

*PROTOCOLE STANDARD POUR LES PARCELLES DE MESURE
DE L'ÉROSION EN NAPPE ET RIGOLE*

*en accord avec le modèle empirique
de prévision des pertes en terre*

(Usle de Wischmeier)

Par Eric ROOSE

Directeur de Recherche

ORSTOM BP 5045 Montpellier 34032 France

Mai 1988

AVANT PROPOS

Suite à notre mission à Purdue (USA) auprès de M. Wischmeier en 1968, nous avons envoyé à divers collaborateurs de l'ORSTOM et du CIRAD en Afrique un protocole standard à appliquer dans tous les essais de mesure de l'érodibilité des sols en Afrique et à Madagascar. Ce protocole tient compte à la fois des exigences du modèle USLE et des conditions africaines.

Devant la recrudescence des mesures d'érosion en parcelles, nous pensons utile de remettre à jour ce protocole pour que les jeunes équipes de chercheurs évitent les pièges inhérent à l'utilisation de méthodes expérimentales mal définies.

Seuls les résultats acquis selon un protocole bien standardisé avec des dispositifs bien définis, pourront être valablement comparés en particulier avec le modèle de prévision de perte en terre USLE mis au point aux USA (Wischmeier et Smidt 1958-1976) et étendu progressivement à l'ensemble du monde en vue de définir moins empiriquement les pratiques culturales et les aménagements antiérosifs à mettre en oeuvre pour réduire l'érosion à une valeur tolérable.

Dans cette note, nous décrirons donc soigneusement le matériel utilisé et le protocole des manipulations à faire pour obtenir des valeurs correctes de pluie, ruissellement, charge en suspension fine, transport de matériaux grossiers et érosion totale en nappe et rigole. Il n'est peut être pas totalement inutile de rappeler que la méthode des parcelles d'érosion n'est pas adaptée pour évaluer les risques d'érosion en ravine, en masse, ni à fortiori l'érosion éolienne. L'efficacité de certaines méthodes de lutte antiérosive qui piègent le ruissellement jusqu'à un seuil de rupture, doit être testée à l'échelle du versant ou du micro-bassin.

Rappelons enfin que la méthode des parcelles d'érosion fournit des valeurs relatives d'érosion et de ruissellement, des valeurs comparatives entre différents traitements, mais ne donne pas la valeur absolue de l'érosion en un point du versant puisqu'on isole la parcelle de son environnement naturel (en particulier des apports d'eau et de sédiments venant de l'amont).

1. LE MATERIEL

1.1. La parcelle expérimentale

. Située sur une pente homogène (ni concave, ni convexe), représentative du sol étudié. Prévoir un planage chaque année pour éviter la formation d'une concavité au centre de la parcelle ;

- . surface de 100 à 200 m² selon l'hétérogénéité de la surface du sol ;
- . longueur de 20 à 25 mètres : optimum 22,2 m ;
- . largeur de 4 à 8 mètres : selon l'hétérogénéité du terrain ;
- . bordure en matériau rigide (tôle, planche, plastique) haute de 10 cm au-dessus du sol et enfoncée d'au moins 10 cm dans le sol ;
- . Protection contre le ruissellement venant de l'amont par un fossé et un gros billon de diversion ;
- . Durée des essais : 5 à 10 ans pour tenir compte des erreurs de mise en place des équipes et du matériel (1 an), de l'évolution du sol et du couvert végétal ainsi que de la variabilité des pluies.

1.2. Les systèmes de mesure

. Pluviographe (1 ou mieux, 2) à mouvement journalier au centre du groupe de parcelles, bague fixée à 150 cm du sol, associé à quatre pluviomètres à lecture directe pour évaluer la variabilité spatiale des pluies en fonction des vents et des saisons.

. Canal de réception (en béton coulé sur place), piège à sédiments lourds (cuve en béton de 0,25 m³) et cuves de stockage couverts par des tôles.

. Des piquets repères tout au long de la parcelle pour suivre globalement l'évolution du niveau du sol au cours des années.

. Des cuves de stockage de dimensions suffisantes pour prendre en compte le ruissellement et l'érosion lors des averses ou des séries rapprochées d'averses de fréquence rare (au moins décennale).

Par exemple :

	Pluie 1/10	Ruiss maxi.	Surface	cuve
Abidjan	250 mm	0,8	100 m ²	20 m ³
Ouagadougou	100 mm	0,8	100 m ²	8 m ³

Il y a quatre méthodes pour estimer le ruissellement et l'érosion à cette échelle : chacune a ses avantages et ses inconvénients :

a) soit on construit une grande cuve-citerne en béton.

Avantage : on mesure tous les ruissellements avec la même précision : la lecture de hauteur à 5 mm près = 40 à 200 litres soit LR = 0,4 à 2 mm.

Inconvénient : cher à la construction, risques de fissures sur terrains instables, lent à la vidange, difficile d'estimer la charge solide.

b) Soit on construit deux cuves en fer galvanisé (2 mm d'épaisseur) de 0,5 à 2 m³ avec partiteurs

Avantage : on mesure bien KR et E pour les averse petites et moyennes.

Inconvénient : pour les plus fortes averse la précision dépend de celle des partiteurs (soit 10 à 50 %) qu'il faut impérativement tarer sur le terrain.

- Si on ne dispose que de très peu de moyens, on peut mettre en série des fûts de 220 litres (récupérés dans les garages) et les relier par des partiteurs simplifiés (11 à 21 tuyaux de 2 cm de diamètres et de 2 cm de long, soudés à un niveau précis et dont on sélectionne sur le terrain les plus fiables).

- On peut rajouter ultérieurement un limnigraphe et un seuil pour évaluer les débits de pointe si on envisage des applications plus hydrauliques que agronomiques.

c) Soit on construit une grande cuve (2 à 4 m³) avec un seuil triangulaire taré et un limnigraphe.

Avantage : on peut mesurer l'intensité du ruissellement au cours de l'averse et la comparer avec celle de la pluie pour évaluer les débits de pointe.

Inconvénients : . prix du limnigraphe, imprécisions sur les charges solides.

. Nécessité d'être présent pendant l'averse pour prélever les échantillons de charge solide (très exigeant) à moins d'installer un préleveur automatique.

d) Soit on construit après le piège à sédiment un canal avec un seuil taré et un limnigraphe (H-flume) ainsi qu'un échantillonneur automatique (ex. Roue de Coshocton).

Assez mal adapté aux faibles débits et aux forts transports solides. Mieux adapté à l'échelle du champs ou du micro-bassin.

Pour des recherches classiques, le meilleur rapport qualité/prix nous semble encore la succession piège à sédiment, cuves avec partiteurs tarés sur le terrain.

2. LES TRAITEMENTS EXPERIMENTAUX

2.1. Estimation de l'érodibilité du sol (K) sur la parcelle nue standard.

Le sol est un matériau \pm cohérent qui résiste à l'énergie érosive des pluies et du ruissellement en rigole. Pour évaluer cette "Erodibilité du sol" en fonction de ses propriétés physiques et chimiques intrinsèques, Wischmeier a défini une parcelle standard comparable en n'importe quel lieu du globe, dont nous avons adapté le protocole aux conditions africaines les plus courantes.

- . Sol complètement nu, dépouillé de tous débris végétaux ou animaux et sans engrais depuis 3 ans.

- . Labour à la houe sur 15 cm, au moins une fois l'an, avant chaque saison des pluies à l'époque des labours. Réduire les mottes à moins de 7 cm de diamètre.

- . Planage soigné après chaque labour pour éviter la formation d'une concavité au centre de la parcelle.

- . Binages à la houe sur 5 cm de profondeur, (au maximum, une fois par mois pluvieux), en vue de casser la croûte superficielle : pas de travail du sol en période sèche pour éviter l'érosion éolienne.

- . Désherbage total aux herbicides (ex Atrazine) dès l'apparition des premières adventices ou lorsque le couvert végétal atteint 5 % de la surface. Estimation du couvert végétal par la méthode du pointage tous les 5 cm le long d'une diagonale.

- . Etendre le traitement sur 1 mètre autour de la parcelle pour limiter les effets de bordure.

2.2. Estimation de l'efficacité du couvert végétal, des techniques culturales (c) et de certaines méthodes antiérosives (P).

Par simple comparaison annuelle ou mensuelle avec les pertes en eau et en terre observées sur la parcelle nue de référence, on peut évaluer l'efficacité antiérosive de divers couverts végétaux, de techniques culturales et de certaines structures antiérosives (par exemple les haies vives, les microbarrages perméables, etc...). Cependant l'efficacité des méthodes antiérosives telles que les billons isohypses, les fossés, les diguettes et les banquettes de diversion, les gradins méditerranéens et diverses terrasses qui piègent le ruissellement jusqu'à un seuil de rupture, doit être testée à l'échelle du versant et du microbassin de 0,5 à 5 hectares, sans quoi on ne mesure que l'érosion à partir de la dernière structure : on ne tient aucun compte de l'augmentation des risques de ravinement ou de glissement de terrain.

3. LE PROTOCOLE DE MESURE

Les mesures doivent être réalisées, le plus tôt possible après chaque averse. Empiriquement, on considère que deux averses sont séparées s'il pleut moins d'un millimètre en 6 heures dans l'intervalle.

3.1. Les pluies

. Lire la hauteur d'eau aux pluviomètres (attention de ne pas perdre d'eau pendant la mesure et de vérifier les éprouvettes "tarées" par pesées).

. Sur le pluviogramme, noter l'heure d'observation, la cause d'incident éventuel, le volume d'eau recueilli dans le seau sous les godets basculants. Eviter les systèmes à siphon.

. Bien nettoyer l'entonnoir des mouches et matières diverses qui risquent de boucher le goulot.

3.2. Le volume ruisselé

Sur les cuves de stockage : lire sur l'échelle peinte dans chaque cuve la hauteur d'eau (à 5 mm près) et la traduire en volume d'eau stockée (en litres). En cas de partiteur, multiplier le volume de la cuve aval par le nombre de fentes, ou mieux, par le coefficient de correction mesuré sur le terrain lors du tarage. Soustraire du volume total, les eaux de pluie tombées sur la surface non couverte du canal de réception et ces cuves ainsi que le volume de terre érodée (si érosion > 1 kg/100 m²). On obtient la lame ruisselée : LR en mm = Volume Ruiss (litre) : surface parcelle (en m²). Le coefficient de ruissellement KR % =

$$\frac{\text{Lame Ruiss (mm)}}{\text{Pluie (mm)}}$$

Sur déversoir : le volume ruisselé est calculé à partir des limniogrammes, plus le volume d'eau stocké dans le piège à sédiment, moins le volume de terre et éventuellement moins la pluie tombée dans le canal de réception, le piège à sédiment et le seuil, s'ils ne sont pas couverts.

3.3. Les terres érodés en suspension fine.

Sur les cuves de stockages : agiter soigneusement à l'aide d'un seau puis vidanger les cuves (seau, siphon, pompe, vanne de fond), en prélevant 500 cm³ dans le volume vidangé chaque fois que le niveau a baissé de 5 cm dans la cuve (ou tous les 'n' seaux). Mélanger ces échantillons dans un jerrican propre de 10 litres transparent. En tirer 1 ou 3 échantillons moyens de 1 litre sur le terrain (pour réduire le transport) ou ramener 10 litres au laboratoire. Au laboratoire flocculer les échantillons à l'aide d'un cm³ de HCl (dangereux) ou de sulfate d'alumine (solution à 50 grammes/litre) pour 1 litre de suspension. Tapoter prudemment pour que les flocculats collés aux parois tombent au fond, attendre que l'eau soit claire (1 à 3 jours) ; siphonner le surnageant avec précautions (tuyau de transfusion sanguine avec petit siphon de cuivre), verser le culot dans un bécher (250 à 1 000 cm³), attendre 24 heures, siphonner le surnageant et sécher le culot à 105°C jusqu'à poids constant dans une étuve ventilée.

Notez qu'il faut éviter de prélever des suspensions dans la cuve contenant les "terres de fond" (piège à sédiments lourds), car en remuant, on mélangerait les particules en suspension vraie avec les sables fins et les agrégats circulant par saltation et prêts à sédimenter au moindre changement de pente, de végétation ou du ruissellement. On peut estimer la charge fine du piège à sédiment à partir de la première cuve de stockage.

Sur déversoir : les suspensions sont calculées, à partir d'un échantillonnage continu au cours de la crue (Roue de Coshocton ou préleveur à fente) ou des échantillons prélevés toutes les trois minutes au début de la crue (valeurs fortes et variant rapidement) puis toutes les 6 à 10 minutes (stabilisation) = opération très astreignante sur le terrain pendant l'averse.

3.4. Les sédiments lourds transportés en saltation = (terres de fond).

Ramassage des terres sédimentées dans le canal de réception et dans le piège à sédiments lourds (ou dans la première cuve en son absence). Une fois la cuve vidangée jusqu'à la zone boueuse (mélange noirâtre d'eau et de terre) récolter le tout dans des récipients aisément portables et tarés (seaux de 10 litres). Peser humide. Prendre dans chaque récipient un échantillon représentatif au moyen d'une sonde fubulaire fermable à l'extrémité supérieure. Renverser le tout et vider rapidement le contenu de la sonde dans un sac en plastique (vérifier son étanchéité). Ramener au laboratoire un échantillon d'environ 2 kg par cuve. Au laboratoire, bien homogénéiser à l'intérieur du sac puis constituer un échantillon de 100 à 200 grammes à partir d'une dizaine de prises déposées dans une boîte tarée (ou un bécher de 250 cm³). Peser humide à 0,01 gr. près. Sécher jusqu'à poids constant (2-3 jours) dans une étuve ventilée. Peser à sec et à froid (10 minutes dans un dessiccateur).

Une autre solution consiste à déposer toutes les terres de fond à l'ombre dans un récipient de 50 litres, dont on a assuré un bon drainage. Au bout de 1 à 2 jours ce mélange aura atteint une capacité de rétention en eau caractéristique pour chaque sol (ex. 75 à 80 % de sol sec pour les boues recueillies sur un sol ferrallitique très sableux de Côte d'Ivoire). Réaliser quelques tarages complets, après quoi il sera possible de ne mesurer que le poids humide après ressuyage pour avoir une idée suffisamment précise ($\pm 3\%$) des poids de terre de fond érodée. C'est la meilleure solution quand il y a beaucoup d'érosion.

4. DISCUSSION SOMMAIRE

4.1. But de l'expérimentation

Sur un bloc de 4 à 5 parcelles, il devrait être possible de tester l'érodibilité d'un sol nu, l'érosivité du climat, les risques d'érosion sous cultures traditionnelles les plus répandues et l'efficacité de deux ou trois améliorations possibles en fonction des intrants disponibles (par ex. gestion des résidus de culture, travail du sol, agroforesterie, etc...)

Mais en plus des pluies, de la lame ruisselée et du poids de terre érodée, on peut préciser le bilan hydrique (suivi du stock d'eau du sol à différentes périodes clés), les pertes chimiques (très lourde si on mesure tout, mais on peut cumuler les échantillons), l'évolution des propriétés physiques et chimiques du sol en place, ainsi que l'influence de l'érosion sur la productivité du sol.

4.2. La parcelle.

Les dimensions des parcelles aux USA semblent souvent plus petites (en particulier largeur de 1-3 mètres) que celles qui ont été établies en Afrique : peut-être faut-il tenir compte d'une hétérogénéité plus grande sur les sols récemment défrichés d'Afrique. Si les travaux culturaux, se font dans le sens de la pente on peut effectivement réduire la largeur des parcelles à 2-3 rangs de culture par soucis d'économie de moyens.

Par convention, on définit la longueur de la parcelle comme la projection sur un plan horizontal de la longueur réellement mesurable sur le terrain en pente. Wischmeier préconise l'utilisation d'une longueur de pente constante quelque soit le % de pente ; il élimine donc l'aspect géomorphologique liant les pentes fortes aux versants courts par opposition aux pentes longues mais peu inclinées, par l'usage d'un abaque unique "coefficient topographique SL en fonction de la longueur et de % de pente". Il nous conseille d'étudier des pentes représentatives de chaque type de sol. Il insiste par contre sur le soin à apporter dans le choix de pentes homogènes c'est-à-dire ni concave ni convexe mais les plus rectilinéaires possible.

Nous attirons l'attention sur la nécessité de tarer sur le terrain les déversoirs, cuves et partiteurs, même si on possède des courbes théoriques, et d'acquiescer une estimation des marges d'erreur auxquelles on peut s'attendre en raison de la présence des sédiments et des matières organiques présents dans le ruissellement. Le recouvrement du canal et des cuves par un toit n'apporte qu'un faible gain de précision sur le ruissellement annuel, mais il est essentiel pour préciser les hauteurs et intensités limites de pluie provoquant le ruissellement, le début et la fin du ruissellement, le temps de concentration.

On veillera à maintenir propre le réceptacle (bague 400 cm² en zone tropicale) du pluviographe, à mesurer l'eau dans le seau (+ exact que l'enregistrement) et à élargir à 5 mm le diamètre de l'âme du tuyau d'évacuation du réceptacle, sans quoi on mesure les caractéristiques d'écoulement de ce goulot d'étranglement et non les intensités instantanées maximales des averses.

Nous préférierions placer les bagues des pluviographes plus près de la surface du sol (standard américain \approx 120 cm) car la turbulence de l'air réduit le pouvoir du capteur. En tous cas, il faut se tenir à distance convenable de la végétation arborée (à 10 fois la hauteur des arbres ou autres obstacles).

Nous conseillons vivement de suivre les états de surface tous les 15 jours, après les grosses averses ou au moins tous les mois. La méthode la plus simple consiste à suivre le stock hydrique du sol et à pointer tous les 5 cm la surface du sol sur 5 transversales (ou les 2 diagonales) et de noter le % de points couverts par la culture, les résidus de culture et litières, les adventices, les croûtes de battance ou de sédimentation, les cailloux, différentes classes de mottes (<1 cm, <3 cm, <6 cm, <10 cm, >10 cm) la rugosité et le mode de fissuration ou les traces de mésofaune (trous et rejets), voiles de sable.

4.3. Le traitement.

Il diffère légèrement du protocole américain pour mieux standardiser les opérations, mais nous avons cherché à nous en écarter le moins possible. Wischmeier cherche sur ses parcelles de référence non pas l'érosion maximale mais l'érosion sous conditions voisines des cultures (mais sans végétation) ; d'où un protocole visant à travailler le sol comme pour la culture principale (le maïs). Le binage est réalisé 2 fois à 1 mois d'intervalle après le labour aux USA : nous préconisons un binage chaque mois humide, pour tenir compte d'une agressivité pluviale plus élevée en région tropicale que dans la plaine américaine. En absence de travail du sol, il se forme une croûte cohérente qui peut réduire les pertes en terre de 25 %. Par contre, ratisser le sol après chaque pluie aboutit à des aberrations : on observe moins de perte en terre sur sol nu travaillé après chaque pluie que sous culture (sarclées deux fois en général en Afrique) car on a augmenté considérablement l'infiltration.

Rappelons encore qu'il n'est pas raisonnable de tester sur ces petites parcelles l'efficacité du billonnage en courbe de niveau, et encore moins les fossés, banquettes et terrasses diverses : il faut les tester sur des versants plus larges (0,5 à 5 ha).

4.4. Les mesures.

Si on veut avoir des résultats comparables, il faut standardiser également les méthodes de mesure de façon à avoir des marges d'erreur semblables. D'où l'importance du tarage sur le terrain de tous les instruments de travail et l'importance de l'échantillonnage.

La plus grande attention doit être portée à l'échantillonnage des suspensions (grand facteur multiplicatif) et à l'humidité des terres de fond (très difficile).

Le principe de l'échantillonnage à deux niveaux permet d'obtenir sur le terrain un gros échantillon représentatif et de travailler au laboratoire sur de petits volumes avec un minimum d'erreur.

Il nous semble intéressant de séparer les fractions "terre de fond - ou sédiments transportés à courte distance" - et suspension - ou sédiments plus stables susceptibles de rejoindre la rivière et quitter la chaîne topographique : le % de ces fractions dans l'érosion totale est typique de certains sols.

Nous proposons aussi de "rentabiliser" les expériences en cours en effectuant le maximum de mesures possible sur le même essai : non seulement mesurer l'érosion totale et le coefficient de ruissellement, mais aussi, dans la mesure des possibilités, estimer les débits de pointe, le coefficient de ruissellement maximum instantané, le temps de réponse, la pluie d'imbibition, l'infiltration, l'intensité limite des pluies avant le début du ruissellement, la vitesse des lames d'eau en fonction de l'intensité du ruissellement et de la rugosité du sol, l'évolution du couvert végétal, le rapport suspension/érosion totale, les pertes en éléments fertilisants, C ; N ; bases et $P_2 O_5$, une approche au moins grossière du bilan hydrique.

La détermination des suspensions par floculation d'un litre (méthode américaine) est plus exacte mais un peu plus longue (encombrement du laboratoire par les bouteilles au repos durant 48 heures) et plus délicate (siphonnage) que la méthode par évaporation de 100 cm^3 d'où on tire non seulement le poids des suspensions mais aussi des minéraux en solution.

La floculation par le sulfate d'alumine (1 cm^3 d'une solution à 5 % par litre de suspension) est plus complète que par l'acide chlorhydrique (1 cm^3 HCl fumant par litre de suspension) qui dissout une partie des particules. On préférera donc le sulfate d'alumine qui est d'ailleurs moins dangereux à manipuler.

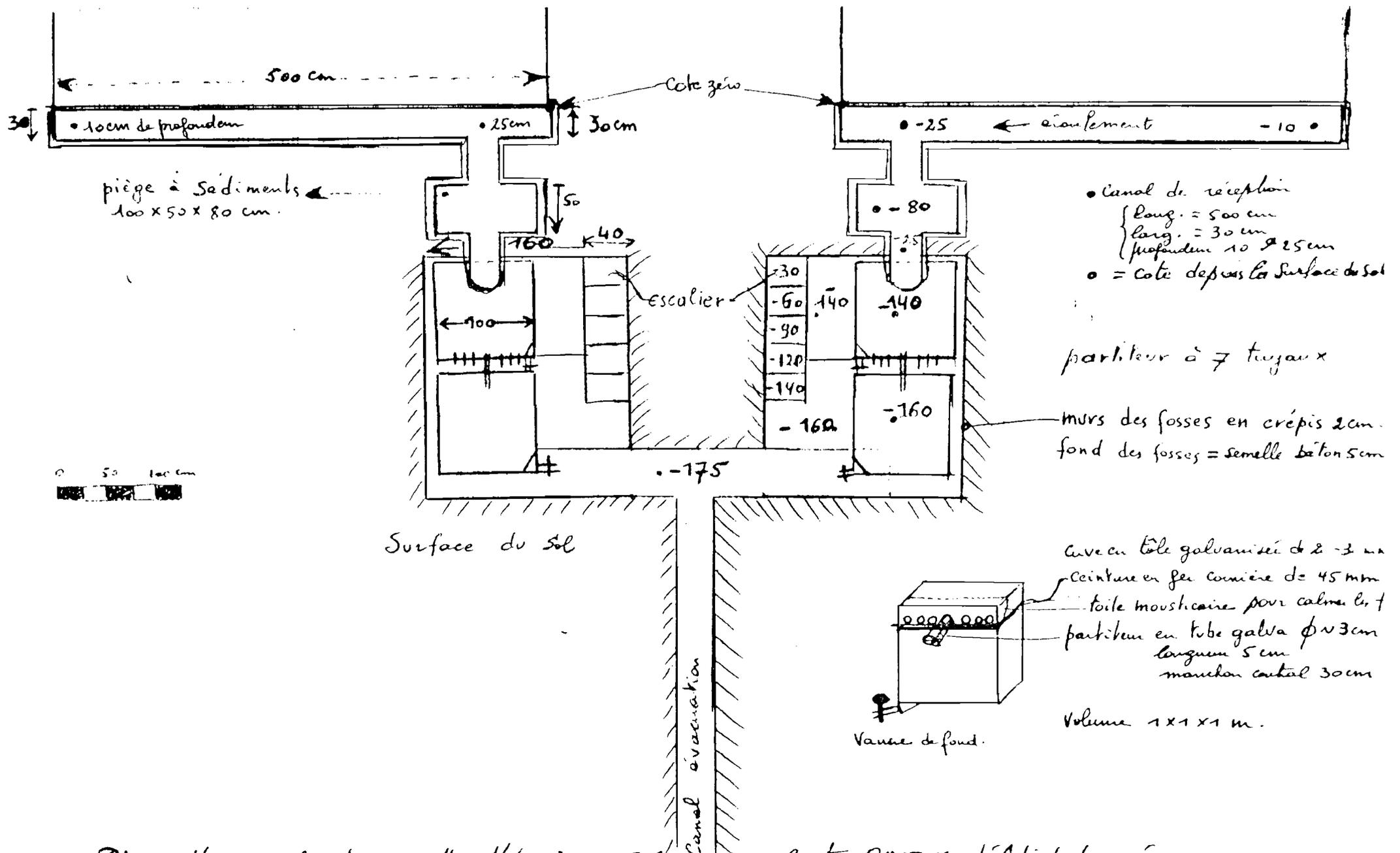
L'échantillonnage de l'humidité des "terres de fond" (sédiments grossiers : sables, agrégats et matières organiques floculées) reste délicat. La méthode proposée à l'avantage d'être réalisable par tous. Le stockage des boues de fond durant 48 heures dans de grands récipients a peut-être permis de mieux préciser les phases liquide-solide, mais ces récipients sont trop convoités par la population et, leur usage peut entraîner la confusion là où les parcelles sont nombreuses et où les pluies tombent chaque jour, sinon plusieurs fois par jour.

Or, nous désirons tendre vers l'étude détaillée d'épisodes pluvieux unitaires plutôt que vers une étude globale.

EN CONCLUSION

Les études en parcelles d'érosion ont déjà été très poussées dans certaines régions et il serait souhaitable de passer à une échelle d'espace plus grande (0,5 à 5 ha). Au-delà il devient difficile d'interpréter les résultats à cause d'une grande hétérogénéité du milieu.

Là où les études sur l'érosion débutent, la méthode des parcelles d'érosion, combinée avec les bilans hydriques, chimiques et économiques peuvent éclairer bien des problèmes de conservation des sols et constitue une bonne démonstration pour la formation et la vulgarisation.



Plan d'un couple de parcelles d'érosion réalisées au Centre ORSTOM d'Adiopodoume
 L'ensemble a été recouvert d'un toit de tôles. (Roose, 1970)