment disponible par courrier électronique ([eric.scopel@cirad.fr](mailto:eric.scopel@cirad.fr)), pour tout éclaircissement ou consultation supplémentaires.

## **VI. - REMERCIEMENTS**

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les organisateurs de cette mission qui ont contribué efficacement à son excellent déroulement : le CTC, l'AFD, l'ESAK, l'INRAT et les agriculteurs pilotes (Adnen, Abdelaziz, Nasserline, agriculteurs de Goubellat).

## **ANNEXES**

**I) Termes de références pour les missions de L. Séguy et E. Scopel sur le semis direct en Tunisie**

**II) Informations sur différentes méthodes de caractérisation des effets des pratiques de gestion du sol sur le bilan hydrique et l'érosion.**

## **ANNEXE I**

### **Termes de références pour les missions de L. Séguy et E. Scopel**

#### **sur le semis direct en Tunisie**

**Propositions de termes de références pour une mission sur le projet de recherche-développement**

**Sur le semis direct avec couverture végétales en Tunisie  
Mission réalisée par M. Lucien SEGUY du 7/03 au 14/03/03**

"La mission aura pour objet un appui au programme de recherche-développement en semis direct financé par l'AFD et le FFEM, notamment :

Réflexions approfondies et recommandations sur les protocoles expérimentaux, le traitement des données et la publication de résultats.

Recommandations sur les désherbages de rattrapage sur céréales et les traitements fongiques,

Préparation des semis de printemps pour les fourrages d'été,

La mise en place et le choix des plantes de couverture pour l'implantation en dérobé sur les céréales et les semis après récoltes,

Préparation pour l'organisation du séminaire prévu pour janvier 2004.

Un effort particulier de la mission concerne le premier point c'est à dire l'aide à l'exploitation des résultats leur « comparabilité » et la définition de protocoles expérimentaux pour les prochaines campagnes :

En effet, les essais réalisés jusqu'à maintenant sont réalisés dans des conditions fort différentes : trois opérateurs (ESAK, INRAT, CTC) trois approches (essais dits « scientifiques », essais dits « agronomiques », « fermes-pilotes), trois situations (petites parcelles chez les agriculteurs, grandes parcelles des fermes-pilote, essais contrôlés du CTC), à des niveaux différents des toposéquences. Les facteurs différenciant les parcelles sont nombreux : dates et densités de semis, état du sol au semis, apports azotés, adventices, semoirs...

Il est souhaitable que, malgré ces différences, et malgré l'insuffisance de répétitions, il soit possible de comparer objectivement « semis direct » et « pratiques conventionnelles ».

En conséquence, l'appui de Lucien SEGUY concernera essentiellement les questions suivantes :

- pour la campagne en cours, tirer le meilleur parti des observations et tests encore possibles (en milieu paysan, sur les fermes pilotes et en milieu contrôlé CTC), notamment en matière d'implantation de plantes de couverture, alors que l'année s'est révélée jusqu'à maintenant très pluvieuse, et pourrait être favorable à cette implantation si elle le reste, compte tenu cependant de l'état médiocre des comparaisons possibles;

- reconsidérer, pour les trois campagnes à venir qui sont dans le calendrier du projet FFEM, les orientations en matière de protocoles expérimentaux :

1. doit-on reconduire les comparaisons chez les agriculteurs (1 ha de semis direct à côté de 1 ha de conventionnel) ? Ne serait-il pas opportun d'écartier les situations où le témoin n'est pas à côté ? Comme pas mal d'agriculteurs sont intéressés à étendre le semis direct, ne pourrait-on pas faire 2 ou 3 répétitions sur l'exploitation, à condition que les témoins existent, et que les conditions de comparaison réduisent le nombre de facteurs de différence. N'y-a-t-il pas lieu d'avoir un objectif global de comparaisons à effectuer (nombre de sites, ou nombre de comparaisons valables) sur les trois prochaines campagnes, en fonction de situations pédologiques ou climatiques ?

2. doit-on reconduire les "essais scientifiques" ESAK dont l'implantation en courbes de niveau est discutable, et y-a-t-il une possibilité d'en tirer quelque chose en considérant qu'il y aura déjà trois années de semis direct sur ces "essais". S'ils sont reconductibles, comment éviter la gestion "administrative" qui perturbe la bonne comparaison ?

3. doit-on envisager des essais en milieu contrôlé (CTC, voire INRAT), et dans ce cas pour analyser quelles questions particulières que le travail chez les agriculteurs ne permet pas d'aborder aisément ? Et dans ce cas, quels protocoles, sur quels sites, avec quelles durées, pour analyser quels facteurs ?

4. quelles observations ou expérimentations envisager pour garantir une bonne comparaison CES-semis direct sur la ferme pilote du Krib, compte tenu du parcellaire mis en place en début de campagne, avec 4 campagnes devant nous ?

5. comment aborder la problématique "parcours" et pâturage par les ovins, sachant que le CIRAD, en la personne de Melle Véronique ALARY (CIRAD-EMVT détachée à temps partiel à l'ICARDA), n'a comme proposition pour aborder ce sujet que la venue de jeunes stagiaires étrangers pour des durées déterminées, ce qui n'est pas opérationnel ?

A l'issue de la mission, Lucien Séguy, établira un rapport reprenant le contenu de ces recommandations.

**Propositions de termes de références pour une mission sur le projet de recherche-développement sur le semis direct avec couvertures végétales en Tunisie :  
*Recherche d'appui sur les bilans hydrique et bio-physico-chimiques des sols.***

La mission d'une semaine serait réalisée par Eric Scopel début mars au cours du cycle de la culture principale

1. Evaluation des problèmes liés aux bilans hydrique et minéraux.

Par une visite aux différents sites, en fonction des conditions locales (type de sol, pente) et des différents systèmes étudiés, plus une étude fréquentielle sur les données climatiques disponibles, une première évaluation qualitative, voire semi-quantitative, sera faite sur les risques agronomiques liés à la dynamique de l'eau et à la dégradation de la fertilité générale et des avantages potentiels des SCV dans ce domaine.

2. Evaluation des moyens et des partenaires potentiels

De telles études peuvent être très simples et semi-quantitatives ou plus précises et très sophistiquées en fonction des moyens scientifiques disponibles (accès à des laboratoires pour analyses, sonde à neutrons, TDR, étuves, tarières, etc...) et des ressources humaines mobilisables. Des entretiens seront effectués avec chacun des partenaires scientifiques du projet pour évaluer leur participation potentielle à ces études.

La possibilité de mobilisation d'étudiants sera particulièrement étudiée. En effet, bon nombre des suivis à effectuer demandent des passages fréquents sur la parcelle et correspondent bien à des travaux de fin de cycle d'étudiants d'agronomie ou de sciences biologiques (hydrologie, écologie).

A cet effet une conférence pourra être faite à l'ESAK et/ou à l'INRAT, pour illustrer le genre de suivi qui peuvent être fait et les résultats qu'ils peuvent donner. Une telle présentation est un moyen de diffuser les prétentions du projet et peut amener professeurs et étudiants, ainsi que leur institutions à participer plus facilement.

3. Propositions de différentes méthodes de suivi

Une panoplie de méthodes seront proposées en fonction des moyens disponibles (suivis climatiques, ruissellement, infiltration, érosion, couverture du sol, évaporation du sol, profils hydriques et stocks d'eau, évolution du paillis, profil racinaire, bilans en N et autres minéraux, etc...). Le rôle de la modélisation dans ce domaine sera aussi illustré et les possibilités dans ce domaine seront évaluées.

En fonction du partenariat, des moyens disponibles différents scénarios seront proposés pour obtenir à l'échelle de deux ans des résultats tangibles sur l'effets des SCV testés sur la valorisation de l'eau sur le cours terme et sur la gestion de la fertilité sur le plus long terme.

4. IV agenda proposée :

1<sup>er</sup> jour : visite des sites de Goubellat et El Krib

2<sup>ème</sup> jour : visite du site Mateur

3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> jours : visite des gouvernorats de Siliana et du Kef

5<sup>ème</sup> jour : visite, discussion à l'ESAK, présentation

6<sup>ème</sup> jour : visite au Centre du CTC, éventuellement avec l'INRAT

## ANNEXE II

### Informations sur différentes méthodes de caractérisation des effets des pratiques de gestion du sol sur le bilan hydrique et l'érosion

#### La densité apparente (DA) :

##### *Caractéristiques et intérêts :*

Il s'agit de mesurer le poids d'un volume de sol non remanié. La densité apparente est le rapport du poids sec de sol sur le poids du même volume d'eau. Elle donne donc une idée de la porosité d'une couche de sol. Contrairement à la densité réelle (poids d'un volume de sol après destruction des agrégats) qui est elle lié à la texture du sol, la DA rend compte de la porosité liée à l'agrégation des particules élémentaires, soit la structure. Cette structure et sa stabilité dépendent de la texture, de la matière organique du sol et de sa forme, de l'activité biologique et de la gestion humaine de ce sol.

Le travail du sol diminue généralement la DA dans la couche travaillée, créant des vides entre les éléments séparés par l'action mécanique de l'outil. Ces éléments seront d'autant plus petits que l'intervention aura été intense. Cette porosité artificielle diminue ensuite au cours du temps par l'action de l'eau et de ses mouvements dans le profil. En dessous de la couche travaillé on observe par contre fréquemment une couche plus indurée résultant de l'action des outils et du passage des machines, surtout si les opérations sont effectuées avec des outils à disques et/ou en conditions trop humides.

En SCV, on observe parfois une DA un peu plus élevée dans les horizons superficiels, mais avec une porosité plus efficace (pores verticaux dus à l'activité biologique de la macro-faune et des racines). D'où l'intérêt de coupler mesures de DA avec mesures d'infiltration (voir ci dessous). Cette DA est d'autant plus faible que les systèmes pratiqués font intervenir dans leur rotations des espèces à appareil racinaire puissant.

##### *Recommandations :*

Il convient d'effectuer ces mesures en milieu de cycle, une fois que les conditions de structure seront stabilisées sur le traitement conventionnel.

En général on prélève le sol par l'implantation d'un cylindre de volume connu. Le sol est alors passé à l'étuve (24 h à 105 dg° Celsius) et le sol est pesé. Si l'échantillon possède des cailloux supérieurs à 2mm, il faut séparer ces cailloux, les peser et évaluer leur volume en les plongeant dans un bécher gradué contenant de l'eau (la différence de volume correspond au volume des cailloux). La DA sera calculée à partir du poids et du volume de terre de l'échantillon.

Pour diminuer les effets de frottements sur les parois, il est recommandé de travailler en conditions humides. Le cylindre doit être légèrement biseauté du côté de l'enfoncement. Enfin, il est préférable d'utiliser des cylindres de diamètre suffisamment large. **On recommande de prendre au moins 8cm** (entre 8 et 10 semble un bon compromis), en aucun cas on ne doit se satisfaire de cylindres de 5 cm de diamètre comme souvent pratiqué. Dans le même ordre d'idée il est préférable que la longueur du cylindre corresponde exactement à l'épaisseur de la couche à caractériser, on évite aussi les erreurs dues à la hauteur de prélèvement. En travaillant verticalement, on évite aussi les chutes de terre sous les impacts d'enfoncement, particulièrement limitantes lorsque le sol est friable ou trop sec (le sol tombe au fur et à mesure qu'on enfonce le cylindre).

Face à ces considérations, nous recommandons de travailler sur micro-fosses (40 cm de prof x 60 cm de long x 30 de large), d'utiliser des cylindres de 10 cm de long et de prélever verticalement 0-10 cm (prof de l'effet travail du sol), 10-20 cm (effet semelle de travail du sol) et 20-30 cm lorsque la profondeur du sol le permet.

Le prélèvement de gros volumes de plus de 500 cm<sup>3</sup> est plus représentatif de la DA de la couche et évite les points particuliers que l'on peut rencontrer avec des petits volumes (l'estimation est plus stable).



**Figure 3 :** Photos d'illustration des cylindres de densité apparente

Enfin, pour faciliter l'enfoncement, il est plus efficace de confectionner un capuchon épais exactement du diamètre du cylindre en matériel rigide mais plus tendre que le métal afin de pouvoir taper dessus en son centre, de répartir ainsi la force et d'obtenir un enfoncement régulier du cylindre (voir photos). Il existe pour cela des matériaux plastiques assez résistants qui peuvent se travailler au tour mécanique comme le métal. Il est recommandé de ne pas taper trop fort afin de diminuer les forces de frottement et les déformations du matériau.

### **Taux d'infiltration en régime saturé (Ksat) :**

#### *Caractéristiques et intérêts :*

Il s'agit de mesurer la capacité du sol à absorber de l'eau par infiltration. Ce paramètre est très important car plus cette capacité est faible, plus le sol va saturer rapidement et l'eau excédentaire va se transformer en ruissellement. Au contraire, plus cette dernière est élevée, plus le sol sera capable d'absorber des pluies de forte intensité. Il s'agit bien de sa capacité potentielle puisque sa caractérisation se fait en conditions statiques (l'eau qui ruisselle, elle, se déplace avec une certaine énergie cinétique latérale). On ne pourra pas en déduire directement le ruissellement puisque ce dernier est beaucoup plus complexe et dépend de ce taux d'infiltration, de l'intensité et quantité totale de la pluie, de l'humidité du sol au départ, de la présence d'obstacle au ruissellement (rugosité naturelle, pailles, billons...), de la pente. Par contre cela reste un excellent indicateur de l'impact de la gestion des sols sur leur structure et sur leur porosité en particulier. En effet ce taux d'infiltration va dépendre de la conductivité sur l'ensemble du profil. Il dépend donc de la qualité et quantité de pores utilisables par l'eau et de la présence de couches indurées ou dégradées dans ce profil (croûte de batance, semelle de labour...).

Généralement, les bons SCV maintiennent des taux d'infiltration non limitants, sur le court terme par le réseau de racines laissé en place par les cultures commerciales et les plantes de

couvertures entrant dans les successions, par l'activité accrue de la macro-faune du sol qui bénéficie de plus de ressources alimentaires et n'est plus perturbée par les travaux mécaniques du sol, sur le long terme par une augmentation de la matière organique (MOS) qui s'accompagne d'une meilleure stabilité des agrégats du sol.

Les systèmes avec travail du sol peuvent s'accompagner par une meilleure infiltration en début de campagne. Si le travail a été effectué dans de bonnes conditions (rugosité importante de surface, sans semelle de labour) ces conditions favorables peuvent perdurer sur une bonne partie du cycle de culture surtout sur des sols argileux plus stables. Par contre si ce travail n'est pas effectué correctement (pulvérisation du sol par des outils à disques, travail en conditions trop humides) comme c'est souvent le cas en Tunisie, ce taux d'infiltration rediminue rapidement avec la dégradation de la structure et de la porosité du sol. De plus, les sols pulvérisés sont très sensibles à l'érosion en début de cycle ce qui est un autre facteur de dégradation.

### *Recommandations :*

Il convient ici aussi d'effectuer ces mesures en milieu de cycle, une fois que les conditions de structure seront stabilisées sur le traitement conventionnel.

Deux méthodes sont utilisables la méthode classique du double anneau ou la méthode dite du « Beer can ».

Pour la méthode du double anneau on utilise deux anneaux (l'un de 50 cm, l'autre de 80 cm de diamètre). Les deux anneaux sont enchassés dans le sol (3 à 5 cm) l'un dans l'autre de façon concentrique. Il faut prendre beaucoup de précautions lors de l'installation pour ne pas briser complètement les états de surface et ne pas créer de passage préférentiel d'eau le long des parois des anneaux. Pour cela il est préférable de ne pas travailler en conditions trop sèches, d'enfoncer lentement l'anneau en appuyant sur une planche posée en travers afin de répartir la pression, de biseauter le côté de l'anneau qui doit rentrer dans le sol. Afin de faciliter l'enfoncement, on peut taillader le sol à l'aide d'une machette en suivant le bord de l'anneau, **mais toujours à l'extérieur de celui-ci** pour ne pas dégrader la structure de surface à l'intérieur de l'anneau.

Les anneaux sont délicatement remplis d'eau. Il convient de ne pas verser directement l'eau sur la surface du sol, pour cela on peut verser le long d'une paroi de l'anneau ou mieux sur une poche en plastique roulée en boule à même le sol. On doit essayer de maintenir le niveau d'eau entre 10 et 20 cm pour maintenir une charge constante. Lorsque le niveau se rapproche de la limite inférieure des 10 cm on en rajoute dans un anneau comme dans l'autre. L'anneau extérieur étant là uniquement pour verticaliser les flux, on mesure uniquement la variation de la hauteur de la lame d'eau dans l'anneau central. Il convient donc aussi d'y mesurer la hauteur d'eau rajoutée à chaque réajustement du niveau d'eau. Les temps de mesures du niveau d'eau vont en s'espaçant (30 s, 1 mn, 3 mn, 5 mn, 10 mn, etc...) jusqu'à obtenir un régime stabilisé (le nombre de cm d'eau infiltrés par minute devient constant). Plus les conditions initiales d'humidité du sol seront sèches plus l'atteinte du régime stabilisé sera longue. Ce taux d'infiltration en régime stabilisé nous donne la conductivité en régime saturé (sol à la capacité au champ). C'est le  $K_{sat}$ , paramètre utilisé dans de nombreux modèles de bilan hydrique.

Avantage de la méthode : elle donne directement les  $K_{sat}$

Inconvénients de la méthode : elle consomme énormément d'eau et complique les manipulations dans des champs non directement accessibles en véhicule.

Pour la méthode du « Beer can » (ou canette de bière), on simplifie la méthode en n'utilisant qu'un simple anneau, en général plus petit que les précédents (de 15 à 25 cm de diamètre). L'anneau est enchassé dans le sol de la même manière et avec les mêmes précautions que précédemment. Cette fois-ci on mesure le temps de percolation d'une quantité connue d'eau (en général 1 à 2 litres en fonction du diamètre de l'anneau). On rajoute la quantité suivante dès que la précédente a percolé (il vaut mieux être à deux, un qui verse, l'autre qui chronomètre). Il faut prendre les mêmes précautions concernant le versement de l'eau que précédemment. Cette fois encore on arrête lorsque le régime stabilisé est atteint (même temps pour l'infiltration du volume connu).



**Figure 4 :** Photos illustrant la méthode du « Beer can », 1) installation du cylindre, 2) protection du sol pour le versement de l'eau, 3) mesure d'infiltration, 4) fin de mesure.

Avantages de la méthode : elle consomme beaucoup moins d'eau, elle est plus rapide

Inconvénients de la méthode : elle ne donne pas directement le  $K_{sat}$  car il y a des phénomènes de percolation latérale sous l'anneau (déplacement de l'humidité par gradient latéral, formation d'un bulbe).

Par contre cette méthode permet d'évaluer les  $K_{sat}$  si on procède de la façon suivante. Lors d'un premier essai on observe à la tarière la profondeur du bulbe de sol humidifié en dessous du cylindre, profondeur que l'on notera ici de  $P_{fin}$ . Par la suite, à chaque point d'observation, à l'issue des mesures d'infiltration, on estime l'humidité initiale par prélèvement d'un échantillon composite de trois points répartis autour du point d'infiltration pour les horizons 0-10, 10-20, 20-30 cm, etc... jusqu'à la profondeur  $P_{fin}$  correspondant au front d'humectation en fin d'opération observé initialement. De même, sous l'emplacement du cylindre et après extraction de ce dernier, on prélève des cylindres de densité apparente de 0-10, 10-20 et 20-30 cm. Ces prélèvements de DA serviront aussi à mesurer l'humidité finale de ces horizons. On complète par un prélèvement à la tarière pour mesurer l'humidité finale des horizons sous-

jacents jusqu'à Pfin. L'ensemble de ces données (profil d'humidité initiale, profil d'humidité finale, profil de DA et vitesse d'infiltration en régime stabilisé) permettent de recalculer le Ksat à partir de la formule de Averkamp :

Un feuille Excell déjà préformatée pour calculer directement ce Ksat peut être fournie au projet.

Avantage de la méthode complète : elle permet de faire à la fois les mesures de DA et les infiltrations. Les mesures de DA se font dans d'excellentes conditions d'humidité.

Inconvénients de la méthode complète : un peu plus longue et minutieuse par point, plus d'échantillons de sols à rapporter au labo, mais on peut prévoir la campagne de mesure sur plusieurs jours puisqu'à chaque point on redéfinie les conditions initiales d'humidité.

## **Le ruissellement :**

### *Caractéristiques et intérêts :*

Il s'agit de quantifier l'eau excédentaire lors d'événements pluvieux qui échappe à la parcelle par écoulement superficiel. Comme nous l'avons mentionné le ruissellement est un phénomène complexe qui dépend du taux d'infiltration en conditions saturées, de l'intensité et quantité totale de la pluie, de l'humidité du sol au départ, de la présence d'obstacle au ruissellement (rugosité naturelle, pailles, billons...), de la pente. Le ruissellement est un phénomène dynamique qui évolue tout au long d'une toposéquence : généralement le flux augmente et les eaux se concentrent, formant parfois même des canaux. La difficulté technique réside à estimer à un endroit donné de la parcelle la part de l'eau de pluie qui va ruisseler et, pour cela, il faut isoler ce ruissellement généré du flux de ruissellement amont. C'est pour cela que généralement on procède par des parcelles d'isolement dans lesquelles on élimine le flux amont par des barrières physiques. Par ailleurs, le ruissellement est la résultante d'un phénomène dynamique dans le sens de la pente : l'eau excédentaire sous l'effet d'une énergie cinétique latérale (vitesse d'impact des gouttes, effets « splash », gravité avec la pente) se déplace en surface et sa vitesse se stabilise au bout d'une certaine distance. Il convient donc de prendre des parcelles dans le sens de la pente, plus allongées que larges et dont la longueur permette une stabilisation de la vitesse de ruissellement.

Le ruissellement est un des termes du bilan hydrique difficile à évaluer directement. Toutefois il est très important en milieu semi-aride car il constitue une des plus fortes pertes potentielles avec l'évaporation directe du sol. Toute technique limitant le ruissellement signifie une meilleure valorisation du faible potentiel pluviométrique.

Généralement le travail du sol, de par la forte porosité qu'il crée au départ facilite l'infiltration. De même, s'il est réalisé en bonnes conditions et laisse une forte rugosité de surface (bon équilibre entre mottes et terre fine) il ralentit les déplacements latéraux. Il peut donc, particulièrement en début de cycle, limiter le ruissellement. Toutefois, en milieu tropical avec des pluies agressives, cet effet est éphémère : sans protection, les états de surface se dégradent rapidement, la rugosité disparaît et le sol se ferme (voir infiltration). Cette dégradation est d'autant plus rapide que le sol aura été pulvérisé par les outils au départ.

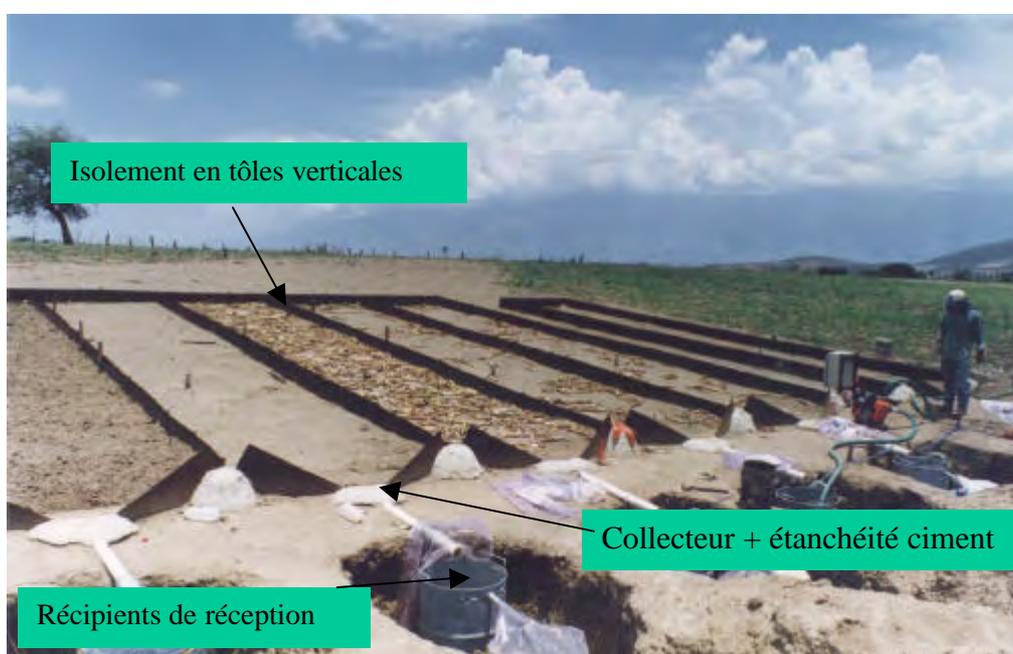
Les SCV généralement agissent à la fois sur l'infiltration (particulièrement sur le moyen terme, voir infiltration) et sur le déplacement latéral : les résidus diminuent l'effet « splash » et l'énergie cinétique de départ des gouttes d'eau, ils s'opposent de plus au déplacement latéral en formant des barrières physiques agissant comme des micro-barrages.

### *Recommandations :*

Il s'agit d'installer des micro-parcelles isolées physiquement, dans le sens de la pente, et permettant de recueillir les eaux de ruissellement généré sur cette parcelle. Il faut trouver un équilibre entre la taille de la parcelle qui garantira une bonne représentativité du phénomène dynamique (stabilisation de la vitesse d'écoulement) et les quantités d'eau de ruissellement à stocker qui en résulte ( $1\text{mm}/\text{m}^2$  de ruissellement donne 1 litre d'eau).

Classiquement les parcelles de ruissellement utilisées sont toujours de grande taille (Parcelles de Wichmeyer de  $20\text{ m} \times 4\text{ m} = 80\text{m}^2$ ) mais imposent des structures très lourdes pour pouvoir recueillir l'eau ruisselée.

Dans le contexte tunisien que nous avons pu observé, il est toutefois possible de diminuer considérablement la taille de ces parcelles. En effet, nous nous situons sur des dispositifs entre cordons qui imposent à ces parcelles de contenir dans la partie centrale de la banquette. De plus, la pluviométrie est de type méditerranéenne, soit intense, et les parcelles souvent sur des fortes pentes, ces deux facteurs contribuant à une rapide stabilisation de la vitesse d'écoulement. Nous proposons donc d'installer des parcelles de  $5\text{ m} \times 2\text{ m} = 10\text{ m}^2$



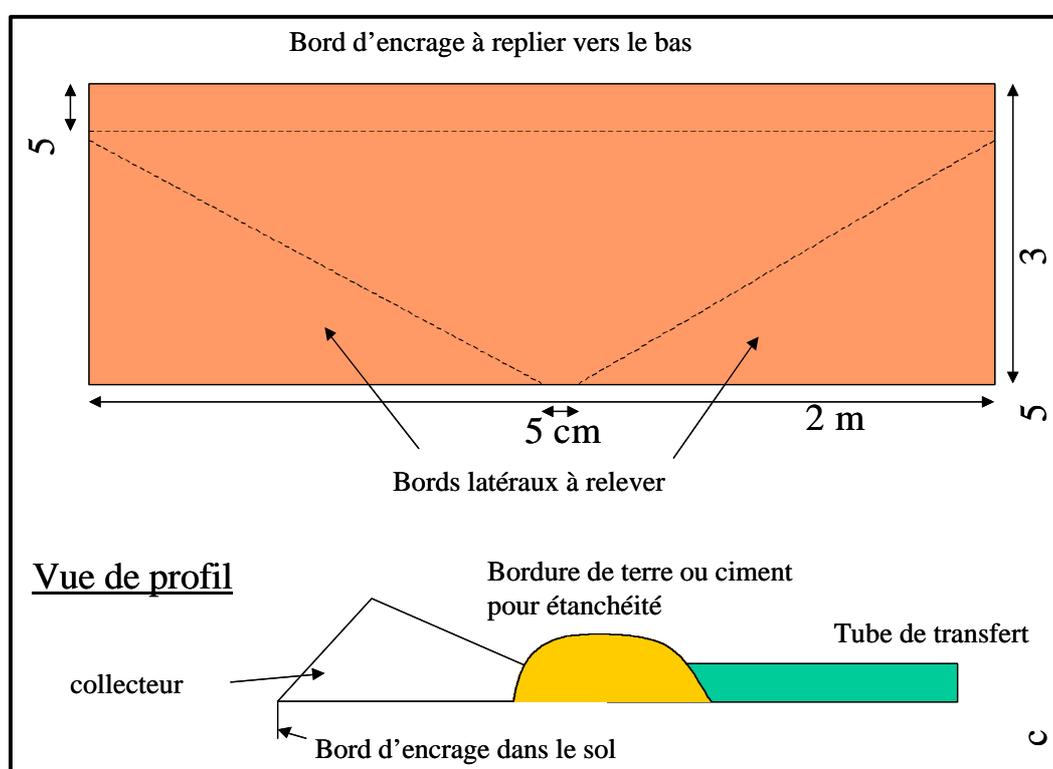
**Figure 5 :** Photo d'illustration de lots de ruissellement de très simple confection avec isolement en tôles verticales, collecteur en tôle pliée et bidons de 200 litres en réceptacle.

L'isolement physique de la parcelle peut être réalisé grâce à des plaques de métal de 30 cm de largeur enchâssées dans le sol de 10 cm environ. Il est préférable que ces plaques aient une épaisseur suffisante pour leur donner une certaine rigidité qui facilite l'alignement et la mise en place. Pour cela, on entaillera légèrement le sol à l'aide d'une lame assez résistante (type machette), puis les lames seront enfoncées dans cette entaille jusqu'à la profondeur voulue en martelant légèrement sur elles avec un marteau en caoutchouc ou en interposant un bout de bois. Il est recommandé de ne pas trop perturber le sol à l'endroit de la mise en place pour éviter les écoulements préférentiels le long des plaques. De toute façon il est préférable de bien retasser artificiellement le sol le long des plaques, en fin d'opération, pour le ramener au plus près des conditions du reste de la parcelle. Il est assez efficace d'utiliser des lames de 2 m de long en les faisant se chevaucher légèrement l'une par rapport à l'autre avec un chevauchement extérieur, on peut utiliser ainsi 3 lames pour la longueur et une pour la largeur

amont. A la jonction de deux lames, on peut planter deux fins piquets (par exemple des fers à béton de 8 mm) de 40 cm de long, de chaque côté des lames et les attachés entre-eux pour assurer la cohésion de l'ensemble. Attention à bien colmater les interstices aux coins supérieurs pour éviter les entrées d'eau venant de l'amont.

La partie la plus complexe est le collecteur aval qui doit être enchassé dans le sol pour éviter que l'eau ne passe dessous. Il doit avoir environ 30 cm de large dans sa partie centrale et être conique afin de concentrer les eaux en son centre, où un tube les amènera jusqu'au récipient de stockage. Un exemple de collecteur est donné en illustration à partir d'une simple plaque rectangulaire. Le récipient de stockage peut être confectionné à partir de bidons de 200 litres (généralement utilisés pour des produits pétroliers ou chimiques divers). Cette capacité donne une autonomie pour des ruissellements de 20 mm, ce qui ne se produit que rarement. Toutefois, un récipient de 300 litres donnerait plus de sécurité.

Dans le cas des dispositifs en cordon, nous recommandons que la parcelle soit placée au centre dans la partie la plus représentative juste après le semis. Le récipient de stockage pourrait être placé au niveau du cordon pour que la fosse ne gêne pas le passage dans les parcelles. Un tube enterré reliera la parcelle au récipient (diamètre > 5cm et < 10cm). Attention de ne pas placer cette fosse dans un endroit de concentration des eaux le long du cordon, sinon celle-ci sera inondée à chaque événement. Il est préférable que la fosse soit assez grande pour éviter les contaminations du contenu du bidon par des eaux d'inondation. De même, il est préférable de faire une bordure de terre assez haute (> 20cm) tout autour de la fosse pour éviter les rentrées d'eaux de ruissellement. Les récipients devront être couverts pour éviter les entrées directe par l'eau de pluie, cela peut être de simple bâches de plastique attachées autour du bidon par une ficelle.



**Figure 6 :** Illustration d'un collecteur très simple à partir de tôle pliée.

A chaque événement on mesurera la hauteur d'eau recueillie dans le récipient à l'aide d'une règle graduée. Il est important de bien mesurer au centre pour compenser les éventuels problèmes de nivellement du bidon.

Après les mesures les récipients seront vidés et nettoyés en vue de l'événement suivant. On peut procéder à la vidange avec un seau ou on peut installer un robinet de vidange à la base du récipient ce qui facilite grandement l'opération.

Pour le confort d'opération il est utile de paver le fond de la fosse de réception avec des pierres ou du gravier afin d'éviter de patauger dans la boue lors des mesures.

Avantage de la méthode : un tel dispositif peut facilement être retiré en fin de cycle et être réinstallé au cycle suivant. Il est donc suffisamment flexible pour ne pas gêner la gestion technique des cultures dans un dispositif chez un producteur.

Inconvénients de la méthode : elle est contraignante car il faut être présent après chaque événement, sans possibilité de planification. Le nettoyage des bidons est fastidieux mais nécessaire et on ne dispose pas d'autres méthodes.

### **L'érosion laminaire :**

#### *Caractéristiques et intérêts :*

L'érosion laminaire est la couche de terre moyenne qui part de la parcelle sous l'effet du ruissellement essentiellement. Elle dépend de la texture du sol et est bien sûr du ruissellement de sa quantité et de son intensité (tous les facteurs jouant sur le ruissellement ont donc un impact sur l'érosion). Elle est aussi aggravée par certains aspects de gestion, particulièrement ceux qui vont jouer sur la stabilité des agrégats et sur leur cohésion entre-eux. Elle se quantifie par la quantité de terre qui part à chaque événement et par extrapolation, par année. Nous n'insisterons pas sur l'importance de ce processus sur la dégradation potentielle de la fertilité du sol par perte de la partie du profil la plus riche en matière organique.

Généralement, le travail du sol, outre ses conséquences sur le ruissellement rend le sol plus sensible aux processus d'érosion, par le fait que ce dernier reste nu et sans aucune protection jusqu'à la croissance de la culture, et par la pulvérisation de ce dernier et une plus faible cohésion entre ses particules élémentaires. A l'inverse, les SCV diminuent le ruissellement, protègent le sol et diminuent l'effet « splash », évitent toute perturbation physique qui déstructure le sol.

#### *Recommandations :*

Pour estimer cette érosion laminaire simplement on peut procéder par deux méthodes : les lots de ruissellement et la méthode dites « des clous et rondelles ».

Pour la méthode des lots de ruissellements on peut installer des lots de ruissellement (voir précédemment) et quantifier les pertes solides entraînées par les eaux de ruissellement à chaque événement. Pour cela on peut procéder de deux manières. Pour une estimation grossière, après la mesure du volume de ruissellement, on peut enlever délicatement le surnageant et mesurer la hauteur de sédiments au fond du récipient de réception. Si on connaît la densité réelle du matériau d'origine, on pourra estimer le poids de terre à partir du volume de sédiments. Mais attention généralement on sous-estime ainsi les sédiments fins (particulièrement les argiles) qui restent très liés à la phase liquide ruisselée. Pour une estimation plus fine, après la mesure du volume de ruissellement, on homogénéise l'ensemble en mélangeant énergiquement liquides plus solides. On prélève un litre approximativement de

cette solution. Attention, il est recommandé de procéder très rapidement, en plongeant bien au centre du récipient et d'utiliser un récipient à grosse ouverture (petit seau ou bocal large), ceci afin de prélever avant que les particules grossières de sable ne se redéposent très rapidement. L'échantillon est ensuite rapporté au laboratoire où il est filtré. On mesure le volume exact d'eau de cet échantillon (burette graduée) et on passe les sédiments filtrés à l'étuve pour les peser en sec. On rétablit la quantité totale de sédiments érodés lors de l'événement par règle de trois.

Avantage de la méthode des lots : c'est une méthode relativement fiable si on procède avec précaution. Le filtrage peut se faire au fur et à mesure du temps disponible au laboratoire.

Inconvénients de la méthode des lots : les échantillons ont tendance à s'accumuler lors de la saison des pluies avec beaucoup de travail de terrain. Prévoir de nombreux récipients de 1 litre pour le stockage des échantillons et bien marquer chacun d'entre-eux pour ne pas les mélanger par la suite.

Pour la méthode « des clous et rondelles », on place dans chaque traitement des clous munis de rondelles, enfoncés dans le sol jusqu'à ce que la tête du clou ainsi que la rondelle dans laquelle il passe, affleurent à la surface du sol (éviter les tassements à l'enfoncement, bien entendu). Ces clous sont placés en début de campagne et doivent être repérés. Il faut éviter les griffes d'érosion (pour vraiment estimer l'érosion laminaire) et les endroits de passage d'animaux, de personnes ou d'engins qui pourraient enfoncer par accident les clous. En fin de campagne, on mesure la hauteur entre la tête du clou et la rondelle qui a dû suivre la surface du sol. Plus le sol a été érodé et plus la rondelle est descendue. Parfois, la rondelle protégeant le sol de l'impact des gouttes de pluies, elle atténue le processus réel d'érosion à cet endroit précis et se retrouve « suspendue », le sol étant érodé tout autour d'elle. Il convient alors de mesurer la hauteur entre la tête du clou et la base du sol érodé. Pour repasser du volume érodé à son poids, il convient de passer par la densité apparente. Or cette densité apparente peut varier durant le temps de l'estimation. C'est le cas avec le travail du sol qui crée souvent une porosité artificielle entre les éléments grossiers, porosité qui tend à disparaître au cours du cycle des pluies. On peut donc savoir ce qui dans la différence de hauteur est dû au retassement naturel du sol, de ce qui est dû à l'érosion laminaire. Pour cela il est préférable de faire une estimation de densité apparente de l'horizon 0-10 cm en début de campagne et une autre en fin de campagne.

Avantages de la méthode « des clous et rondelles » : très simple et rapide à réaliser, demande un peu de travail en début et en fin de campagne.

Inconvénients de la méthode « des clous et rondelles » : Impossible s'il y a des opérations mécaniques en cours de cycle (contrôle mécanique des adventices ou buttage). Très grande variabilité car très localisée or les caractéristiques des sols et du microrelief sont très variables, cela dépend également de la position par rapport aux plantes, au sillon. Il faut donc effectuer beaucoup de répétitions et l'évaluation, même si elle est toujours intéressante, reste souvent un peu approximative.

### **L'érosion en griffe :**

#### *Caractéristiques et intérêts :*

L'érosion en griffe est l'érosion provoquée par les chenaux de ruissellement concentrés. En effet le ruissellement en nappe tend à se concentrer au long de la pente dans les zones plus basses et à former des canaux qui creusent plus fortement le sol. Cette érosion est additionnelle à l'érosion laminaire. C'est elle qui peut être catastrophique lors d'événements particulièrement violents. Elle est responsable de la dégradation très forte des sols par

extraction souvent de toute la couche arable, la plus riche en matière organique et au delà. Lors du colmatage mécanique des griffes, cette même couche arable est perturbée sur une large surface de par la reprise profonde, aux outils, qu'il est nécessaire de faire (ratissage vers les dépressions). La matière organique restante se retrouve diluée en surface et en profondeur. Il existe le même phénomène d'ailleurs lors de la formation des cordons anti-érosifs. Cette érosion peut parfois être si importante que les griffes empêchent le passage des engins provoquant une diminution de la surface utile de la parcelle.

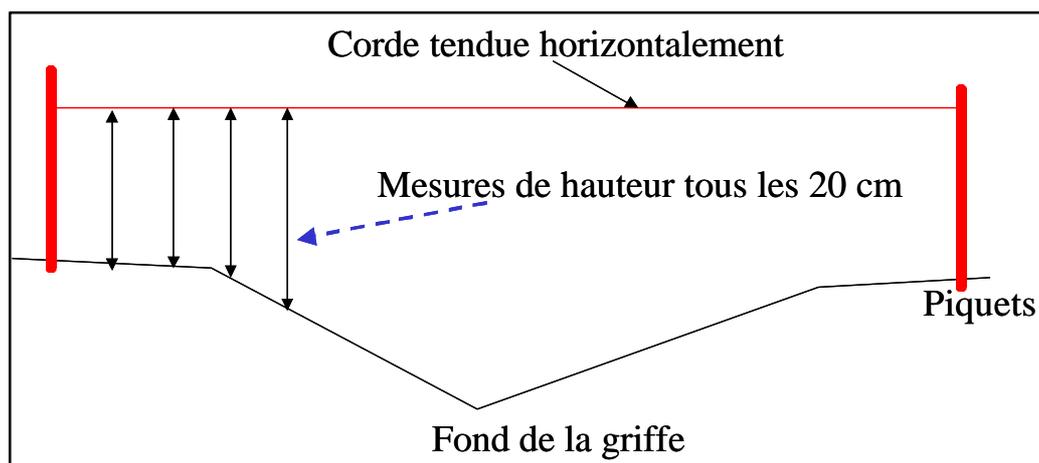
Le travail du sol peut favoriser l'érosion en griffe pour les mêmes raisons que celles évoquées pour l'érosion laminaire. Très souvent cette dernière se transforme en érosion en griffe pour peu que la structure du sol soit grossière, la pluie violente et la pente et sa longueur importantes.

Les SCV, eux, permettent de diminuer cette érosion par la stabilisation de la surface du sol et sa cohésion : même s'il existe des chenaux d'écoulement de l'eau excédentaire, ils se transforment rarement en griffes et leur fond est souvent complètement stabilisé (surtout si on utilise des espèces rampantes à stolons, cf recommandations Lucien Séguy)

### *Recommandations :*

Les effets des traitements de gestion du sol sur l'érosion en griffes peuvent être abordés par l'élaboration, en début et en fin de cycles de profils de quelques chenaux présents dès le départ.

Lorsqu'elles existent, on choisit une à deux griffes par traitement. On établit un profil en haut, en milieu et en bas de pente. Pour établir chacun de ces profils, on place deux piquets de part et d'autre de la griffe en prenant un largeur supérieure à celle de la griffe actuelle (ne pas oublier que la griffe peut s'élargir en cours de cycle). On tend une corde horizontale (bien vérifier l'horizontalité) entre ces deux piquets. **Attention** si la longueur est trop longue, il vaut mieux mettre une barre transversale rigide pour éviter la courbure inévitable due à la pesanteur d'une corde, même légère. Puis, régulièrement (tous les 20 cm), on mesure la hauteur entre la corde et la surface du sol. Par différence de volume entre les profils initiaux et les profils finaux, on obtient le volume de sol érodé. Par utilisation de la densité apparente on peut estimer la quantité de terre évacuée. **Attention**, comme pour la méthode « des clous et rondelles », il convient d'évaluer la densité apparente en début et en fin de cycle pour tenir compte des éventuels tassements du sol. Egalement, il est bien sûr important de replacer les piquets exactement aux mêmes endroits entre le début et la fin du cycle afin que la comparaison soit valide. Enfin, même si les piquets avaient été placés bien à l'extérieur de la griffe, le niveau du sol peut quand même varier à leur emplacement (érosion laminaire, tassement du sol), le niveau de référence de la hauteur de la corde doit donc être corrigé. La meilleure solution, lorsque c'est possible, est de laisser les piquets en place sur l'ensemble du cycle, de marquer la hauteur de la corde et la hauteur du sol en début de cycle, de replacer la corde exactement à la même hauteur en fin de cycle, et de tenir compte d'un éventuel changement du niveau de référence du sol dans les calculs. Sinon, il faut très bien marquer leur localisation pour pouvoir les replacer aux mêmes endroits en fin de cycle, estimer les pertes par érosion laminaire (dispositifs annexes), corriger le tassement du sol (différence de densité apparente), puis replacer la corde à la bonne hauteur de la surface du sol en tenant compte de ces deux éléments.



**Figure 7 :** illustration de l'établissement d'un profil de griffe d'érosion

### **Le suivi hydrique du sol :**

*Caractéristiques et intérêts :*

**Le suivi de l'humidité du sol devrait permettre d'apporter quelques éclaircissements sur les effets des traitements via le bilan hydrique. Toutefois l'expérience montre que l'interprétation des ces données n'est pas toujours aisée :**

- Il y a une grande variabilité spatiale des caractéristiques du sol. Ceci oblige à multiplier les répétitions si on veut caractériser correctement la quantité d'eau stockée à un moment donné dans un traitement. La texture peut varier et donc de la réserve utile également = une même humidité ne signifie pas forcément une même quantité d'eau disponible. De même, si l'observation n'est pas faite exactement au même endroit, on confond une variabilité spatiale (entre deux localisations de profil) et une variabilité temporelle (entre deux dates d'observation).
- Il faut caractériser l'humidité, au moins jusqu'à la profondeur d'activité des racines : en aucun cas des suivis superficiels d'humidité permettent de conclure sur l'effet d'un traitement sur la culture via le bilan hydrique, car les plantes peuvent compenser une sécheresse superficielle en utilisant de l'eau plus profonde.
- Cette évolution est dynamique et dépend des plantes qui poussent : un traitement qui favorise le stockage de l'eau peut amener à un meilleur développement initial des plantes, par la suite si survient une période sèche, ces plus grandes plantes consommeront plus d'eau (LAI plus important). Au bout d'un certain temps l'humidité résiduelle peut même devenir moins importante dans ce traitement, sans qu'on puisse en conclure qu'il est moins efficace par rapport au bilan hydrique. Il convient donc d'étudier cette humidité dans le temps en relation avec l'état des plantes qui poussent afin d'analyser le rapport offre-demande qui est celui qui va régir l'effet hydrique sur la culture.
- Il est important de séparer les périodes humides (fortes pluies) où l'on jugera de la capacité d'un traitement à stocker de l'eau dans le sol, des périodes sèches où l'on jugera de la consommation d'eau et donc des impacts sur la culture. Si on prend un pas de temps trop long, souvent on recouvre à la fois des périodes humides et des périodes sèches et l'interprétation est malaisée.

- Même dans les périodes sèches, la différence de stocks entre deux dates ne représente pas vraiment la consommation du couvert, mais la somme entre transpiration et évaporation directe du sol. Entre un traitement non paillé et un traitement paillé, on peut avoir une même variation de stocks, mais dans le premier cas la part d'évaporation directe peut être plus forte et l'eau directement consommée par les plantes plus faible, ce qui est, bien sûr, moins favorable.

Généralement, les SCV favorisent le stockage de l'eau par leur effet sur le ruissellement et sur l'infiltration. Ils diminuent les pertes par évaporation de par le rôle d'écran que joue le paillis. Quand survient une période sèche, ils permettent d'avoir plus d'eau à la disposition des plantes qui pourront consommer plus et plus longtemps avant de faire intervenir leur régulation stomatique : l'effet stress est moindre.

#### *Recommandations :*

Comme il semble impossible d'avoir accès dans ce projet à des équipements sophistiqués de suivi hydrique permettant le suivi *in situ* et fixe de l'humidité (sonde à neutron, TDR, sondes capacitives), nous nous restreindrons à donner des recommandations concernant la méthode gravimétrique du suivi des profils hydriques.

**Pour toutes les raisons invoquées précédemment, il est généralement peu rentable de faire un suivi systématique et sur un pas de temps trop long. Comme cette méthode est lourde, nous recommandons donc de concentrer ces suivis lorsque survient une période sèche (8 jours sans pluie) et d'intensifier le pas de temps (tous les 3-4 jours) lors de cette période. On peut continuer s'il survient quelques petites pluies, et il est bon de poursuivre jusqu'à de fortes pluies pour suivre une phase de stockage.**

On effectuera au moins trois répétitions de profils par traitement jusqu'à plus de 1,2 m si la profondeur de sol n'est pas physiquement limitée. A chaque date le profil sera effectué dans la même zone (plus de 20 mais moins de 40 cm entre profils) que le précédent. On prélèvera à la tarière un échantillon du sol, sur 0-10, 10-20 cm et tous les 20 cm si le profil n'est pas limité et tous les 10 cm si le profil est peu profond. Cet échantillon sera placé dans une boîte hermétique. **Attention**, on doit fermer cette boîte avec une bande adhésive et la placer dans une glacière s'il y a plus de quelques heures jusqu'au labo. S'il y a plus d'une journée, il faut pouvoir peser sur place la boîte plus le sol humide. Les boîtes sont ensuite passées à l'étuve durant 24 h à 105 °C avant de repeser le sol sec. On peut repasser aux humidités volumiques si l'on dispose du profil de densité apparente.

**Dégâts causés par l'érosion en année à pluviométrie excédentaire :  
une catastrophe aux conséquences durables**







