

DÉLÉGATION GÉNÉRALE A LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

PARIS

OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Centre d'Adiopodoumé

"LUTTE CONTRE L'ARIDITÉ EN MILIEU TROPICAL"

Compte-rendu de deux missions de reconnaissance préliminaire effectuées en Haute-Volta et au Niger - Programmes de mise en oeuvre de différentes techniques de simulation de pluies en Haute-Volta et au Niger.

Jean COLLINET

Jean ASSELINE

Pédologues

Adiopodoumé, mars 1979

"LUTTE CONTRE L'ARIDITÉ EN MILIEU TROPICAL"

Compte-rendu de deux missions de reconnaissance préliminaire effectuées en Haute-Volta et au Niger - Programmes de mise en oeuvre de différentes techniques de simulation de pluies en Haute-Volta et au Niger.

Références :

- Thèmes : "Recherches sur les moyens spécifiques de réduction des effets de l'aridité"
- Action : "Utilisation optimale des ressources en eau"
- Action : "Atténuation des risques (érosion, dégradation du milieu naturel).

Jean COLLINET
Jean ASSELINE

Pédologues

Adiopodoumé, mars 1979

S O M M A I R E

- PREMIERE PARTIE : MOTIVATIONS, TECHNIQUES UTILISÉES, RÉSULTATS ATTENDUS.
 - DEUXIEME PARTIE : COMPTE-RENDU DE MISSION PRÉLIMINAIRE ET PROJET DE PROGRAMME DE SIMULATIONS DE PLUIES SUR DES SOLS REPRÉSENTATIFS DE LA PÉRIPHÉRIE DE LA MARE D'OURSIS (HAUTE-VOLTA).
 - TROISIEME PARTIE : COMPTE-RENDU DE MISSION PRÉLIMINAIRE ET PROJET DE PROGRAMME DE SIMULATION DE PLUIES AU NIGER.
- BIBLIOGRAPHIE
 - DEVIS ESTIMATIF

Préambule

Dans le cadre du thème de référence, il est proposé une "Etude du ruissellement, de l'infiltration et de l'érosion sous pluies simulées de quelques sols et couverts végétaux représentatifs des zones sahéliennes et sub-désertiques".

L'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer dispose actuellement dans ce domaine d'une bonne expérience acquise depuis quelques années par l'utilisation d'un simulateur de pluies et d'un infiltromètre à aspersion, tant en Côte d'Ivoire qu'en Haute-Volta. Une équipe de pédologues et d'hydrologues de l'office seraient en mesure de mener à bien cette étude.

Ce rapport consigne les observations de terrain, les résultats des contacts pris avec les autorités scientifiques des pays d'accueil, les propositions d'actions de recherches à l'issue de missions de reconnaissance en Haute-Volta et au Niger.

Dans une première partie sont exposées : les motivations scientifiques de ce projet couvrant les zones sahéliennes et sub-désertiques et par conséquent communes au deux pays, les techniques expérimentales qui seront mises en oeuvre ainsi que quelques résultats escomptés en regard des expériences acquises au cours de précédentes campagnes de mesures. Comme les protocoles expérimentaux doivent être établis en fonction d'objectifs plus précis demandés par les responsables scientifiques des pays d'accueil, nous développerons ensuite séparément dans une deuxième et une troisième partie les justifications, cadres d'étude, choix des sites, propositions de protocole propres à chaque pays.

PREMIERE PARTIE :

MOTIVATIONS, TECHNIQUES UTILISÉES, RÉSULTATS ATTENDUS.

1.1. Motivations scientifiques générales.

Des zones tropicales humides jusqu'aux zones désertiques, l'agressivité des pluies est à l'origine de pertes en terres souvent considérables exportant simultanément support végétal et éléments fertilisants naturels ou ajoutés. Cette agressivité, qui est plus une conséquence des intensités que des hauteurs de précipitation, se traduit par le développement d'une énergie cinétique dissipée au niveau du couvert végétal ou de la surface du sol. Elle modifie, dans le deuxième cas, la structure, donc la porosité, des horizons pédologiques superficiels. Il se constitue plus ou moins rapidement un matériau stable dans des limites de contraintes données s'opposant à l'infiltration, d'où des ruissellements excessifs. Il s'agit des croûtes, pellicules de battance, formées directement par les averses, ou encore de dépôts interstratifiés dûs aux colluvionnements ou à des décantations résultant plutôt du ruissellement.

Le ruissellement entraîne une érosion en nappe où les pertes sont autant dues à la désagrégation des structures (effet splash) qu'à l'abrasion du courant de ruissellement.

L'exagération de ce processus et la hiérarchisation du ruissellement dues aux hétérogénéités du sol, du micromodèle, du couvert végétal, provoque l'apparition d'une érosion plus linéaire (cisaillement, ravinement) point de départ de pertes en terre encore plus considérables uniquement limitées par la compétence et la capacité des eaux d'écoulement.

Les seules données morphologiques et analytiques (cartographie des sols et tests de laboratoire) très utiles au niveau d'un inventaire des ressources en sols sont souvent insuffisantes pour préciser leur hydrodynamique et leur érodibilité.

Détecter par exemple une capacité au champ de 400 mm est une information insuffisante si les macroporosités susceptibles de stocker cette eau ne débouchent pas à la surface. Dans les sciences du sol la tendance actuelle consiste à combiner les caractérisations statiques et dynamiques ; d'autre part l'on a une bien meilleure chance d'accéder à la connaissance des paramètres conditionnant la circulation de l'eau et l'érodibilité en utilisant la simulation de pluies. Les cartes de sols, suffisamment précises, issues de travaux de prédécesseurs (3, 4, 5, 8, 9, 17)* existent déjà en Haute-Volta et au Niger, notre équipe se propose de valoriser une partie de leurs données statiques à l'occasion de deux campagnes d'environ deux mois et demi chacune.

1.2. Les dispositifs expérimentaux.

Il existe deux types d'appareil dont les circonstances d'utilisation sont fonction de la nature des problèmes à traiter et de l'ampleur des moyens qu'il est raisonnable de mettre en oeuvre pour obtenir une information exploitable :

- le simulateur de pluies (1ère campagne en 1975),
- l'infiltromètre à aspersion (1ère campagne en 1977).

1.2.1. Le simulateur de pluies (cf. figure n° 2 et planche photographique)

xx Conception de l'appareil.

Il comporte un châssis de remorque sur lequel un moteur électrique entraîne la rotation d'une colonne verticale creuse supportant à sa partie supérieure 10 bras horizontaux de 8 m de longueur et disposés en étoile. Ces bras sont percés au total de trente ouvertures dans lesquelles s'ajustent des gicleurs spéciaux, orientables dont l'ouverture est commandée par des vannes. Lorsque le moteur est en marche, la colonne et les bras tournent à la vitesse constante de quatre tours par minute.

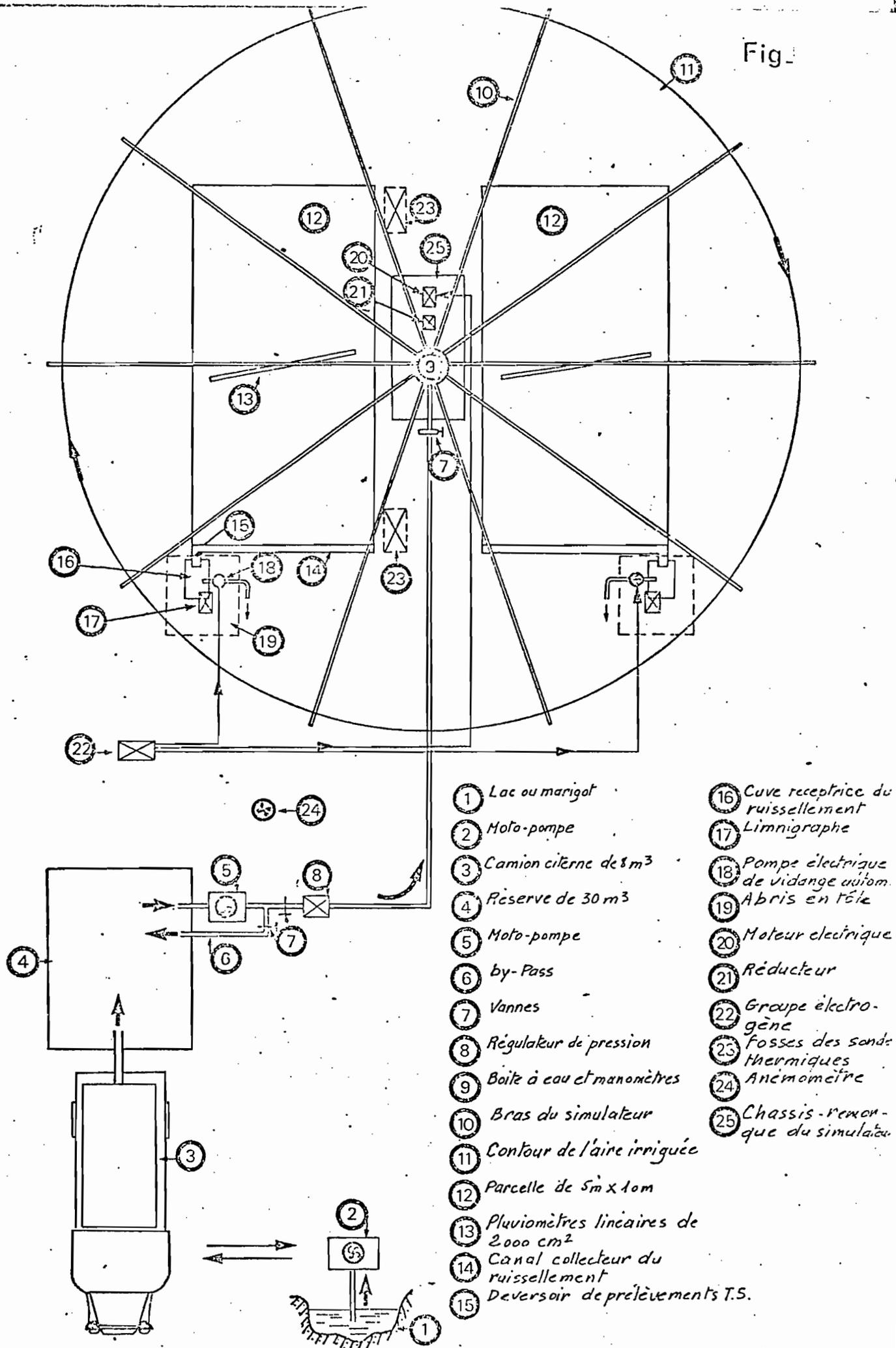
Pour effectuer un arrosage, on met en route une motopompe qui puise dans une réserve de 30 m³ et envoie de l'eau sous pression dans la colonne verticale. En réglant cette pression à l'aide d'une vanne régulatrice et en agissant sur l'orientation et l'ouverture des gicleurs il est possible d'obtenir des intensités d'arrosage constantes de 30, 60, 90, 120 mm/h. La pluie simulée ainsi réalisée est spatialement homogène au niveau du sol et présente par ailleurs une énergie cinétique et un diamètre moyen de gouttes voisin de ceux que l'on rencontre dans les pluies naturelles pour la gamme d'intensité précédente.

L'approvisionnement en eau est assuré par un camion citerne de 8 m³ qui effectue une navette entre la réserve déjà mentionnée et le point d'eau le plus proche, ce qui nécessite l'utilisation d'une deuxième motopompe et d'une certaine longueur de tuyaux démontables. L'alimentation électrique (moteur du simulateur, électropompes, recharge des batteries etc...) est assurée par un groupe électrogène de 5 KVA.

xx Les parcelles

Le simulateur arrose une couronne circulaire d'environ 200 m² à l'intérieur de laquelle on isole deux parcelles rectangulaires de 50 m² (10 x 5). L'ensemble de ces parcelles constitue un bloc rectangulaire (10 x 13 m) qu'il faut positionner correctement sur le terrain par un nivellement précis d'une zone d'environ 400 m² choisie en fonction de sa représentativité (sol, végétation, pente). Les parcelles sont ensuite balisées puis délimitées par des bordures de tôle de 20 cm de hauteur enfoncées dans le sol sur 10 cm. A l'aval, on pratique une tranchée où se loge le canal de ruissellement drainant les eaux vers les dispositifs de mesures.

* (-) : Références bibliographiques.

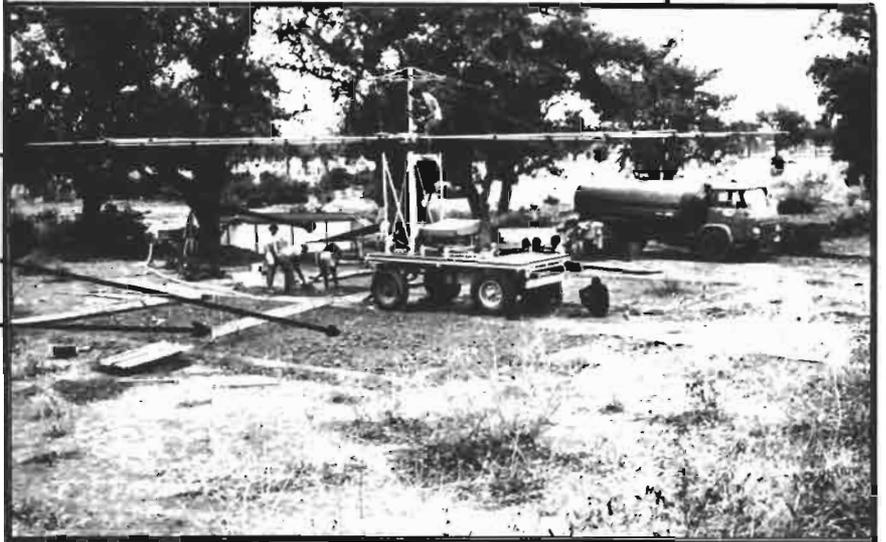


- ① Lac ou marigot
- ② Moto-pompe
- ③ Camion citerne de 8 m³
- ④ Réserve de 30 m³
- ⑤ Moto-pompe
- ⑥ by-Pass
- ⑦ Vannes
- ⑧ Régulateur de pression
- ⑨ Boîte à cou et manomètres
- ⑩ Bras du simulateur
- ⑪ Contour de l'aire irriguée
- ⑫ Parcelle de 5m x 10m
- ⑬ Pluviomètres linéaires de 2000 cm²
- ⑭ Canal collecteur du ruissellement
- ⑮ Deversoir de prélèvements T.S.
- ⑯ Cuve receptrice du ruissellement
- ⑰ Limnigraphe
- ⑱ Pompe électrique de vidange autom.
- ⑲ Abris en tôle
- ⑳ Moteur électrique
- ㉑ Réducteur
- ㉒ Groupe électrogène
- ㉓ Fosses des sables thermiques
- ㉔ Anémomètre
- ㉕ Chassis-remorque du simulateur

SCHEMA DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL

SIMULATEUR DE PLUIE ET ANNEXES

- Réserve de 30 m³ d'eau et motopompe
- Parcelle expérimentale de 50 m²
- Fluviomètre linéaire



LABORATOIRE
DE BROUSSE :
PRE - TRAITEMENT
DES ECHANTILLONS
D'EAU DE RUISSELLEMENT .

DISPOSITIF DE RECUPERATION DES EAUX DE RUISSELLEMENT

- Goulotte du canal de ruissellement
- Electropompe et interrupteur à flotteur
- Manigraphe



xx Les dispositifs de mesures

La hauteur totale des averses et leur intensité sont contrôlées par des pluviomètres linéaires et un pluviographe enregistreur. Le ruissellement est connu sur chaque parcelle par les volumes écoulés cumulés enregistrés dans une cuve calibrée au moyen d'un limnigraphe. La capacité de la cuve (environ 200 l) correspond à 4 mm de lame ruisselée, elle est généralement inférieure au volume ruisselé d'une averse c'est pourquoi la cuve est automatiquement vidée par une électropompe avant le débordement. Le limnigraphe enregistre donc une courbe en dents de scie correspondant aux remplissages et aux vidanges successifs.

La prise d'échantillons, pour mesure de turbidité et transports en solutions, est réalisée dans des récipients calibrés par prélèvement direct au niveau du déversoir du canal. Etant donné que l'on se place en amont de la cuve réceptrice, la méthode permet l'enregistrement du prélèvement sur le diagramme limnigraphique et fournit ainsi un contrôle du temps.

xx Les protocoles expérimentaux

xxx Traitements subis par les parcelles

Le plus souvent une des deux parcelles de chaque couple est sélectionnée selon un critère de représentativité optimale, le sol y demeure tel qu'il se présente à l'état naturel ; l'autre parcelle (n° 2) reçoit toujours le même type de préparation : labour selon les normes de WISCHMEIER (34, 35) qui fait office de traitement de référence pour toutes les catégories de sols. C'est sur ce couple ainsi préparé que portent les essais principaux, toutefois, à l'issue de cette première série d'essais, il est possible de réaménager les deux parcelles pour pouvoir tester l'efficacité de différents traitements culturels susceptibles de favoriser l'infiltration ou de diminuer l'érodibilité. Ces traitements sont évidemment calqués sur les pratiques régionales.

xxx Caractéristiques des séquences pluvieuses

Pour une parcelle donnée, les principaux facteurs susceptibles d'intervenir sur les caractéristiques du ruissellement et de l'érosion sont : l'état d'humectation initial du sol, la hauteur des averses et leurs intensités. En conséquence, un programme d'essais entièrement satisfaisant devrait comprendre un nombre d'averses suffisant pour permettre l'étude du rôle de chacun de ces facteurs indépendamment des deux autres. Il conviendrait, par exemple, de définir quelques états initiaux d'humectation, dont un très sec, et l'autre voisin de la saturation puis d'appliquer pour chacun d'eux la gamme des quatre intensités dont on dispose en faisant varier les hauteurs d'averses. En pratique ceci nous amènerait à un nombre d'averses non réaliste et des durées d'immobilisation du matériel incompatible avec le caractère d'étude extensive que doit présenter chaque campagne. C'est la raison pour laquelle, nous avons recours à des déplacements fréquents de l'appareil monté, de parcelle en parcelle pour pouvoir disposer, par exemple, de la gamme de temps de ressuyage la plus étendue possible. Lorsque cela est possible, nous multiplions le nombre de couple de parcelles sur le même site expérimental c'est à dire sur le même type de sol de couvert végétal etc..., pour pouvoir dégager plus aisément les influences de différentes intensités d'averses. Dans d'autres cas enfin, lorsqu'il est impossible de déplacer fréquemment l'appareil, nous protégeons alternativement l'une et l'autre des parcelles pour multiplier le nombre de données.

Un exemple de protocole expérimental est présenté dans la deuxième partie concernant les prévisions d'essais sur la périphérie de la mare d'Oursi.

1.2.2. L'infiltromètre à aspersion (cf. figure n° 3 et planche photographique)

De conception et de construction plus récentes celui-ci se compose d'un bâti démontable en forme de pyramide tronquée supportant un mécanisme qui fait décrire un mouvement de balancier à un gicleur. Ce gicleur arrose, suivant l'intensité, une surface variant de 3,5 à 14 m² ; l'originalité de cet appareil, par rapport au grand simulateur, réside dans la possibilité de faire varier l'intensité en cours d'averse par réglages successifs de l'angle de balancement du gicleur. La gamme des intensités s'étend actuellement de 30 à 140 mm/h.

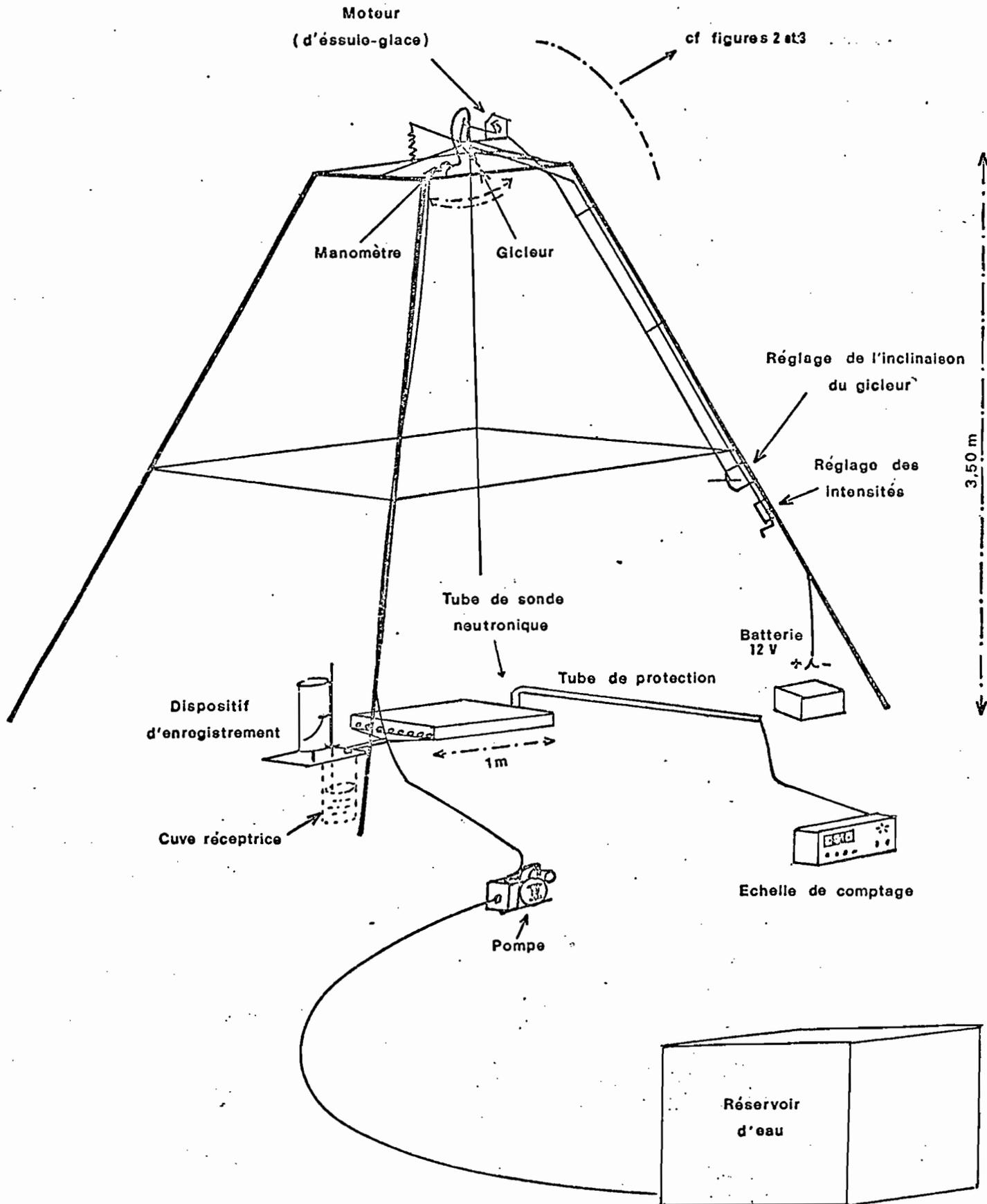
Un dispositif permet de maintenir l'axe d'oscillation du gicleur au dessus du centre de la parcelle d'expérimentation. Cette parcelle de 1 m² est limitée par un cadre rigide enfoncé de 8 cm dans le sol, en aval une gouttière collecte les eaux de ruissellement vers un limnigraphe à mouvement rapide. Les intensités pré-réglables de l'averse sont vérifiées avec précision grâce à un bac pluviométrique de 1 m² relié au limnigraphe et dont on recouvre la parcelle avant et après chaque essai.

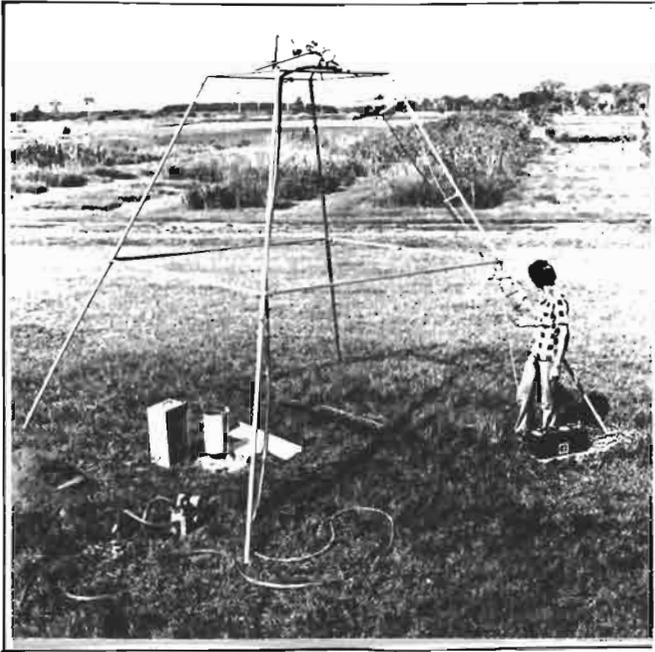
L'alimentation en eau est assurée par une petite motopompe puisant dans des réserves de 200 ou 600 l facilement transportables par un véhicule léger.

Cet appareil permet ainsi de réaliser de nombreux protocoles expérimentaux aboutissant à l'analyse de ruissellements et d'infiltrations de différents "événements - pluies "ou" situations-sols". Le principe de fonctionnement du dispositif fournissant les données de base est identique à celui du grand simulateur (limnigraphe) aussi n'insisterons nous pas davantage sur ces aspects techniques et méthodologiques.

1.3. Les résultats.

Les deux appareils sont conçus pour s'assurer la maîtrise d'un certain nombre de paramètres. En ce qui concerne les caractéristiques des précipitations, nous avons la possibilité de faire varier les hauteurs, les intensités et les temps de ressuyage entre deux averses consécutives. Nous pouvons aussi modifier à loisir les "situations" : tester les comportements de toute la succession des sols d'une toposéquence, l'influence de multiples couverts végétaux ou (et) de différentes pratiques culturales.





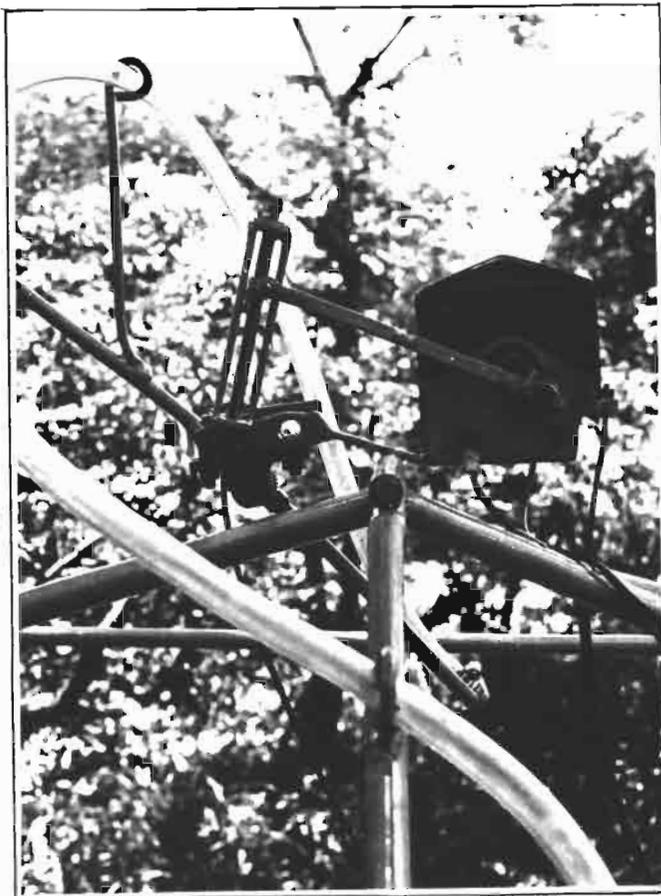
Cliché : ORSTOM - G. PETIOT

← Vue générale

Parcelle et dispositif d'enregistrement →



Cliché ORSTOM - G. PETIOT



← Gicleur et mécanisme de balancement

Cliché ORSTOM - J. ASSELINE

Le simulateur permet de traiter simultanément les problèmes de l'hydrodynamique et de l'érosion mais sa mise en oeuvre nécessite le déplacement et l'installation d'un matériel important ; l'infiltromètre est surtout conçu pour des études de l'hydrodynamique, c'est un dispositif plus léger donc d'une utilisation plus facile.

Dans les deux cas, les informations fournies se présentent à deux niveaux : celui des données de base déjà intéressantes si l'on ne juge pas utile de dépasser le stade des bilans, et celui de l'analyse des processus élémentaires visant à dégager les lois ou modalités de la circulation de l'eau et de l'érosion pour toute une gamme d'événements ou de situations. C'est à ce niveau que se confirment ou s'infirmement les hypothèses de travail et il faut l'atteindre si l'on veut raisonnablement connaître les causes de processus divers et proposer des solutions pour y remédier.

1.3.1. Les données de base

Après le dépouillement des enregistrements limnigraphiques et le traitement en laboratoire des échantillons d'eau turbide, on est en mesure d'établir pour chaque essai et chaque parcelle des hydrogrammes et des turbidigrammes.

xx En ce qui concerne le ruissellement, la figure n° 4 représente un type d'hydrogramme très fréquent. En abscisse sont portés les temps (mn) tandis qu'en ordonnée figurent les intensités (mm/h) des différents termes du bilan : intensité de l'averse ($I(t)$), intensité du ruissellement ($R(t)$), intensité d'infiltration ($F(t)$). On distingue schématiquement quatre phases qui sont :

- de t_0 à t_i , la phase d'imbibition pendant laquelle, au début, l'intensité d'infiltration est supérieure à l'intensité de la pluie, ensuite des flaques se constituent lorsque localement $F(t)$ devient inférieure à $I(t)$,

- de t_i à t_m le ruissellement commence et son intensité croît plus ou moins rapidement, c'est la phase transitoire pendant laquelle l'intensité d'infiltration diminue, la hauteur de la lame ruisselante (D_m) augmente et certaines flaques finissent par se remplir,

- de t_m à t_u s'est instauré un régime permanent du ruissellement, cette phase permet de déterminer une valeur importante qui est le palier du ruissellement R_x à quoi correspond l'intensité minimale d'infiltration (F_n),

- dès l'arrêt de la pluie, de t_u à t_f , le ruissellement diminue rapidement et s'annule, c'est la phase de vidange des réserves mobilisables pour le ruissellement (D_r).

Ces quatre phases qui constituent des processus élémentaires sont susceptibles d'une analyse détaillée, on constate que la comparaison des hyétogrammes et des hydrogrammes permet déjà de dégager ou calculer les données simples suivantes :

- intensité maximale du ruissellement ou minimale de l'infiltration,
- détention superficielle récupérable (D_r) obtenue par planimétrie ou directement sur le limnigramme,
- lame ruisselée totale (L) obtenue de la même façon que précédemment, soit par averse, soit cumulée depuis le début des essais,
- lame d'eau infiltrée totale (W) également par averse ou cumulée,
- coefficient de ruissellement (K_r) global.

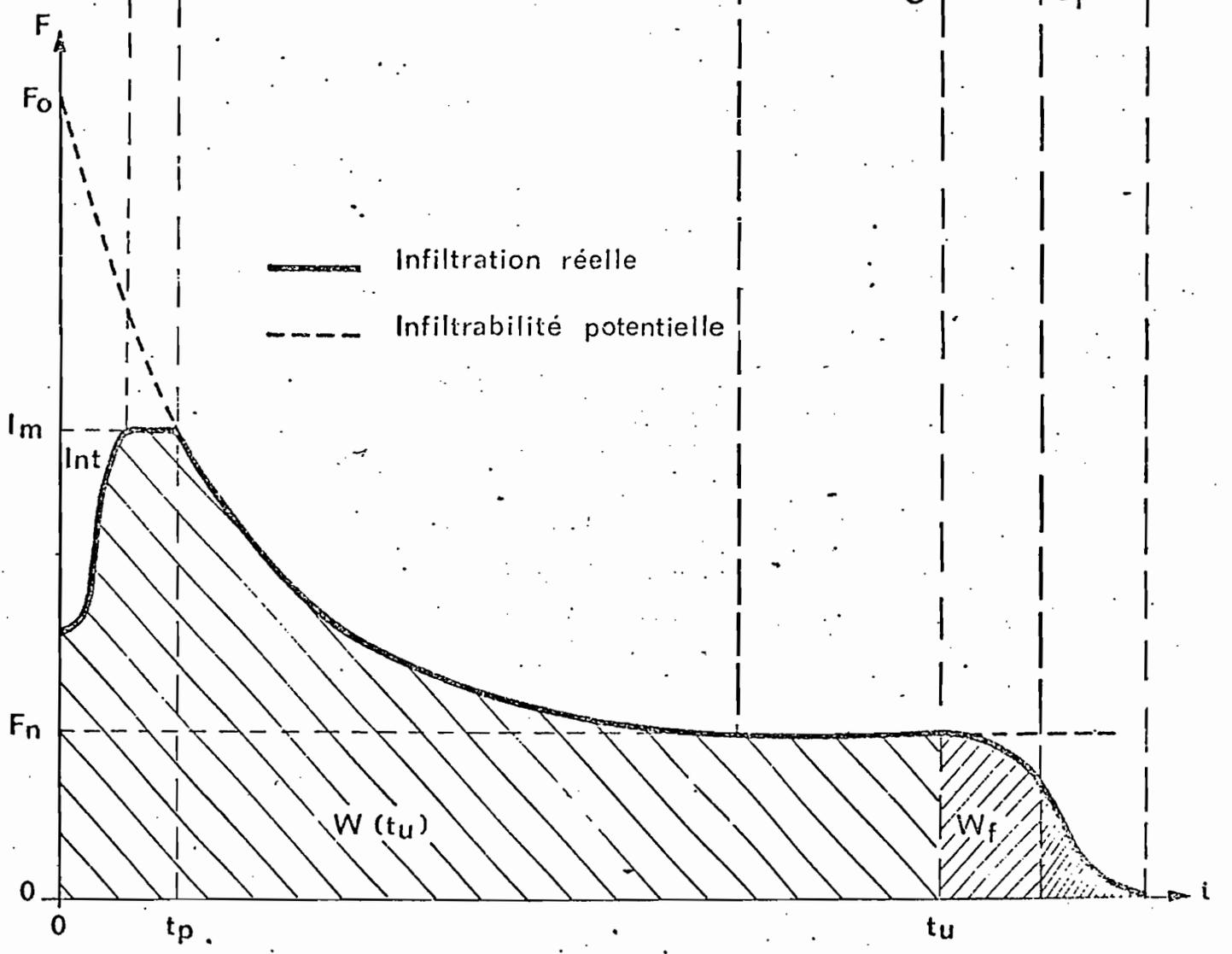
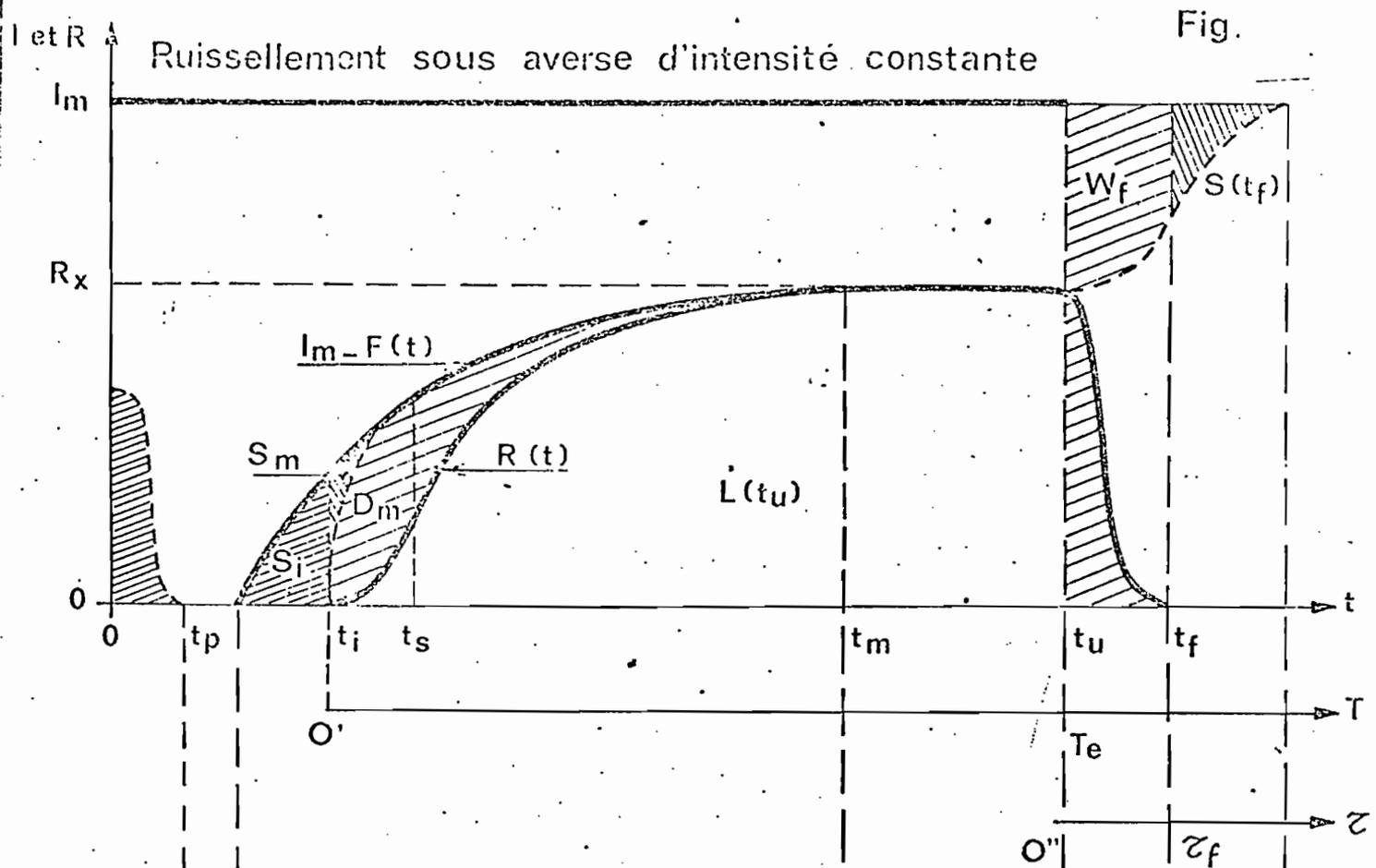
xx En ce qui concerne l'érosion, le mode de représentation graphique est sensiblement différent. Contrairement au tracé de l'hydrogramme qui est l'interprétation de processus continus inscrits au niveau des limnigrammes, le bilan pondéral de l'érosion ne peut être déterminé que par des observations discontinues tout au long de l'averse (prises d'échantillons). Pour un essai donné, on trace le turbidigramme qui est la courbe représentative de l'érosion, de même abscisse temps que l'hydrogramme correspondant et d'ordonnée mentionnant les concentrations ou turbidités (g/l) -cf. figure n° 5.

La conjugaison du turbidigramme et de l'hydrogramme permet d'obtenir le solidigramme qui est la courbe représentative des quantités de terres érodées par unités de temps et de surface ; il s'agit donc d'un débit solide qui est exprimé généralement en g/sec./ha.

Le dépouillement d'un grand nombre d'essais (500 à 550) fait apparaître, heureusement, une quantité restreinte de types de turbidigrammes correspondant à autant de modalités de l'érosion. Nous ne les reprendrons pas tous mais considérerons, à titre d'exemple, deux d'entr'eux parmi les plus fréquents.

Le type 1 est caractérisé par un pic et un palier de la turbidité :

- pendant la phase d'imbibition se produit une mobilisation des éléments meubles disposés à la surface du sol (sédiments encore humides de l'averse précédente, dépôts éoliens, rejets biologiques etc...) il s'ajoute une désagrégation par effet splash de certaines structures superficielles,
- pendant la phase transitoire, tous les éléments issus des deux composantes précédentes sont rapidement entraînés, il se rajoute une troisième composante de la turbidité qui est due à l'abrasion superficielle du ruissellement, le résultat est l'apparition d'un pic (C_s),
- pendant le régime permanent du ruissellement, la turbidité décroît et se maintient à un niveau constant, on suppose que cet équilibre résulte de l'absorption de l'énergie cinétique des gouttes par la lame d'eau ruisselante, dès lors l'érosion en nappe intervient à peu près uniquement,
- pendant la phase de vidange, la turbidité décroît et le ruissellement perdant sa compétence, de nouveaux sédiments se déposent sur le sol.



Dans le type 2, on constate que pendant la phase de régime permanent du ruissellement la turbidité se met à augmenter brutalement. Cette modification s'explique par l'apparition d'un cisaillement d'où une nouvelle exportation de sédiments et aussi par une reprise de l'effet splash car la hiérarchisation du ruissellement aboutit, pour des valeurs constantes du ruissellement à exonder des superficies de sol qui sont de ce fait à nouveau soumises à l'énergie cinétique des gouttes d'eau.

Ces tracés de turbidigramme et de solidigrammes permettent, comme dans le cas du ruissellement de dégager ou calculer les données simples suivantes :

- pic de turbidité et débit solide correspondant,
- palier de turbidité (C_x) et débit solide correspondant (Q_x),
- équation de la portion de courbe traduisant le ravinement,
- érosion totale, ou spécifique, instantanée, ou cumulée (planimétrages du solidigramme),
- turbidité moyenne, pour un essai, ou pour toute la séquence d'averses.

1.3.2. L'analyse des processus élémentaires

Des campagnes antérieures (10, 13, 23, 26) ont montré que pour un site expérimental donné (un sol, une pente, un couvert végétal), l'état d'humectation initial et l'intensité d'arrosage avaient une influence prépondérante notamment :

- sur la hauteur de pluie d'imbibition (1)
- sur les caractéristiques de la loi d'infiltration (2)
- sur la valeur de la détention superficielle (3)
- sur les valeurs caractéristiques de la charge solide des eaux de ruissellement (4).

Voyons brièvement ce qui ressort, par exemple, des points 1, 3 et 4 :

xx Pluies d'imbibition

Il devient possible de calculer des hauteurs d'imbibition théoriques relatives à différentes averses d'intensité donnée. Si l'on considère uniquement ce qui se passe pour les valeurs limites de l'humectation du sol, on constate qu'en zone soudano-sahélienne, sur sols initialement secs, ces pluies d'imbibition sont faibles (P_i voisin de 8 mm) et surtout peu dispersées ce qui traduit une certaine indépendance du facteur sol (les pentes et les couverts végétaux étaient extrêmement comparables). Dans les zones tropicales humides ces pluies d'imbibition dépassent fréquemment 50 mm dans les mêmes conditions de sécheresse. Sur sols proches de la saturation, la différence entre les deux zones climatiques s'atténue considérablement (P_i de 2 à 3 mm).

xx Détention superficielle

Différentes approches (13, 24) ont permis de définir une loi de vidange : il y a égalité des détentions mobilisables et récupérables dans le cas de sols très peu perméables et proportionnalité de celles-ci au palier de ruissellement (R_x) à un "coefficient de rugosité" près. Dans le cas plus fréquent, de parcelles plus perméables et non planes, le calcul de cette détention fait intervenir un coefficient supplémentaire définissant la portion de superficie offerte à l'infiltration. Ces différentes valeurs apparaissent souvent liées à toutes causes susceptibles d'accentuer l'aplanissement du sol (stabilité des structures des horizons de surface entr'autres choses) et sont également très en rapport avec la pente et la longueur du versant.

xx Charges solides des eaux

On a vu que son expression graphique permettait de distinguer différentes modalités de l'érosion. Les valeurs caractéristiques des turbidigrammes mises en relation avec différents paramètres pluviométriques (temps de ressuyage, intensité de l'averse par exemple) ou de situation (couvert végétal, travail du sol etc..) permettent d'expliquer les processus d'érosion. Il est ainsi apparu que des paliers de turbidité résultant exclusivement de l'érosion en nappe, pouvaient prendre rang de coefficient d'érodibilité du sol (indépendance aux variations d'intensité et aux temps de ressuyage). Ces analyses se font principalement en dégagant la relation liant l'érosion à la lame ruisselée, les corrections successives pouvant se faire par une étude de régressions multiples en sélectionnant un ordre de facteurs secondaires qui, selon les hypothèses de travail, semblent les plus influents.

Nous évoquerons, après ces aspects théoriques du programme, certains aspects pratiques.

1.3.3. La conservation de l'eau et des sols

Sur le plan agronomique, différentes techniques culturales sont testées pour étudier leurs influences sur l'infiltration et l'érosion. Retenons les exemples d'un simple labour, d'un billonnage cloisonné, et d'un labour paillé en zone soudano-sahélienne ; nous avons constaté les différences de comportement suivants :

xx Le simple labour, créant une macroporosité importante dans les premiers décimètres du sol, favorise immédiatement une forte infiltration, cependant la permanence de son action est fonction de la stabilité structurale des mottes créées artificiellement. Il y a alors plusieurs possibilités :

- les parcelles à faible stabilité ne sont pas susceptibles de résister à plus de 100 mm de pluies cumulées ; au delà de cette limite, les intensités de ruissellement rejoignent et peuvent même dépasser celles des témoins non labourés. Ces sols se rangent souvent parmi les plus érodibles dans le cas où il s'adjoint à l'érosion en nappe une érosion ravinante. Si l'érosion en nappe prédomine, le niveau d'érosion dépend alors de la constitution d'une pellicule de battance limitant, il est vrai l'infiltration mais heureusement aussi l'érodibilité du fait de la forte diminution des turbidités.

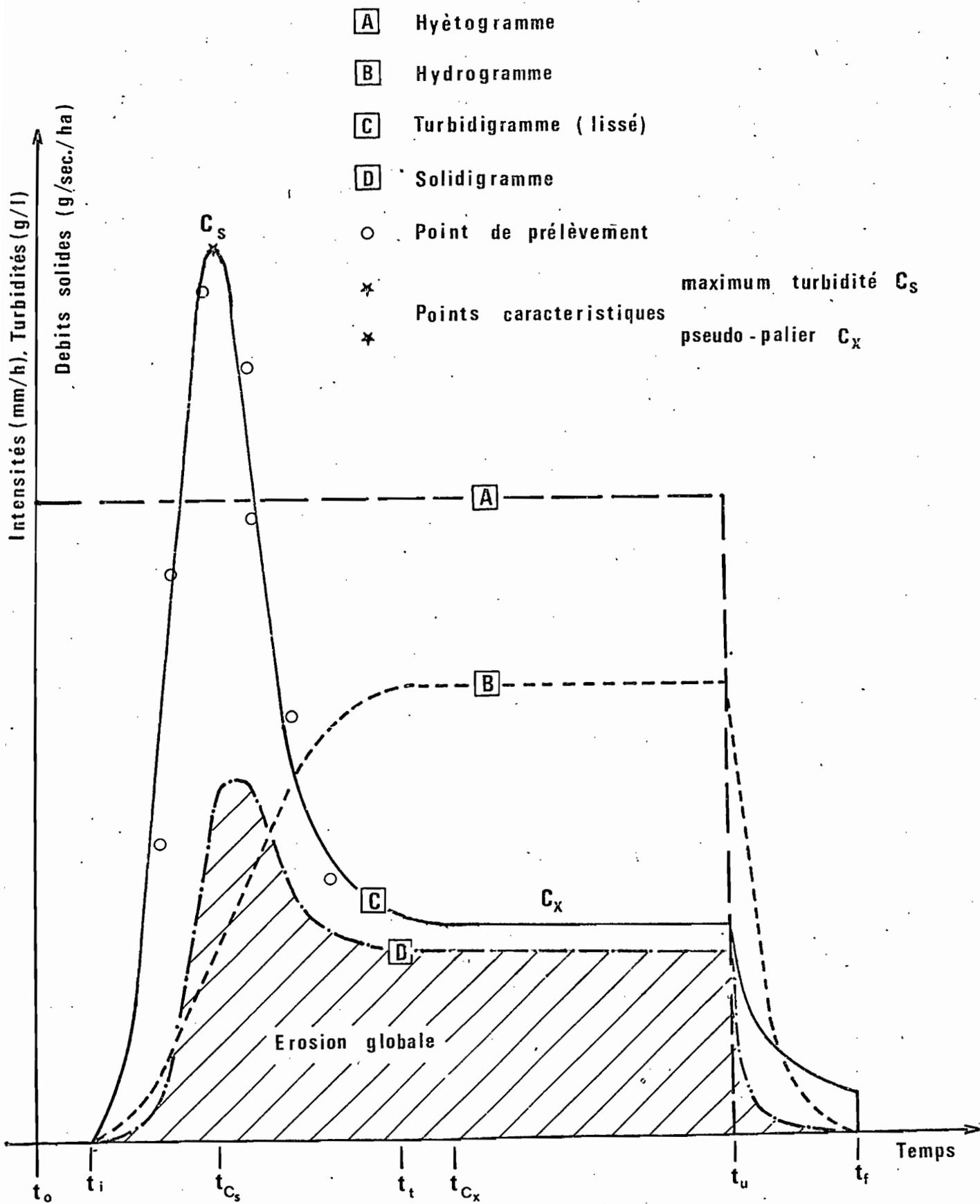


fig. Analyse de l'érosion

PRINCIPAUX TYPES DE TURBIDIGRAMMES

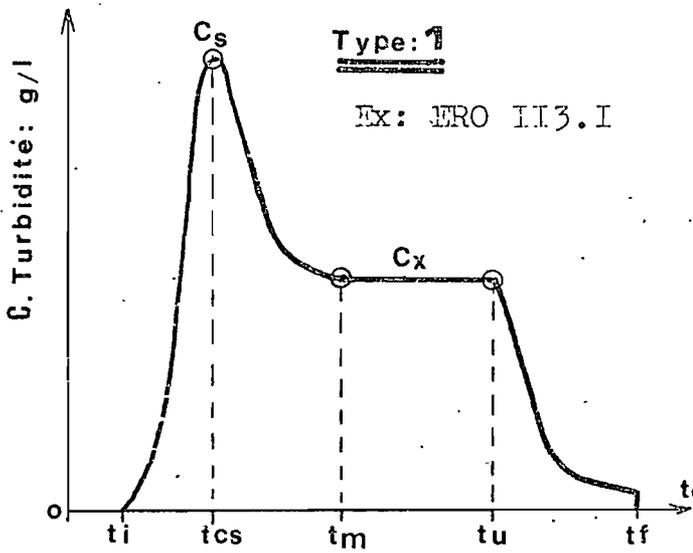


Fig- 28

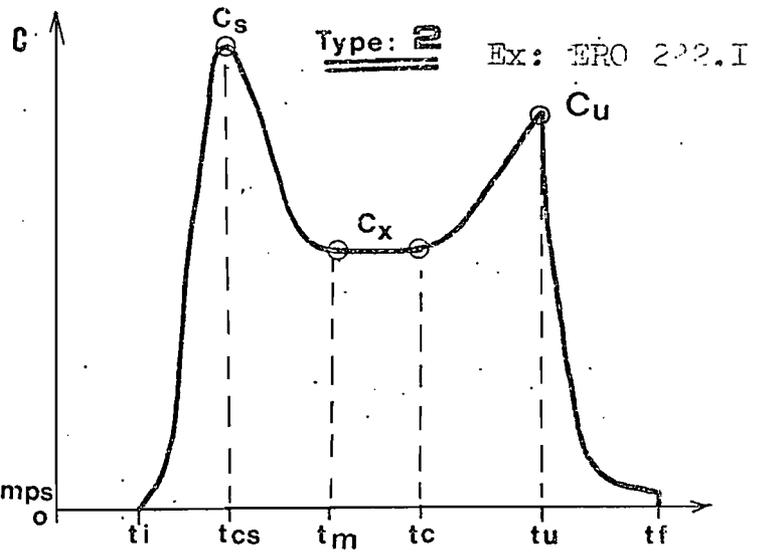


Fig-29

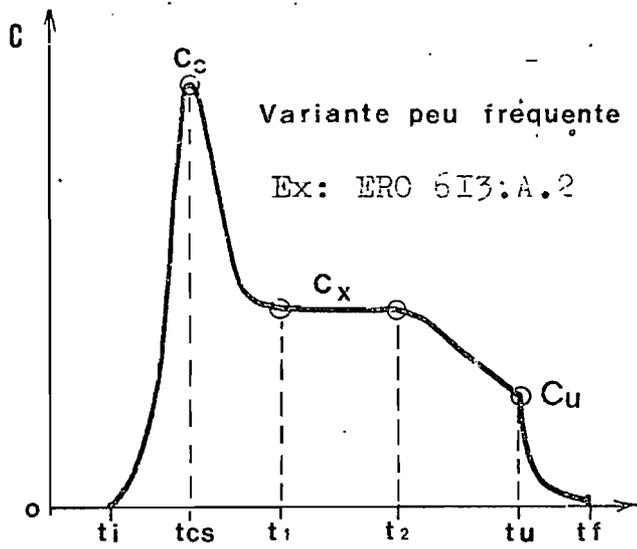


Fig - 30

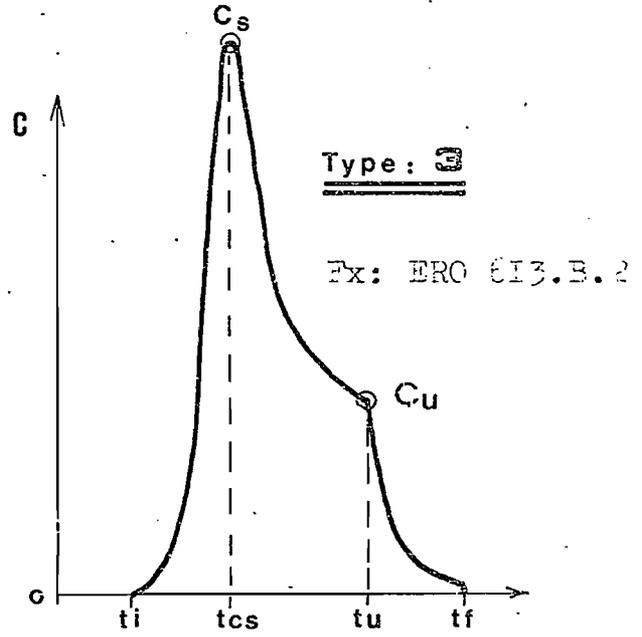


Fig- 31

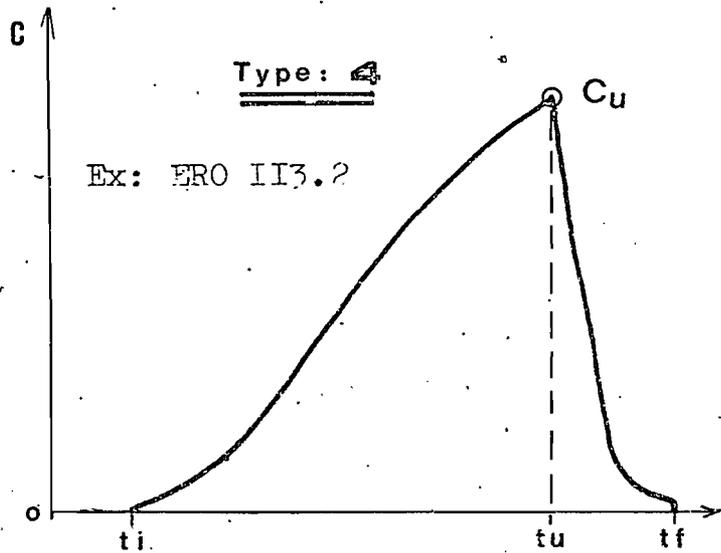


Fig- 32

- les parcelles à meilleure stabilité structurale obtiennent des gains d'infiltration importants jusqu'à environ 250 mm de pluies cumulées, d'abord à cause de l'augmentation du temps d'imbibition et aussi parce que les intensités minimales d'infiltration restent constamment supérieures à celles des témoins non labourés. Cependant comme leur rugosité reste longtemps plus forte que celle des parcelles du cas précédent, elles fournissent des turbidités 4 à 10 fois plus importantes que celles des témoins non labourés (plus lentes désagréations des structures exondées) ainsi leur niveau d'érosion global dépendra-t-il exclusivement du maintien de fortes perméabilités.

- les parcelles raisonnablement riches en éléments grossiers de petites dimensions (graviers) constituent les meilleures "terres" ; en effet les gains à l'infiltration y sont environ 5 fois plus importants que sur témoins non labourés et ce, semble-t-il, de façon durable (pour une hauteur annuelle de précipitation). Comme les turbidités restent faibles (dissipation de l'énergie des gouttes au niveau des éléments grossiers) l'érosion est insignifiante.

xx Les deux autres techniques culturales (buttage cloisonné et paillage) ont montré que le paillage correspondait plus généralement à la meilleure protection possible : infiltration maximale et niveau d'érosion très faible. Le traitement "buttes cloisonnées" perd en effet souvent de son efficacité à partir de 60 ou 80 mm de pluies cumulées ; au delà, on rejoint les comportements des sols simplement labourés. Cette pratique est même vraisemblablement néfaste à la longue sur les sols riches en éléments grossiers car elle amène à l'affleurement une "terre" moins graveleuse qui va s'épuiser plus ou moins rapidement en éléments fins.

1.3.4. Les mouvements de l'eau dans le sol

Dans les développements précédents, la dynamique de l'eau dans le sol n'est abordée que partiellement car les lames infiltrées, ou les intensités d'infiltration, ne sont obtenues que par différence, en bouclant des bilans. Pour améliorer les gestions des réserves en eau stockées dans la zone aérée du sol en vue d'une utilisation optimale pour les cultures, il est souvent intéressant de pouvoir localiser plus précisément ces réserves hydriques en suivant la progression du front d'humectation, en répertoriant les horizons à ressuyage lent ou à ressuyage rapide, en ayant une idée sur la direction des écoulements (drainage à dominantes verticale ou latérale) ; dans d'autres cas on peut être amené à suivre la recharge et la localisation de nappes superficielles. Pour ces différentes raisons, les parcelles recevant les pluies simulées sont également soumises à des mesures humidimétriques effectuées à la tarière sur la périphérie de la parcelle ou mieux, à la sonde à neutron ou à l'aide de sondes de chocs thermiques.

Nous pensons que ces mesures complémentaires sont plus facilement exploitables lorsqu'elles sont effectuées sur des sols soumis à une simulation de pluies plutôt qu'à une infiltrométrie sous lame d'eau à charge constante pour des raisons que nous nous contenterons de résumer brièvement :

- sous averse, on assiste à des phénomènes de dégazage ou d'emprisonnement d'air qui sont largement modifiés par un apport brutal d'une charge d'eau,
- la modification de la structure du sol du fait de l'impact des gouttes d'eau a déjà été évoqué précédemment, son résultat est la formation d'une pellicule de battance dont la conductibilité hydraulique va commander en grande partie l'intensité d'infiltration (cf. exemple ci-dessous) ; sous lame d'eau les seules modifications structurales sont dues à des dilutions,
- la charge de la lame d'eau doit vraisemblablement intervenir aussi ; la méthode "Pioger" par exemple, préconise 100 mm de hauteur de lame ce qui représente 50 à 100 fois la détention superficielle sous pluies naturelles,
- les surfaces testées sont généralement plus faibles sauf si l'on utilise des anneaux infiltrométriques géants grands consommateurs d'eau....

Toutes ces remarques sont généralement admises par les utilisateurs de techniques classiques mais ils demeurent néanmoins confiants en la valeur de "test comparatif" ou "d'ordre de grandeur acceptable", nous proposons un exemple infirmant également ces deux notions.

Comparaisons des intensités minimales d'infiltration (F_n) mesurées au Müntz et au Simulateur de pluies sur un sol de basse Côte d'Ivoire (exemple extrait de 30).

	Sol sous végétation naturelle	Sol labouré
Nombre de mesures Müntz	25	50
F_n sous charge constante (valeur médiane)	210 mm/h	430 mm/h
F_n sous averse simulée (150 mm/h.) (sol très humide)	90 mm/h	20 mm/h

DEUXIEME PARTIE :

COMPTE RENDU DE MISSION PRÉLIMINAIRE ET PROJET DE
PROGRAMME DE SIMULATIONS DE PLUIES SUR DES SOLS
REPRÉSENTATIFS DE LA PÉRIPHÉRIE DE LA MARE D'OURS
(HAUTE-VOLTA)

Mission du 22 novembre au 2 décembre 1977

P L A N

- Préambule
- 1. Justifications de cette étude
- 2. Cadre de l'étude, choix des sites expérimentaux
- 3. Protocole expérimental
- 4. Calendrier des activités durant la mission préliminaire.

Préambule

Cette mission, souhaitée par M. FAUCK, représentant l'O.R.S.T.O.M. auprès de la D.G.R.S.T. de l'action concertée "Lutte contre l'aridité dans le Sahel" s'est déroulée du 22 novembre au 2 décembre 1977. Elle a eu pour but de préparer un projet d'utilisation du simulateur de pluies, dans la région d'Oursi (Nord de la Haute-Volta).

Nous nous sommes fait préciser sur le terrain les objectifs que se proposent d'atteindre les responsables des différentes opérations de recherches menées à proximité de la mare d'Oursi dans le cadre de l'action concertée : "Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan".

Différents sites expérimentaux furent reconnus et piquetés après nivellement.

Nous avons pu évaluer les possibilités techniques de mise en oeuvre de l'appareil et du matériel annexe en ce qui concerne plus précisément :

- le déplacement de l'ensemble du matériel depuis Abidjan,
- l'accès aux différents sites expérimentaux dans la zone d'étude retenue,
- l'alimentation en eau de l'appareil,
- les caractéristiques climatiques de l'époque, notamment la vitesse du vent qui, dans certains cas, constitue un handicap sérieux.

Nous nous sommes renseignés sur les démarches administratives (douane et transitaire) à mener pour pouvoir disposer le plus rapidement et le plus économiquement possibles de l'ensemble du matériel dès notre arrivée à Ouagadougou.

Dans le compte-rendu nous exposerons successivement :

- les raisons qui semblent devoir justifier notre intervention en regard des problèmes qui se posent dans cette région du Sahel,
- le cadre de cette étude et ce qui nous a amené à retenir trois sites expérimentaux,
- le protocole expérimental choisi compte tenu d'un ensemble de données scientifiques et matérielles.

Enfin nous avons consigné en annexe le calendrier de nos activités.

2.1. Justifications de cette étude en regard des problèmes soulevés au niveau des opérations de recherches en cours à Oursi.

Après avoir caractérisé le milieu naturel ou modifié par les activités humaines, les différentes disciplines impliquées dans ce projet, étudient actuellement le fonctionnement de toutes ses composantes afin de pouvoir proposer, à l'issue de leurs travaux, des formules d'aménagement permettant de faire face aux conditions naturelles d'aridité ou aux aggravations parfois catastrophiques de celle-ci. Nos travaux concerneront plus étroitement les hydrologues et les agronomes qui ont d'ailleurs proposé leur collaboration durant la campagne projetée.

Les hydrologues étudient sept bassins versants de dimensions variées (1 à 150 km²), s'étendant, pour les plus vastes d'entre eux, sur des sols et des couverts végétaux très différents. Il apparaît, dès à présent, que la nature, la structure, et l'état de la végétation ont une grande influence sur les coefficients d'écoulement et sur l'importance des crues.

Le programme des agronomes consiste en une analyse du déterminisme de la production végétale ; celle-ci passe en ce moment par des estimations de biomasse et par une étude suivie du régime hydrique des sols sur parcelles expérimentales.

Les protocoles expérimentaux seront orientés de telle sorte qu'ils puissent fournir des éléments de réponses aux questions suivantes :

- rôle du tapis graminéen mort mais non encore éliminé en début d'année,
- possibilités de mise en réserve de l'eau sur différents types de sol,
- modification des caractéristiques physiques des premiers centimètres de sol recevant des averses d'intensités différentes,
- temps de maintien d'une porosité ouverte par un labour conventionnel (parcelle de référence).

2.2. Cadre de l'étude et choix des sites expérimentaux (cf. carte de localisation).

Avant d'aborder les reconnaissances de terrain, nous avons pu tirer profits de la lecture de quelques rapports ou compte rendus de mission de chercheurs ayant travaillé dans cette région ; il s'agit des ouvrages suivants :

- Notice de la carte pédologique du Centre-Nord de la Haute-Volta de R. BOULET (1968).
- Notice des cartes de ressources en sols de la Haute-Volta. Zone agroclimatique septentrionale ou zone sahélienne de R. BOULET (1976), traduction en termes agronomiques de travaux pédologiques de ce même auteur et de J.C. LEPRUN.
- Rapport de la mission pédologique que J.C. LEPRUN a effectuée en mars 1977 sur la mare d'Oursi.
- Rapport préliminaire et esquisse géomorphologique à 1/50.000 de la région de la mare d'Oursi par F. JOLY et Y. DEWOLF (1976).
- Etude des conditions physiques, biologiques et humaines de la lutte contre l'aridité dans l'Oudalan de J.C. DELWAULE (1976).

Enfin MM. CLAUDE, MILLEVILLE, SICOT, GROUZIS nous ont exposé le contenu des programmes et conseillé dans le choix des sites.

Une prospection détaillée, sur la totalité de la région n'était pas réalisable en quelques jours (6 dont 2 journées de route), elle aurait même été inutile puisque nous devions trouver les meilleures conditions d'alimentation en eau depuis la mare. Nous avons eu la chance de pouvoir observer les fosses réparties sur les séquences de J.C. LEPRUN (OUR-) ainsi que celles ouvertes pour M. SICOT (PARA-) en vue d'une caractérisation physique des sols de ses parcelles. Nous avons cependant pu, à l'occasion d'un grand itinéraire circulaire, nous faire une idée plus générale sur la morphologie de cette région et constater la grande variabilité des sols, des modelés et, dans une moins grande mesure, des couverts végétaux. Ceci est d'ailleurs traduit dans les rapports et cartes des auteurs cités précédemment.

Pour les raisons matérielles déjà évoquées, nous avons accentué notre reconnaissance sur une superficie délimitée : au nord par les rives de la mare, à l'est par la route d'Oursi à Pétoy, au sud par le massif de Koél et à l'ouest par le marigot Taïma.

Cette zone est dominée au sud, par le massif à affleurement chaotique du Koél (gabbros ?), le système de glacis et de thalwegs s'étendant jusqu'aux pourtours de la mare (7,5 km) est interrompu par des pointements rocheux, pitons généralement peu élevés, surtout granitiques dans la moitié est (p. ex : proximités de la parcelle Gontouré). La moitié ouest est plutôt caractérisée par la prédominance d'épandages d'éléments grossiers (quartz, fragments schisteux, nodules ferrugineux) couvrant le plus souvent les sommets de formes ; c'est aussi dans ce secteur ouest et sud-ouest que l'on découvre le plus de plateaux cuirassés.

Le substratum semble être constitué par des roches très variées : granites, schistes, amphibolites, gabbros. Les pentes, exceptions faites des massifs, pitons et des piémonts les ceinturant, sont faibles, elles oscillent entre 0,3 et 1 %. Les marigots ne sont franchement incisés que dans leur cours moyen (1 à 3 m), leur lit s'évase en toute une série de chenaux à peine marqués à proximité de la mare.

En accord avec les observations de J.C. LEPRUN, la diversité des sols est très grande, ce qu'il est normal de constater sur des substratums aussi variés et compte tenu de différenciations séquentielles très accusées dans cette zone morphoclimatique. A titre indicatif, on peut identifier la présence des sols suivants (en terme de classification CPCSC) :

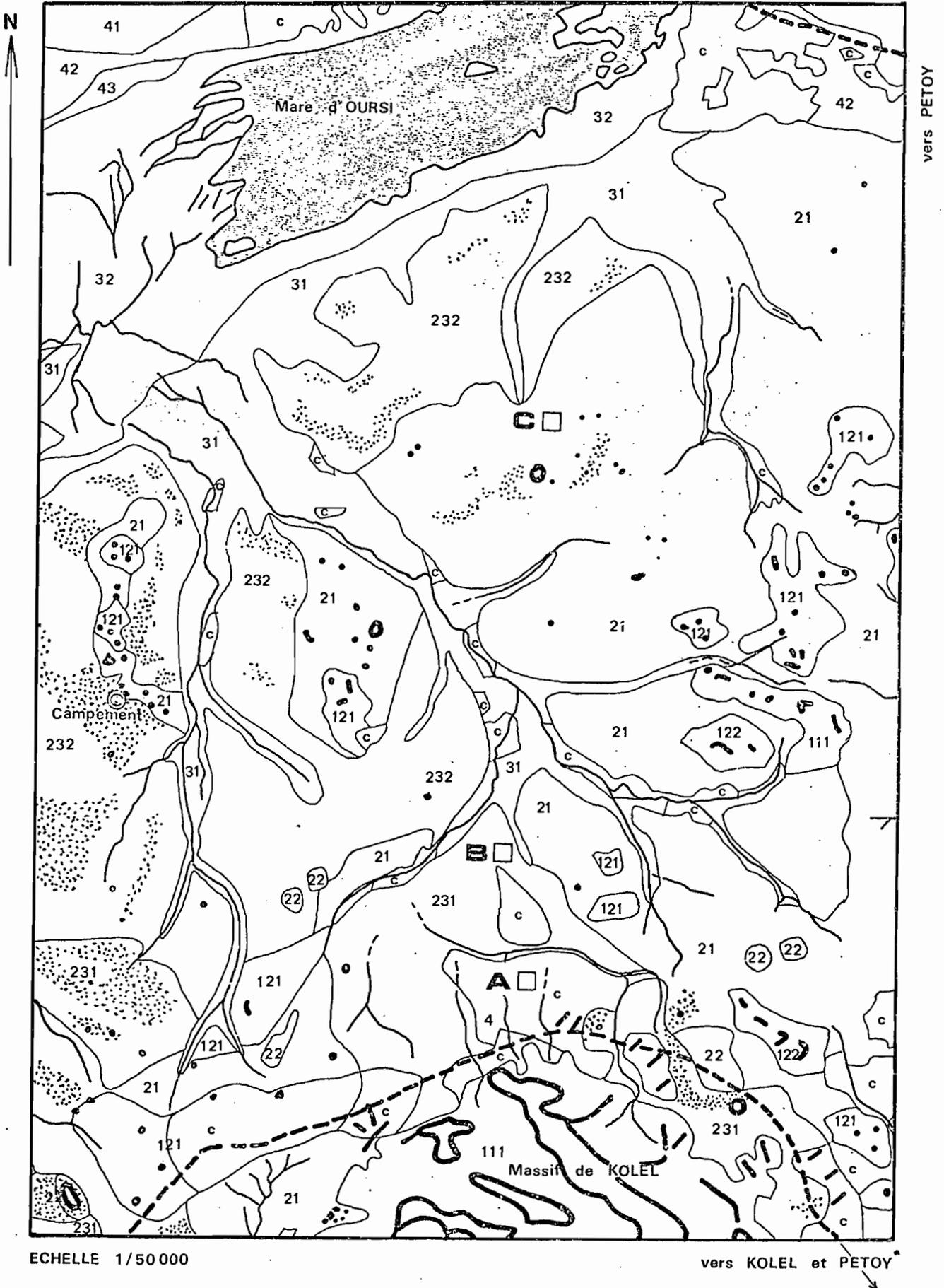
- bruns-rouges subarides, profonds, sableux, à incorporation profonde de composés organiques, à structure particulière puis massive (p. ex : PARA 1),
- bruns subarides, très profonds (2 m), brun olive, argilo-sableux à argileux, bien structurés sur 50 cm, massifs et cohérents au delà (PARA 3 et 7), parfois à caractère verticale (PARA 4),
- ferrugineux tropicaux peu lessivés, profonds, sableux, peu différenciés, parfois hydromorphes vers 2 m (PARA 2),
- ferrugineux tropicaux lessivés, souvent moins profonds (80 à 100 cm), à horizons bien différenciés, sableux grossier à graveleux puis argilo-sableux, sur arène granitique en voie d'induration (PARA 6 et JC 5) ; ceux-ci peuvent passer latéralement à des sols peu évolués graveleux et caillouteux sur carapace.

Vers les pourtours de la mare ou à l'aval de quelques séquences, on découvre les sols hydromorphes à caractères verticaux plus ou moins accusés et plus rarement des vertisols topomorphes largement structurés dès la surface (OUR 43).

Pour disposer nos sites expérimentaux nous avons le choix entre plusieurs possibilités :

- a) procéder à un "saupoudrage" de couples de parcelles pour tenter de caractériser le comportement du maximum de sol,
- b) sélectionner une ou deux séquences pédologiques (ligne de plus grande pente entre un sommet d'interfluve et l'axe de drainage), en espérant y trouver regroupés un maximum de différenciations pédologiques et y installer autant de couples de parcelles,
- c) essayer de caractériser le comportement d'un petit nombre de sols parmi les plus largement représentés, sans que ceux-ci soient forcément répartis selon une toposéquence pédologique.

LOCALISATION DES SITES EXPERIMENTAUX
 (Par rapport à l'esquisse géomorphologique simplifiée de
 F. JOLY et Y. DEWOLF)



LEGENDE



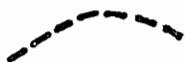
Axes de drainage et chenaux de
décrues (proximité de la mare)



Unités géomorphodynamiques
(F. JOLY et Y. DEWOLF)



Terroirs cultivés



Routes



Massifs, inselberge et lignes
de crête



Pitons résiduels



Affleurements d'éléments grossiers
(nodules ferrugineux, fragments
rocheux)



Sites expérimentaux
(4 couples de parcelles de 50 m²)



Campement, station météorologique,
terrain d'aviation

Il faut rejeter la première solution, pratiquement irréalisable à cause de trop importants aménagements de pistes pour déplacer le matériel sur des distances forcément considérables (alimentation en eau) du fait aussi de l'impossibilité de traiter simultanément plusieurs couples de parcelles par déplacement du simulateur monté. La disposition de parcelles en séquences pédologiques (2ème solution) permettrait de caractériser un assez grand nombre de sols, mais ceci d'une façon très incomplète parce qu'il devient difficile d'appliquer des protocoles rigoureusement identiques sur les 4 à 5 couples de parcelles étagées sur le versant, notamment en ce qui concerne les temps d'arrêt entre chaque averse et une succession commune de ceux-ci sur chaque site.

Nous avons retenu la troisième solution qui consiste à étudier plus à fond un plus petit nombre de sites. Trois sites expérimentaux ont été retenus. Ils s'étagent depuis le piémont du Koél jusqu'à environ 2,5 km de la mare. Cette distribution correspond donc à une séquence plus géomorphologique que pédologique. Enfin nous nous sommes efforcé de ne retenir que les sites les plus largement représentatifs.

Site expérimental A

Il regroupe quatre couples de parcelles séparées d'une dizaine de mètres et se situant en piémont du Koél à proximité des parcelles agronomiques PARA 2.

Sols : (déjà décrit par J.C. LEPRUN, d'une façon détaillée dans un document remis à M. SICOT et d'une façon résumée dans son rapport de mission de mars 1977).

Il s'agit d'un sol sableux, brun vif, peu différencié en ce qui concerne sa texture et sa structure qui reste massive et moyennement cohérente jusqu'à 130, 140 cm. Au delà de cette limite apparaissent des traces d'hydromorphie tandis qu'augmente la cohésion et que le taux d'argile atteint vraisemblablement 10 à 15 %. L'incorporation de composés humiques est nette sur 60 cm et correspond à la limite d'un enracinement moyen. Entre les touffes de graminées on note la présence d'une pellicule de battance plus ou moins consolidée par des algues ; une caractérisation plus détaillée de ces horizons superficiels permettra de voir si la porosité reste ouverte au niveau des touffes de graminée ce qui est vraisemblable.

Classification CPCS : (proposée par J.C. LEPRUN).

Sol ferrugineux tropical peu lessivé, pouvant constituer un terme de passage vers les sols subarides.

Couvert végétal :

L'ensemble du site était encore enherbé (60 à 80 % de recouvrement) en décembre, il s'agit de graminées mortes mais à tiges encore erigées sur 35 à 40 cm, ce couvert persistera (comm. orale de M. SICOT), en février, mais se trouvera alors réduit à l'état d'un paillis couché faisant office de mulch.

Pentes : 0,77 à 1,85 %

Distance à la mare : environ 8 km

Remarque, corrélations avec les documents existants :

Ce sol s'étend sur environ 1000 à 1200 de piémont, il lui correspond l'unité géomorphodynamique (F. JOLY - Y. DEWOLF) 231 "galcis de transit argilo-sableux, matériel d'altération de roches basiques et sables éoliens" ; il n'a pas été possible au 1/50.000ème de préciser l'importance des recouvrements sableux. Leur comportement risque de rappeler les sols de l'unité agronomique 1 de la carte des ressources en sols : "Sols sableux en surface, sableux à sablo-argileux en profondeur - drainage limité en profondeur - teneur en base moyenne à faible - légèrement désaturé - alimentation en eau des cultures très sensibles aux aléas climatiques - valeur pastorale équivalente à celle de l'unité agronomique 4".

Site expérimental B

Il a été reconnu à environ 1 km au nord du site précédent et se situe à proximité de la parcelle agronomique PARA 3.

Sols : (également visités et décrits par J.C. LEPRUN).

Excepté un recouvrement de 3 à 4 cm sablo-limoneux, ce sol est argileux, brun-rouge, nettement structuré en polyèdres moyens sur 50 cm où il est très cohérent et possède une forte porosité d'assemblage. Il devient brun-olive jusqu'à 130 cm, reste très argileux et très cohérent, à structure massive parcourue de fines fissures verticales ; la porosité y devient de plus en plus faible en dehors de ces zones de fissuration. A partir de 130 cm apparaissent des taches jaune-claire et des nodules calcaires disséminés vers 160 cm, la texture reste argileuse, on note une individualisation peu nette de prismes grossiers et très grossiers à très forte cohésion. On trouve vers 200 cm les gabbros altérés.

L'enracinement est moyen, il se limite aux 50 premiers centimètres moyennement structurés.

Les 3 à 4 cm de recouvrement sablo-limoneux semblent correspondre à des interstratifications de colluvions bien triés (15 mm de sable et 1 à 2 mm de limons fins ou d'argiles plus organiques) ; on n'y retrouve pas les éléments caractéristiques d'une pellicule de battance (alignement de petits vésicules ronds sous une pellicule argilo-limoneuse). Chaque strate pourrait correspondre à des délaissés de lame ruisselante avec un premier dépôt plus grossier scellé par des éléments plus fins provenant de la décantation de flaques d'eau turbide.

10 % de la surface sont occupés par des graviers et cailloux de quartz et de gabbro.

Classification CPC : (proposée par J.C. LEPRUN)

Sol brun subaride modal.

Couvert végétal :

L'ensemble de ce site est encore enherbé mais son taux d'occupation est souvent hétérogène, les deux tiers des sols sont couverts à raison de 60 à 80 % mais il existe des plaques de quelques m² dont le couvert est moins dense (10 à 20 %) ; les graminées mortes étaient encore érigées en décembre.

Pente : 0,39 à 0,53 %.

Distance à la mare : environ 7 km.

Remarque, corrélation avec les documents existants :

Ces sols sont très largement représentés au sud de la mare ; les principales variations portent sur une disparition des recouvrements sablo-limoneux, l'apparition de caractères vertiques, une dénudation plus complète du couvert et des épandages plus importants d'éléments grossiers. Ils correspondent souvent aux unités géomorphodynamiques 231 et surtout 232. Ils apparaissent sur la carte pédologique Centre-Nord de R. BOULET sous l'intitulé : "Sols halomorphes associés aux sols bruns subarides faiblement alcalisés" (unité 38). Bien que peu familiarisé avec les sols halomorphes nous pensons qu'il ne s'agit pas, à cet endroit, d'affleurements de colonnettes argileuses d'un solonetz privé de son horizon A sableux. Leur comportement est vraisemblablement plus proche des sols des unités agronomiques 5a où mieux 6a (carte des ressources en sols). Unité agronomique 6 : "sols argileux, steppes à Acacia, sols chimiquement riches mais à pédoclimat très sec, valeur pastorale actuellement très faible, régénération à étudier" ; unité agronomique 5a : "sols à texture contrastée, horizon A sableux et B argileux colonnaire, associés aux sols de l'unité 6".

Site expérimental C

Il est situé à 4 km au nord, nord-est du site B, les sols et le couvert végétal rappellent ceux sur laquelle est installée la parcelle de Gontouré (fosse PARA 6).

Sols :

Après prospection de la zone nous avons localisé le site et procédé à l'ouverture d'une fosse en sa proximité immédiate. Sur les 2,5 à 3 premiers centimètres alternent des strates organo-limoneuses sombres (1 mm) et sableuses, latéralement graveleuses claires (3 à 5 mm) ; l'ensemble présente une morphologie plus affirmée de pellicule organo-limoneuse de vésicules sphériques alignés (0,5 à 1 mm). Par place ces organisations alternées peuvent occuper les 8 premiers centimètres. La transition est nette et régulière.

- 3 à 18-20 cm : 7,5 YR 5/5. Sableux grossier humifère. Moins de 5% de graviers de quartz. Massif. Peu cohérent. Poreux tubulaire très fin. Nombreuses racines fines, chevelu. Transition distincte et régulière.
- 18-20 à 37-40 cm : 5 YR 5/6. Argilo-sableux grossier légèrement humifère. 15% de graviers de quartz (5 mm), plus rarement cailloux (20 à 25 mm). Massif. Cohérent. Poreux tubulaire fin à moyen. Galeries de termites. Racines fines jusqu'à 30 cm, quelques racines fines au delà. Transition distincte légèrement ondulée.
- 37-40 à 80 cm : 7,5 YR 6/6, taches rouges jusqu'à 60 cm, nombreuses taches roses et rouge au delà. Argileux. 30 à 45% d'éléments grossiers, 2/3 de graviers de quartz et de feldspath, 1/3 de nodules ferrugineux mal classés (5 à 20 mm), irrégulièrement arrondis, peu indurés, noirs et rouges sombres en coupe, quelques rares cailloux de granite à gros grains, altérés. Structure difficilement discernable, tendance à une agrégation polyédrique fine à très fine. Poreux surtout intersticiel. Revêtement argileux sur sables et graviers. Transition graduelle, ondulée à interrompue.
- 80 à 95 cm : 7,5 YR 6/6, taches rouges jusqu'à 60 cm, nombreuses taches roses et rouge au delà. Argileux. 30 à 45% d'éléments grossiers, 2/3 de graviers de quartz et de feldspath altérés (3 à 5 mm) et une moitié de nodules ferrugineux toujours irrégulièrement arrondis mais mieux classés (7 à 15 mm). Revêtements argileux rouges autour de ces éléments grossiers. Structure non discernable. Très poreux intersticiel.
- à plus de 95 cm : Granite à gros grains en place, altéré, rigide, blanc, gris verdâtre, rose, argilification des feldspaths en vert-olive, ferruginisation discrète dans les diaclases.

Classification CPC :

Sol ferrugineux tropical lessivé sur granite migmatitique à gros grain.

Couvert végétal :

Par comparaison avec les sites A et B qui étaient largement enherbés, il prédomine ici de vastes étendues dénudées ou partiellement dénudées. A la surface du sol alternent, en quantités équivalentes, des dépôts sableux grossiers et graveleux formant des microreliefs en lanières de 2 cm d'épaisseur (délaiés de lame d'eau ruisselante) parfois couverts par 20 à 40 % de graminées en touffes mortes mais encore érigées, et des chenaux déprimés plus ou moins anastomosés, à fond plan et à pellicule de battance sur 100 à 150 cm de largeur. Les quelques superficies enherbées (surtout vers l'aval) sont occupées par 80 % de touffes de graminées mortes érigées sur 45 cm. Il sera donc nécessaire de prévoir au niveau de ce site un protocole permettant de traiter ces deux situations (cf. paragraphe 3).

Pente : parcelles dénudées : 0,69 à 0,97 %
parcelles enherbées: 0,91 %

Distance jusqu'à la mare : environ 3 km

Remarque. corrélation avec les documents existants :

Ces sols occupent également de vastes superficies au sud-est de la mare ; les variations portent sur une profondeur des altérites parfois plus importante, une densité plus grande, dans le profil, de cailloux et graviers de quartz avec souvent corrélativement une accentuation du lessivage ; il peut aussi se produire une induration plus nette des arènes. Ces caractères se retrouvent au niveau de la fosse PARA 6 (proximité de la parcelle de Gontouré), visitée et décrite par J.C. LEPRUN. La carte pédologique de R. BOULET signale leur présence vers le sud-est, un peu avant Pétoy, mais cet auteur n'a évidemment pas pu distinguer au 1/50.000 les sols différenciés sur sables éoliens anciens, peu lessivés de ceux développés sur arène granitique, plus ou moins ferruginisés, nettement lessivés, et proches de la mare. Cette distinction ne figure pas non plus, pour les mêmes raisons, sur la carte des ressources en sols : l'unité agronomique 8 "sols à profondeur faible gravillonnaires" ne sont pas représentés dans notre future zone d'activités. Nous pensons que leur comportement se rapprocherait plutôt de celui de l'unité agronomique 5c : "sol à texture contrastée, présence de sols sableux ou sablo-argileux autour des affleurements de granite et en bordure des vallées".

3. PROPOSITION D'UN PROTOCOLE EXPERIMENTAL.

L'établissement de ce protocole doit tenir compte des données scientifiques et techniques recueillies à l'issue de cette mission.

Dans la plupart des cas, on remarque une importante modification de la structure des horizons de surface allant dans le sens d'un colmatage des porosités ce qui limite l'infiltration de l'eau. Ce colmatage doit être très important dans toutes les zones dénudées et dépourvues d'un épandage d'éléments grossiers. Il est par contre limité dans les zones enherbées. Il faut donc pouvoir dégager l'influence des intensités des averses et évaluer le rôle protecteur du couvert graminéen même clairsemé.

Il faut aussi considérer les caractéristiques des précipitations naturelles de la région (hauteur, intensité, durée, espacement des averses) pour serrer au plus près les processus naturels. On dispose, jusqu'alors d'assez peu d'éléments de comparaison car le site d'Oursi est équipé depuis peu de temps d'une station météorologique et les moyennes ne peuvent dans ces conditions être calculées que sur un trop petit nombre de données. On dispose, en revanche, de caractéristiques calculées pour des laps de temps plus longs et sur des zones climatiques plus vastes (courbes intensité/durée de Y. BRUNET-MORET), concernant les averses dites "exceptionnelles". Ces données sont les plus précieuses pour ce qui concerne les modifications des états de surface, donc l'infiltration et l'érosion ; les averses "normales" de faible intensité et faible durée ayant toutes les chances d'être reprises par l'évaporation (E.T.P. d'environ 2500 mm dans la région d'Oursi). Cette reprise par l'évaporation se fait sur une faible longueur de versant lors de l'apparition d'une lame ruissellée, soit par épuisement rapide de l'inféflux ; il ne peut donc pas dans ces deux cas y avoir constitution ou augmentation des réserves hydriques du sol. Il est raisonnable de simuler plutôt ces averses exceptionnelles car leurs effets sur le sol sont les plus marqués et les plus durables.

A titre indicatif, la hauteur journalière de probabilité annuelle (Y. BRUNET-MORET) avoisinerait 50 mn dans la région d'Oursi (P. moyenne annuelle d'environ 450 mm), pouvant tomber pendant 65 à 70 mn pour une intensité de 30 mm/h
25 mn pour une intensité de 60 mm/h
10 à 12 mn pour une intensité de 90 mm/h.

La hauteur journalière de probabilité décennale atteindrait 90 mn, celle-ci pouvant tomber pendant :

- 120 à 130 mn selon une intensité de 30 mm/h
- 50 à 52 mn selon une intensité de 60 mm/h
- 22 à 23 mn selon une intensité de 90 mm/h
- 11 à 12 mn selon une intensité de 120 mm/h.

La durée des averses simulées devra être fixée en tenant compte de ces caractéristiques mais il faudra aussi s'efforcer d'atteindre le palier de l'intensité de ruissellement maximum pour pouvoir interpréter dans de bonnes conditions les différentes phases des expressions de l'intensité en fonction du temps.

On dispose de peu de données sur les régimes hydriques des sols de ces régions. Leur étude a été abordée par les agronomes (MM. SICOT et ZEGANADIN), au niveau de parcelles expérimentales, à partir d'infiltrations provoquées sous lame d'eau non ruisselante. Il est probable que les essais simulateur permettront de cerner un peu mieux la réalité des processus (affectation de ce régime par les modifications structurales). Il apparaît que, dans les conditions naturelles, les profondeurs d'humectations restent faibles, il suffit de se référer à deux exemples de profils hydriques présentés par R. BOULET p. 19 de sa notice de carte de ressources en sols : certains sols (horizons à texture contrastée).

peuvent drainer occasionnellement en limite des horizons à texture fine, d'autres (bruns subarides argileux) restent constamment à une humidité inférieure à pF 4,2, exception faite des 5 à 10 premiers centimètres qui approchent seulement les humidités correspondant à pF 3. Bien que cela sorte de l'objet de ce compte rendu, on peut remarquer combien il est difficile d'expliquer dans ces conditions, les importantes différenciations séquentielles observées actuellement et qu'il faut bien attribuer à des circulations de solutions ou de pseudosolutions.

L'établissement de profils hydriques (sonde à neutrons, chocs thermiques) devrait pouvoir aboutir à la détermination d'un régime hydrique moyen annuel, c'est à dire indiquer les états successifs d'humectation et de dessiccation.

Notre temps d'intervention sur le terrain ne permettra de caractériser ce régime que dans certaines limites qui correspondent à une série limitée d'intervalles de temps entre deux averses consécutives. Nous pourrions cependant suivre :

- la réhumectation d'un sol en début de saison des pluies (1er temps d'arrêt correspondant à toute la saison sèche),
- la répartition des réserves hydriques (descente du front d'humectation, dessèchement) pour des averses séparées par les laps de temps suivants : 60 h, 36 h, 24 h, 10 h, 4 h, et, éventuellement, selon les profondeurs humectées : 30 mn, 10 mn.

Les données matérielles qui interviennent pour limiter le champ des expérimentations concernent :

- la proximité du point d'eau,
- la sensibilité de l'appareil au vent.

Nous avons déjà évoqué les problèmes de la distance des voies d'accès, ceux-ci peuvent être réglés moyennant quelques aménagements peu importants. A titre d'information on peut se faire une idée du nombre de navettes que devra effectuer le camion citerne (7,5 m³) pour remplir la réserve de 30 m³ si l'on considère que celle-ci se vide en 1 h 15 mn pour 1 h d'averse à 120 mm/h
vide en 2 h 00 mn pour 1 h d'averse à 90 mm/h
vide en 2 h 30 mn pour 1 h d'averse à 60 mm/h
vide en 5 h 00 mn pour 1 h d'averse à 30 mm/h.

Le handicap le plus sérieux sera la vitesse du vent à l'époque de la mission. En effet, la répartition des pluies sur les deux parcelles devient très hétérogène pour des vents soufflant à plus de 7 km/h ; or les relevés portant sur cette période de l'année (février-mars) indiquent des vents soufflant à plus de 20 km/h à partir de 6-7 h du matin jusqu'à 18-19 h du soir. Le protocole qui suit prévoit donc des interventions nocturnes (s) ou très matinales (m), périodes pendant lesquelles la vitesse du vent ne dépasse généralement pas 3 km/h.

Protocole expérimental commun aux sites A et B

- 4 couples de parcelles de 50 m²,
- une parcelle pour caractériser le comportement du sol dans son état naturel : vraisemblablement paillis de chaumes de graminées couvrant presque entièrement la surface,
- la deuxième parcelle de chaque couple sera labourée, planée selon des normes précises,
- chaque couple de parcelles recevra des pluies simulées de soit 30 mm/h, soit 60 mm/h, soit 90 mm/h, soit 120 mm/h,
- les temps d'arrêt entre chaque averse seront de : ss. (durée de la saison sèche), environ 150 h, 60 h, 36 h, 24 h, 10 h, 4 h, 1 h, 30 mn, 10 mn,
- la durée d'une averse doit permettre d'atteindre l'intensité maximum du ruissellement dans les limites de temps déduits des courbes intensité/durée.

Protocole expérimental du site C

- 4 couples de parcelles de 50 m²,
- 3 couples de parcelles, dénudés du couvert graminéen subissent un protocole expérimental à peu près identique à celui des sites A et B (excepté la suppression de l'intensité 90 mm/h),
- la deuxième parcelle de chaque couple sera labourée, planée selon des normes précises, (parcelles dénudées),
- sur le quatrième couple de parcelles enherbées on combinera différentes intensités en utilisant une bâche recouvrant alternativement l'une ou l'autre des parcelles (protocole modifiable en cours d'essais),
- les temps d'arrêt entre chaque averse seront de : ss. (durée de la saison sèche), environ 60 h, 36 h, 24 h, 10 h, 4 h, 1 h, 30 mn, 10 mn,
- la durée d'une averse doit permettre d'atteindre l'intensité maximum de ruissellement dans les limites de temps déduits des courbes intensité/durée.

. PROTOCOLE EXPERIMENTAL COMMUN POUR LES SITES A, B et C *

Couple de parcelles		S (60 mm/H)				T (30 mm/H)				Q* (90 mm/H)				C (120 mm/H)			
N°Averse	ta	tu (mm)	Pu (mm)	SP (mm)		tu (mm)	Pu (mm)	SP (mm)		tu (mm)	Pu (mm)	SP (mm)		tu (mm)	Pu (mm)	SP (mm)	
				Journ.	Tot.			Journ.	Tot.			Journ.	Tot.			Journ.	Tot.
1	très grand	50	50	50	50	100	50	50	50	60	90	90	90	45	90	90	90
2	10 H 00	50	50	50	100	100	50	50	100	40	60	60	150	30	60	60	150
3	24 H 00	50	50	50	150	100	50	50	150	40	60	60	210	25	50	50	200
4	0 H 30	40	40	90	190	80	40	90	190	20	30	90	240	20	40	90	240
5	36 H 00	50	50	50	240	100	50	50	240	40	60	60	300	25	50	50	290
6	1 H 00	40	40	90	280	80	40	90	280	20	30	90	330	20	40	90	330
7	60 H 00	50	50	50	330	100	50	50	330	40	60	60	390	25	50	50	380
8	4 H 00	40	40	90	370	60	30	80	360	20	30	90	420	20	40	90	420
9	0 H 10	-	-	-	-	40	20	100	<u>380</u>	20	30	120	<u>450</u>	20	40	130	<u>460</u>
9 bis	150 H 00	50	50	50	420												
10	0 H 10	20	20	70	440												
11	0 H 10	20	20	90	<u>460</u>												

* Note : Sur le site C le protocole commun ne porte que sur trois couples de parcelles (couples S, T et C).
Le quatrième couple (parcelles V1 et V2) sera réservé pour des essais spéciaux.

ESSAIS SPECIAUX A INTENSITES VARIEES SUR LES PARCELLES V1 et V2 (toutes deux enherbées) DU SITE C.

N° de parcelle		V1					V2					Observations
N° d'averse	t _a	I (mm/H)	t _u (mm)	P _u (mm)	SP (mm)		I (mm/H)	t _u (mm)	P _u (mm)	SP (mm)		
					Journ.	Tot.				Journ.	Tot.	
1	très grand	30	60	30	30	30	120	15	30	30	30) successivement, une) des parcelles étant) protégée de l'arro-) sage par une bâche
2	10'	60	20	20	50	50	90	13	20	50	50	
3	10'	90	13	20	70	70	60	20	20	70	70	
4	10'	120	10	20	90	90	30	40	20	90	90	
5	36 H	60	50	50	50	140	60	50	50	50	140	
6	60 H	30	120	60	60	200	120	30	60	60	200	"
7	48 H	120	15	30	30	230	30	60	30	30	230)
8	10'	90	13	20	50	250	60	20	20	50	250	
9	10'	60	20	20	70	270	90	13	20	70	270	
10	10'	30	40	20	90	290	120	10	20	90	290	
11	10 H	60	20	20	20	310	60	20	20	20	310	
12	1 H	60	20	20	40	330	60	20	20	40	330	
13	0 H 10	60	20	20	60	350	60	20	20	60	350	
14	60 H 00	60	90	90	90	<u>440</u>	90	60	90	90	<u>440</u>	"

4. CALENDRIER DES ACTIVITES.

- 22/11 : Arrivée de J. COLLINET et J. ASSELINE à Ouagadougou (20 h 30),
- 23/11 : Prise de contact avec le personnel de l'ORSTOM impliqué dans l'opération mare d'Oursi (MM. CLAUDE, MILLEVILLE, SICOT, BERNARD, GROUZIS, ZEGANADIN, NEGUIB), exposé de quelques problèmes techniques et scientifiques sur l'utilisation du simulateur à Oursi,
- 24/11 : Trajet routier Ouagadougou-Oursi,
- 25/11 : Prospections sur différents sites expérimentaux possibles, visite de fosses pédologiques,
- 26/11 : Grand itinéraire à l'ouest et au sud-ouest de la mare (jusqu'à la station limnimétrique de Polaka, visite de fosses pédologiques,
- 27/11 : Site de Koél définitivement retenu, ouverture et description d'une nouvelle fosse pédologique, début des piquetage et nivellement des 12 couples de parcelles,
- 28/11 : Suite et fin des piquetage et nivellement des 12 couples de parcelles,
- 29/11 : Trajet routier Oursi-Ouagadougou,
- 30/11 : Mise au point des protocoles expérimentaux, dépouillement de quelques anémogrammes, début de la rédaction de ce compte rendu,
- 1/12 : Visite, avec M. GOETZ, responsable du service administratif, à la Direction des Douanes et chez le transitaire,
- 2/12 : Retour sur Abidjan (6 h 00).

TROISIEME PARTIE :

COMPTE-RENDU DE MISSION PRÉLIMINAIRE ET PROJET
DE PROGRAMME DE SIMULATIONS DE PLUIES AU NIGER

Mission du 22 janvier au 2 février 1979

P L A N

- Préambule

1. Justifications des études.
2. Cadres des études et choix des sites expérimentaux.
3. Protocoles expérimentaux.
4. Calendrier des activités durant la mission préliminaire.
5. Conclusions.

Préambule

Le premier projet de simulations de pluies (11) présenté dès le début 1978 ne prévoyait qu'une campagne en zone sahélienne de la Haute-Volta. A la suite de concertations plus récentes avec d'autres chercheurs travaillant en zone aride, il est apparu opportun de prolonger cette campagne par une mission au Niger afin d'apporter une contribution aux études hydrologiques actuellement menées dans le Niger méridional ainsi qu'aux études hydrogéologiques de la cuvette d'Agades.

L'avant-projet répondant à un nouvel appel d'offre de la D.G.R.S.T. (12) fut remis en septembre 1978, il ne développait que des propositions résultant de données scientifiques ou techniques collectées lors de notre mission de 1977 sur la mare d'Oursi. Grâce à une seconde mission effectuée récemment au Niger nous sommes en mesure de dire qu'une action complémentaire dans ce pays est scientifiquement justifiée et techniquement réalisable.

Nox développons dans cette troisième partie les actions de recherches envisagées en fonction des problèmes qui nous sont apparus sur le terrain et des préoccupations qui nous furent exposées par différents responsables scientifiques de ce pays.

3.1. Justifications des études.

Avant les reconnaissances de terrain, des contacts ont été pris auprès de Messieurs :

- GARBA, Directeur de l'Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (I.N.R.A.N.),
- BEDOU BANIAN, Directeur du Service Hydrologique du Génie Rural,
- VALET, Responsable de la section "Economie de l'eau" de l'I.N.R.A.N.,
- HOEPFFNER, Ingénieur hydrologue, Chef de la Mission ORSTOM au Niger,
- LE GOULVEN, Ingénieur hydrologue de la Mission ORSTOM.

Il est ressorti de ces concertations différentes propositions d'actions concernant :

- les zones vulnérables du point de vue érosion et ruissellement du Niger méridional (Ader Douthi),
- les problèmes de la recharge des nappes superficielles dans la cuvette d'Agades,
- des mesures sur l'hydrodynamique des sols dunaires ou des moyennes terrasses de la vallée du fleuve Niger,
- les sols de la station agronomique de l'I.N.R.A.N. à Maradi.

La mission prévue durerait environ deux mois de travail effectif sur le terrain, il ne serait donc pas possible d'effectuer avec une efficacité égale la totalité de ces études. C'est la raison pour laquelle nous avons retenu deux projets qui semblent correspondre à une première urgence et dont les travaux pourraient être menées simultanément à l'aide des deux techniques présentées en première partie. Il s'agit des opérations dans les zones vulnérables de l'Ader Douthi et dans la cuvette d'Agades. Les opérations : vallée du fleuve Niger et station agronomique de Maradi présentent des caractères de seconde urgence, elles ne seraient cependant pas définitivement abandonnées et nous développerons en conclusion une proposition pouvant servir de base à des études ultérieures.

3.1.1. Opération "Zones vulnérables de l'Ader Douthi"

Cette région a déjà été l'objet de nombreux travaux tant du point de vue "inventaire des sols" (3, 4, 5, 17) qu'en ce qui concerne des études d'écoulements et de transports solides sur différents bassins versants représentatifs (19, 33, 21, 22) ou expérimentaux (1, 2, 16) ou enfin sous la forme d'enquêtes proposant un programme de conservation des eaux et des sols (20).

Les connaissances acquises sur les effets de ruissellement et d'érosion excessifs sont déjà appréciables mais nous pensons qu'en certains domaines notre propre action pourrait apporter des informations complémentaires utiles. Cette proposition trouve sa justification sur les plans économique et scientifique.

xx Justification économique

Les études pédologiques effectuées dans cette région prouvent qu'il s'agit d'une zone à haute potentialité agricole tant en cultures sèches qu'en cultures irriguées. Des efforts importants y ont été faits depuis quelques années dans l'aménagement de périmètres cultivés (cultures d'exportations, vivrières, maraichères) alimentés en eau par différentes retenues barrant les plus importantes vallées.

Des événements récents ont malheureusement confirmé l'intérêt de mesures de conservations des eaux et des sols ; à titre d'exemple, sur la retenue d'Ibohamane, HEUSCH (20) a calculé des érosions spécifiques de 40 t/ha/an dont les origines seraient les suivantes :

- 40.000 t/an provenant de 8.000 ha de "versants caillouteux" fournissant ainsi une érosion spécifique de 5 t/ha,
 - 175.000 t/an provenant de 3.500 ha de "glacis limoneux" d'où une érosion spécifique de 50 t/ha,
 - 260.000 t/an provenant de 500 km de koris plus ou moins actifs (affouillements et sapements de berges),
- ... soit un dépôt d'environ 500.000 t qui a colmaté en partie la vallée et a de ce fait diminué de façon importante la capacité de la retenue.

Lors de la campagne hydrologique de 1975, HOEPFFNER, LE GOULVEN, GARRETA (22) ont mesuré des valeurs encore supérieures sur Ibohamane : il se serait érodé 700.000 t, soit une érosion spécifique de 60 t/ha dont environ 25 t/ha de suspensions pour un volume écoulé de 9.250.000 m³.

Sur le bassin versant de Galmi II, ces mêmes auteurs signalent des érosions spécifiques inférieures quoiqu'encore considérables : 18 à 20 t/ha avec un volume écoulé de 6.500.000 m³ pour un bassin versant de 46 km².

Qu'il s'agisse d'Ibohamane ou de Galmi, ce sont là des chiffres difficilement admissibles si l'on tient à poursuivre une mise en valeur efficace de cette région.

xx Justification scientifique

Les écoulements ou transports solides mesurés sur des bassins versants de quelques hectares (33) ou de quelques kilomètres carrés (21, 22) fournissent des indications concernant soit le versant, soit, à une plus petite échelle, le paysage. Ces deux volumes topographiques sont occupés par une mosaïque de sols dont on ne sait pas très bien quels sont ceux qui sont à l'origine des plus forts ruissellements ou des plus importantes érosions. L'observation du comportement des sols d'un bassin versant pendant une pluie exceptionnelle et une chose difficile à réaliser par un personnel déjà accaparé par les mesures à effectuer au niveau du principal exutoire. Seuls peuvent être constatés, à posteriori, des effets plus ou moins délicats à interpréter et de toutes façons impossibles à reclasser chronologiquement.

Les effectifs de données concernant ces événements exceptionnels (averse-crue) sont restreints, ce qui est heureux, mais de ce fait, leur analyse en est souvent délicate ; qu'il s'agisse par exemple de dégager les influences de tel ou tel pic d'intensité, de toute la gamme des temps de ressuyage entre des averses consécutives etc...

La simulation de pluies permet de tester le comportement de tel ou tel type de sol choisi parmi ceux qui sont les plus représentatifs d'un bassin versant ou encore qui, de par leur position, sur le versant, risque d'influencer fortement les écoulements et les érosions à l'aval. Comme cela a été précisé dans la première partie, l'imitation contrôlée des événements pluviométriques exceptionnels donne une meilleure chance de pouvoir sérier l'importance relative de facteurs qui interviennent par contre simultanément lors de précipitations naturelles.

Enfin, l'échelle de mesure (50 m² de parcelle dont 10 m de longueur de versant) correspond aux échelles des traitements préconisés contre l'érosion en nappe ; il devient alors possible de fournir des indications complémentaires sur la limite d'efficacité des banquettes de diversion.

3.1.2. Opération "Cuvette d'Agades"

Une équipe d'hydrologues de l'ORSTOM y mène actuellement une étude de bilans de nappes et d'écoulements superficiels, à cette occasion différents aspects sont abordés :

- comparaisons des débits d'entrée et de sortie de cette cuvette,
- étude de quelques bassins versants représentatifs,
- relevés de niveaux piézométriques,
- suivi de l'humidité des sols par établissement de profils hydriques à différentes périodes de l'année et en différents points de la cuvette.

Une reconnaissance pédologique récente (26) a permis de caractériser la différenciation des sols de la zone inondable. L'utilisation de l'infiltromètre à aspersion simultanément à des relevés humidimétriques peuvent fournir des précisions intéressantes sur l'hydrodynamique en surface et dans la zone aérée du sol.

Là encore les justifications de ces travaux sont d'ordre économique et scientifique.

xx Justification économique

L'agglomération d'Agades joue déjà un rôle important du fait de sa position d'"étape" entre deux zones climatiques. Il est vraisemblable que les activités minières actuelles (Arlit, Anou Araghene) ou à venir ne feront qu'augmenter son importance, d'autre part, le maraichage est en train de s'étendre dans la cuvette. Pour ces différentes raisons, les besoins en eau, satisfaits pour le moment, risquent de s'accroître de façon sensible. A titre indicatif M. BERNERT, Ingénieur du B.R.G.M., enquêtant sur les nappes alluviales de l'Air évalue la consommation actuelle à Agades à 50 m³/h auxquels il faut ajouter momentanément 60 m³/h pour les travaux routiers. Les nappes superficielles sont surtout exploitées pour l'irrigation des zones maraichères (0,3 ha irrigué par bloc d'un hectare).

xx Justification scientifique

La cuvette d'Agades est alimentée en grande partie par le kori Téloua ; en période de crue il a été constaté (communications orales de MM. HOEPFFNER et LE GOULVEN), par comparaison des débits d'entrée et de sortie, des pertes considérables de l'ordre de plusieurs dizaines de millions de mètres cubés qui doivent alimenter, vraisemblablement par un réseau de failles, les nappes profondes.

Une autre partie de cette eau recharge également les nappes plus superficielles exploitées par puits depuis la fin de la saison des pluies jusqu'en saison sèche. Ce type d'alimentation des nappes par écoulement des cours d'eau échappe à notre compétence, par contre il est sûr que cette recharge des nappes superficielles s'effectue aussi par une infiltration sans submersion, pendant la saison des pluies et nous pouvons dès lors intervenir au niveau d'une évaluation des lames d'eau stockables selon ce deuxième mode.

La reconnaissance pédologique de J. PIAS (26) précisée par une étude de détail doit permettre de sélectionner tant dans la zone inondable que sur les versants de la rive droite, des sites expérimentaux représentatifs où l'infiltromètre à aspersion pourra être utilisé de façon efficace. Les mesures infiltrométriques seront combinées à des mesures humidimétriques, si possible à la sonde à neutron, pour pouvoir suivre :

- la perméabilité des horizons superficiels; d'après les travaux antérieurs et nos observations de terrain c'est un point important à aborder; celle-ci doit être assez hétérogène pour différentes raisons qu'il faudra cerner : répartition des sols, modifications structurales des horizons de surface telles que pellicule de battance, déflation, apports éoliens, affleurement d'éléments grossiers, etc...

- la dynamique de l'eau dans le sol saturé et lors de son ressuyage afin d'évaluer les réserves hydriques de la zone aérée et pouvoir expliquer certaines irrégularité de la surface piézométrique.

3.2. Cadre des études et choix des sites expérimentaux.

Les prospections ont duré 8 jours pendant lesquels MM. HOEPFFNER et LE GOULVEN nous ont présenté les régions de Galmi, Ibohamane, Agades et Maradi. Ces reconnaissances de terrain ont permis :

- d'identifier les différenciations pédologiques mentionnées par BOCQUIER et GAVAUD (3, 4), BOCQUIER, GAVAUD et BOULET (5), GAVAUD (17) pour le Niger méridional, et enfin PIAS (26) dans la cuvette d'Agades,

- de constater l'importance des manifestations de l'érosion en liaison avec une morphogénèse actuelle ou sub-actuelle à l'échelle des régions et des paysages,

- d'évaluer sur place les possibilités techniques de mise en oeuvre des appareils et du matériel annexe en ce qui concerne plus précisément : le déplacement de l'ensemble du matériel depuis Niamey, l'accès aux différents sites expérimentaux dans les zones d'études retenues, l'alimentation en eau des appareils, les caractéristiques climatiques pour la mise au point de protocoles et aussi la vitesse du vent qui peut constituer un handicap sérieux.

En tirant profit de cette reconnaissance de terrain, nous avons été en mesure de développer les différentes raisons qui nous ont amenés à retenir définitivement les futurs sites expérimentaux.

3.2.1. "Zones vulnérables de l'Ader Doutchi"

Une prospection détaillée sur la totalité de cette région était impossible à réaliser en quelques jours, elle aurait même été inutile puisque nous devions concilier une représentativité pédologique optimale avec les meilleures conditions d'alimentation en eau. Finalement notre choix a dû se fixer entre le bassin versant d'Ibohamane et celui de Galmi.

3.2.1.1. Caractéristiques générales

L'Ader Doutchi est une région naturelle appartenant principalement à la zone climatique sahélienne (P = 400 mm/an à Ibohamane et environ 500 mm/an sur Galmi). Cette région est originale en ce sens qu'elle correspond à une limite Est des affleurements du Continental terminal et des formations Eocène sous-jacentes. Du point de vue modelé, on découvre un plateau extrêmement entaillé par un réseau dense de vallées sèches de 1 à 6 km de largeur. Ce façonnement qui aurait été actif à une période plus humide (17), a laissé actuellement un modelé de cuesta et buttes témoins avec corniches et gradins traduisant une érosion différentielle et aboutissant à un glacis de piedmont peu pentu et approximativement rectiligne. Dans les vallées les plus importantes, les dénivellations peuvent atteindre 200 m.

La différenciation séquentielle des sols est en grande partie liée à la succession des formations sédimentaires sub-horizontales que nous avons pu repérer tant à Ibohamane qu'à Galmi et que nous énumérons succinctement ici car ils constituent souvent les matériaux originels des sols (18) :

- en sommet se trouvent les formations sidérolithiques du Continental terminal (sables, argiles, dépôts oolithiques ferruginisés) qui forment la surface structurale du plateau,
- les formations Eocène sous-jacentes (environ 50 m) sont composées de schistes-cartons, argiles, calcaires et marnes exploités notamment par la Cimenterie de Malbaza,
- la série précédente repose sur des grés fins, grisâtres à joints argileux d'âge Sénonien.

Ces différentes formations peuvent être partiellement recouvertes par des apports éoliens anciens (sud) ou plus récents (nord) qui envahissent une partie des versants et ont pu, à leur tour, être mélangé avec des colluvions ou des alluvions d'anciennes terrasses.

3.2.1.2. Caractéristiques pédologiques

xx Les sols du plateau

Ils sont abondamment cultivés, occupent des superficies appréciables en limites de bassins versants et constituent un site expérimental obligatoire.

Ce profil type décrit par BOCQUIER et GAVAUD (3, 5) correspond à ce que nous avons eu l'occasion d'observer le plus souvent :

- en surface : pellicule de battance sur jachères ou zones non cultivées, voiles sableux particuliers dans les micro-dépressions des zones cultivées,
- 0/8 cm : brun-ocre, sableux, structure lamellaire fréquente (interstratifications de dépôts de différentes granulométries) parfois simplement massive, peu poreux,
- 8/24 cm : brun-rouge, sablo-argileux, massif, très cohérent, peu poreux interstitiel,
- 24/57 cm : rouge, sablo-argileux, structure fragmentaire peu nette polyédrique subanguleuse, peu cohérent, très poreux tubulaire et interstitiel,
- 57 cm : blocs de grés ferruginisés.

D'après ces auteurs, la teneur en matière organique peut être considérée comme assez élevée (0,5 à 1 % sur 25 cm), le taux de saturation oscille entre 55 et 85 % avec une capacité d'échange de 2 à 6 meq/100 g desol, le taux descend légèrement avec la profondeur.

Cette "couverture meuble" est mince et discontinue sur Ibohamane où elle alterne avec des superficies de dalles gréseuses dénudées ou encore des fragments rocheux épandus en reg ; il faut peut être voir là une importance plus grande de la déflation.

Sur la feuille à 1/100.000ème de l'Ader Doutchi (3) couvrant donc les régions de Kéfta et Ibohamane, ces sols sont classés en "sols isohumiques (steppiques) à profil saturé, tropicaux subarides, brun-rouge" et ils sont souvent associés avec des "Sols héritiers de caractères de sols ferrugineux tropicaux, lessivés". Des "Sols ferrugineux tropicaux, lessivés, sans concrétions, sur placages argilo-sableux" sont par contre exclusivement cartographiés plus au sud dans la région de Galmi. Ils y sont plus épais (150 cm), présentent des variations texturales verticales importantes avec des horizons supérieurs beiges, sableux à sablo-argileux, lessivés et un horizon d'accumulation argileux, cohérent, assez bien structuré, tacheté souvent à partir de 50 à 70 cm.

Quelques précisions s'imposent sur cette distinction "sols isohumiques" et "sols ferrugineux"; en effet il s'agit là d'une séparation importante du point de vue taxonomique qui est par contre plus délicate à mettre en évidence sur le terrain car de nombreuses convergences morphologiques peuvent exister. Les auteurs de la carte (3, 5), conscients de cette difficulté se sont accordés des critères de reconnaissance portant sur la plus ou moins forte et profonde décoloration des horizons superficiels. Ceci étant d'ailleurs mis en relation avec une atténuation de la pluviométrie en allant vers le nord, et il est dit que les sols ferrugineux différenciés sous des climats plus humides seraient actuellement des sols-reliques dans l'Ader-Doutchi.

En résumé, sur ces sols de plateau, les premiers horizons sont toujours sableux, possèdent une faible stabilité structurale, sont susceptibles de s'organiser en micro-horizons peu perméables. Les traces d'hydromorphie décelées en profondeur dans les sols ferrugineux, ont de fortes chances d'être inactuelles. Les ruissellements doivent y être importants mais les turbidités restent vraisemblablement faibles sur jachères ou sols non cultivables (reg). Si les écoulements consécutifs aux premières averses de la saison sont plus faibles sous cultures, les turbidités y sont certainement plus fortes mais du fait de la modicité des pentes, l'érosion se limite en une abrasion en nappe ; nous avons en effet souvent observé des dépôts interstratifiés en aval des zones cultivées mais presque jamais de cisaillement.

xx Les sols des versants

Pour simplifier, nous regroupons sous le terme de "versants" la succession des corniches, talus d'éboulis, buttes témoins, collines résiduelles du vieux glacis disséqué qui constituent un premier ensemble très pentu ceinturant les plateaux ; vient ensuite un glacis de piedmont de pente faible et régulière s'étendant généralement, sans ressauts importants jusqu'à la plaine alluviale.

xxx Corniches, talus d'éboulis, buttes témoins, collines résiduelles du vieux glacis disséqué

Il s'agit d'une zone de transition se prêtant mal à une expérimentation de simulation de pluies du fait de pentes excessives et de la forte hétérogénéité des matériaux. Elle constitue cependant un impluvium dont le rôle est certainement important sur la dynamique de l'ensemble du versant. On constate en effet que c'est à son niveau que se forment la quasi totalité des têtes de ravine. C'est pour ces raisons que nous résumerons succinctement les caractéristiques de leurs couvertures pédologiques en essayant de dégager une prévision de comportement.

xxxx Corniches et talus d'éboulis

Les corniches sont quasi continues sur Ibohamane, elles sont plus rares et de toutes façons moins hautes sur Galmi où prédominent surtout entre plateau et glacis de piedmont les talus d'éboulis. Corniches et talus recourent les grés ferrugineux du Continental terminal et les marno-calcaires et calcaires de l'Eocène.

Sur les grés ferrugineux de l'Ader Douchi ont été cartographiés (3) des "sols minéraux bruts, non climatiques, d'érosion, lithosoliques" (série des corniches et talus d'éboulis) traduisant la présence d'affleurement rocheux en bancs continus ou encore d'épandages de blocs et cailloux non ou très peu altérés.

Sur les formations carbonatées de l'Eocène, il s'agit encore de "sols minéraux bruts" mais la fragmentation, aidée par une dissolution chimique a été plus intense et le groupe régosolique est plus largement représenté. Les replats sont plus ou moins envahis par ces éboulis masquant ainsi la roche, se concentrant en couloirs ou encore se rejoignant en nappes vers l'aval d'où la distinction faite par les cartographes de "régosols en pavage continu et discontinu".

Dans cet ensemble morphologique, les entailles sont souvent spectaculaires (Ibohamane) cependant il est peu vraisemblable que le recul des corniches puisse encore se produire actuellement, par contre, les incisions partant des cônes de réception et dégageant tous les éléments fins sont bien actuelles et collectent certainement des ruissellements volumineux.

xxxx Collines résiduelles du glacis disséqué

Sur Ibohamane, en aval des talus d'éboulis, on découvre un système de collines à pentes dissymétriques souvent séparées par des extensions en doigts de gants du glacis de piedmont. Ces collines représenteraient (3) les témoins d'un ancien glacis intensément disséqué en période plus humide. Elles sont occupées par des alternances de matériaux meubles et des pavages d'éléments grossiers. Voici, par exemple, un profil rapidement levé sur Ibohamane :

- sur les deux premiers centimètres on découvre des interstratifications limono-sableuses scellées en surface par une pellicule de battance continue,
- 2/15 cm : brun-vif, sablo-argileux, paraissant "en place", structure massive à débit polyédrique moyen, poreux, tubulaire,
- à partir de 15-20 cm : niveau d'éléments grossiers, blocs, cailloux légèrement émoussés de grés, calcaires, argilites emballés dans le même matériau que précédemment.

A quelques mètres de là, les éléments grossiers affleurent. On constate donc au niveau de ces collines une maturation des dépôts qui était peu visible plus en amont. Ceci explique l'adjonction aux unités cartographiques précédentes de "sols peu évolués, non climatiques, d'apport".

Sur Galmi, ces collines sont plutôt remplacées par des ondulations de terrain qui couvrent d'autre part des superficies moins importantes qu'à Ibohamane ; les éléments argileux et calcaires sont plus nombreux d'où des tendances d'évolution vers les sols calcimagnésiques dont les matériaux meubles sont nettement agrégés en mottes anguleuses très cohérentes à l'état sec.

xxx Glacis de piedmont

Les limites amont de ce glacis sont généralement faciles à identifier, elles correspondent à une rupture de pente nette avec le segment topographique précédent. Sa pente longitudinale est faible et régulière, il est entaillé par un réseau de ravines sinueuses, entre celles-ci les profils en travers sont souvent légèrement convexes.

C'est au niveau de ce segment que les différences entre les deux sites prospectés se manifestent le plus : sur Ibohamane il n'occupe qu'un tiers de la séquence, les sols y sont peu différenciés, les éolisations actuelles sont plus fréquentes, sur Galmi ce segment couvre la moitié de la séquence en effet, comme nous venons de le voir, les épandages amont sont moins importants et laissent affleurer des roches différentes d'où un plus grand nombre de types de sols, enfin les éolisations actuelles semblent plus rares. Cette distinction entre deux types de glacis correspond à peu près à la vallée de Kéita. Voyons un peu plus en détail les contenus sols de ces deux types.

Au nord (Ibohamane), les glacis de piedmont sont occupés par des sols sableux à sablo-argileux, rouge-jaunâtre parfois tachés dès le haut des profils, parfois concrétionnés vers 100, 150 cm. Voici un exemple de sol du pôle sableux observé dans une tranchée de la zone nord :

- sur les 3, 3 premiers centimètres : traces de déflation creusant en gouttières parallèles d'anciennes pellicules de battance ou d'anciens dépôts colluviaux,
- 3/18 ou 25 cm : interstratifications de matériaux sableux et limoneux tantôt colluviaux, tantôt décantés, reliquats de pellicules de battance enterrées, l'ensemble étant massif et lamellaire, cohésion hétérogène de tendance moyenne, porosité vésiculaire souvent à alignement horizontal,
- 25/85 cm : rouge jaunâtre taché plus clair, taches à limites nettes peu contrastées, massif à débit polyédrique sub-anguleux moyen, cohésion moyenne, peu poreux tubulaire, enracinement fin jusqu'à 50 cm,
- 85/200 cm : rouge jaunâtre taché plus brun, taches contrastées à limites nettes, étendues, plus cohérentes vers 120 cm, sableux, massif, peu cohérent, toujours poreux.

Vers l'amont, donc à proximité des collines du glacis disséqué, on trouve, plaqués sur les épandages de ces collines, des sols plus sombres, plus argileux, avec développement d'une structure parfois assez nette et d'une cohésion plus forte.

La combinaison des caractères morphologiques et des données analytiques a permis de classer ces sols (3) en "Isohumiques, à profil saturé, tropicaux subarides, brun-rouge", soit "à marbrures sur dépôts sableux anciens remaniés par le vent - ce qui correspondrait au profil décrit - soit "à concrétions sur dépôts de remplissages anciens des vallées".

BOCQUIER et GAVAUD (3, 4, 5) signalent différentes variations associées à ces deux unités taxonomiques. En résumé, différents sols peuvent avoir subi une influence plus marquée du substratum, si celui-ci est marneux des caractères vertiques apparaîtront on trouvera par contre des sols peu évolués d'érosion sur grès ou calcaires. Sur Ibohamane nous n'avons pas vu ces variantes, il semble que leur répartition soit aléatoire.

A titre d'information (3,5), les sols isohumiques sableux contiennent souvent moins de 10 % d'argile + limon. Leur teneur en matière organique est très faible dès la surface (0,2 %), elle s'incorpore sans modification appréciable de taux jusqu'à 80, 100 cm. Les réactions sont neutres en surface puis légèrement acides en profondeur, le complexe absorbant est presque saturé avec une somme des bases échangeables voisine de 2 à 4 meq/100 g. de sol. La stabilité structurale est franchement mauvaise. Les sols plus argileux contiennent jusqu'à 25 % d'argile et 10 % de limon. On y trouve un peu plus de matière organique que précédemment (0,5 %) mais sa répartition est moins isohumique puisqu'en moyenne il n'en existe plus que 0,1 à 0,2 % vers 50 cm. Le complexe absorbant reste saturé. La stabilité structurale est meilleure.

Au sud, dans la région de Galmi, les différenciations pédologiques sont plus affirmées et la répartition des sols nous a paru plus séquentielle qu'aléatoire. C'est qu'à la partie amont du glacis existe de façon assez continue une bande de sols vertiques de quelques centaines de mètres de largeur. Au contact des éboulis gréseux amont, on découvre, sur quelques dizaines de mètres, des sols graveleux et caillouteux (calcaires) dans lesquels la matrice argileuse meuble très nettement structurée prend de plus en plus d'importance vers l'aval.

La séquence typique de ce glacis de piedmont se présente de la façon suivante (de l'amont vers l'aval) :

- Sols peu évolués, non climatiques, d'érosion, régosoliques, sur marnes et calcaires à joints ou bancs argileux de l'Eocène (quelque 10 m) : cailloutis calcaire avec très peu de matrice meuble,
- Sols calcimagnésiques, carbonatés, rendziniformes, voisinant avec des sols bruns calcaires, modaux ou vertiques, (quelques dizaines de mètres) : augmentation de la matrice argilo-limoneuse meuble, extrêmement structurée, polyédrique fine et moyenne en surface, à tendance cubique fine à moyenne en dessous, les lissages typiquement vertiques sont encore peu convaincants,
- Vertisols, lithomorphes, à structure anguleuse développée en surface (carrefour de Malbaza) voisinant avec, ce que dans l'état actuel de nos prospections, on peut classer comme Sols bruns vertiques dont voici un relevé effectué rapidement sur un affouillement de ravine :
 - sur 0,5 à 1 cm : voile de sables déliés, discontinu,
 - 1/10 à 15 cm : brun foncé, argilo-limoneux, structure fragmentaire très nette, polyédrique sub-anguleuse moyenne et fine, cohérent, forte porosité d'assemblage,
 - 15/70 cm : brun jaunâtre, argilo-limoneux, structure fragmentaire nette, polyédrique grossière, fissures, très cohérent,
 - 70/100 cm : brun jaunâtre, quelques nodules blanchâtres, argilo-limoneux, structure fragmentaire peu nette, polyédrique à cubique grossière, fissurations verticales et obliques.

La limite avec les sols brun subarides sableux occupant le même segment topographique est nette. Elle se présente sous la forme d'un recouvrement avec terminaison en biseau des sols subarides par les sols vertiques, ce qui est une preuve des possibilités du colluvionnement récent d'un matériau sur l'autre.

- on passe donc ensuite à des sols bruns subaride, surtout sableux qui rappellent ceux qui furent identifiés plus au nord. Ils sont cartographiés ici (3, 5) au niveau de la famille, comme issus de "remaniements éoliens des alluvions sableuses anciennes de la vallée de l'Ader Douthi". Il semble raisonnable d'ajouter qu'il est possible qu'interviennnent aussi l'influence plus directe de la roche mère qui, sur Galmi, est un grès fin, grisâtre, assez peu consolidé. Ces grès affleurent aux tiers inférieurs des versants dans le fond des ravines, ils sont également visibles sur les tranchées de la route séparant les bassins versants de Galmi I et II.

Les sols à caractères vertiques et les authentiques vertisols contiennent (5) 50 à 60 % d'argile + limon. Leur taux de matière organique avoisine 1 % en surface dont la répartition est isohumique (encore 0,9 % en profondeur). Ces sols sont saturés en bases échangeables, la réaction avoisine la neutralité. Leur stabilité structurale est moyenne, celle-ci dépendrait surtout des colloïdes minéraux. Les réserves en eau utilisable par les végétaux oscille fréquemment entre 100 et 150 mm pour une humidité de 250 à 450 mm à la capacité au champ.

La prévision du comportement des sols de ce glacis de piedmont est malaisée si l'on s'en tient aux observations des modifications de la surface du sol, en effet les ravines entaillant cette portion de versant proviennent déjà de l'amont. Les sols argileux vertiques sur calcaires Eocène semblent contribuer à augmenter le réseau de ravines, par contre sur les sols bruns subarides sableux, ce réseau ne paraît pas se densifier d'avantage, il s'agirait plutôt d'une zone de transfert des écoulements et érosions excessifs provenant de l'amont.

Des précisions complémentaires peuvent être fournies par une étude que G. VUILLAUME a menée sur différents bassins versants représentatifs de Kounkouzout (33). Le bassin que cet auteur dénomme F2 (4,7 ha, indice de pente global 12,7 %, 25 % de culture) pourrait présenter des réactions rappelant celles des amonts de glacis de Galmi du fait d'une prépondérance de sols argilo-limoneux à caractères vertiques plus ou moins affirmés. Pour des averse de probabilité décennale, les lames ruisselées se classent parmi les plus volumineuses (50 mm), son érosion spécifique est élevée (4,5 t/ha) et celle-ci est due à la conjonction de turbidités moyennes (5 g/l) et de débits spécifiques importants (environ 30 m³/sec./km²). Le bassin versant F6 (9,1 ha, indice de pente global 1,05 %, entièrement cultivé) contient une majorité de sols présentant une analogie avec ceux de la partie aval du glacis de Galmi : la lame ruissellée de probabilité décennale atteint ici 35 mm et il lui correspond une érosion spécifique faible (0,1 t/ha), ce qui s'explique par des débits spécifiques faibles (19 m³/sec/km²) malgré des turbidités fortes (8,2 g/l). On retiendra que ces résultats corroborent tant soit peu les prévisions de comportement précédentes : sols argilo-limoneux vertiques réagissant en tant que zone de départ caractérisée par une érodibilité notoire et un ruissellement important et sols brun subarides, sableux se comportant plus comme une zone de transition. Mais une telle comparaison, basée sur des comportements de bassins de quelques hectares, est délicate du fait du manque de spécificité des paramètres (plusieurs types de sols, couverts végétaux différents, pentes différentes, échelles de mesure différentes).

3.2.1.3. Choix des sites expérimentaux

Celui-ci est guidé par des impératifs techniques et scientifiques. Du point de vue des possibilités techniques d'utilisation du simulateur de pluies nous retenons le site de Galmi pour les raisons suivantes :

- facilité d'accès par une route goudronnée (500 km de Niamey) traversant, en plus, les deux bassins de Galmi,
- relative facilité de l'alimentation en eau avec les possibilités suivantes :
 - + sur la Cimenterie de Malbaza (30 km) qui dispose d'un sondage débitant 56 m³/h mais où il faudrait installer une réserve sur place car la prise d'eau ne débite pas suffisamment pour une rotation rapide du camion citerne,
 - + sur l'agglomération de Madahoua où Monsieur le Sous-Préfet, sur les conseils du chef de section de la N.I.G.E.L.E.C. nous a promis des possibilités d'approvisionnement (château d'eau de 500 m³ alimenté par une pompe de 20 m³/h et remplissage direct du camion citerne sur une prise d'eau débitant suffisamment), cette localité est à 22 km des sites expérimentaux,
 - + sur la C.F.D.T. de Madahoua (24 km) où le Directeur de cette Société pourrait également nous fournir de l'eau sous la condition que des mesures de débit soient faites sur un puits (eau à 13 m) qui suffit actuellement à approvisionner l'usine et à maintenir une réserve d'incendie.

Sur Ibohmane une certaine partie de l'accès est difficile (piste en terre et côtes assez fortes), mais c'est surtout au niveau de l'alimentation en eau que les problèmes se posent. La retenue d'Ibohmane est actuellement à sec à la suite de la rupture du barrage, sa reconstruction est prévue pour cette année, l'ampleur des travaux est cependant telle qu'il nous est difficile de retenir ce site sur cette seule prévision. Il resterait la possibilité d'une alimentation en eau sur Kéita (25km) mais les navettes du camion citerne se feraient sur une mauvaise piste.

En ce qui concerne les impératifs scientifiques, nous retenons également le site de Galmi pour les raisons suivantes :

- les sols que nous y avons trouvés sont caractéristiques de la zone vulnérable de l'Ader Douthi,
- leur utilisation (cultures de mil, sorgho, coton) et leur comportement (infiltrabilité, érodibilité) sont également représentatifs,

- on y a trouvé sur un versant court, un nombre maximum de différenciations pédologiques ; sur Ibohamane, comme nous le précisions précédemment, le segment pédologique des sols bruns subarides vertiques manque du fait d'un recouvrement par des colluvions anciennes, d'autre part les sols ferrugineux lessivés (ou isohumiques) de plateau y sont d'un accès difficile sinon impossible,
- du fait de sa superficie, le bassin versant de Galmi II (45 km²), est d'une étude plus commode et l'effectif des données collectées jusqu'alors y est sensiblement plus important ; l'intégration de données complémentaires provenant de la campagne de simulation de pluies risque ainsi d'être plus aisée.

Sur ce bassin de Galmi II, nous proposons de traiter plus précisément trois sites expérimentaux correspondant :

- aux sols des plateaux (Sols ferrugineux, tropicaux, lessivés, sans concrétions, sur placages colluviaux argilo-sableux),
- aux sols de la partie amont des glacis de piedmont (Vertisols, lithomorphes, à structure développée dès la surface... ou encore Sols isohumiques, bruns, subarides, vertiques),
- aux sols de la partie médiane et aval du glacis de piedmont (Sols isohumiques, à profil saturé, tropicaux subarides, brun-rouge... et vraisemblablement.. à marbrures, sur dépôts anciens remaniés par le vent.

3.2.2. "Cuvette d'Agades"

La cuvette a été rapidement prospectée et nous avons également tiré profit des résultats de la reconnaissance pédologique effectuée par J. PIAS (26) en 1978.

3.2.2.1. Caractéristiques morphologiques, pédologiques et choix des sites expérimentaux

La cuvette d'Agades correspond à une zone inondable d'environ 70 km², elle est traversée par le kori Téloua dont le lit, unique jusqu'au niveau d'Agades, se partage ensuite en de multiples bras dont les divagations sont liées à l'importance des crues et à la répartition des délaissés alluviaux des crues précédentes.

Dans cette cuvette parviennent également en rive droite (nord-nord-ouest) différents affluents dont les bassins versants s'étendent en limite de formations sédimentaires et cristallines. Ces bassins versants drainent ainsi soit des sols issus de granites et des gneiss migmatitisés du massif de l'Aïr soit des sols situés à l'aplomb de formations gréseuses du Continental intermédiaire (grès d'Agades du Jurassique). Les deux stations de jaugeage amont (Azal) et aval, délimitent ainsi un grand bassin d'environ 200 km² dans lequel la cuvette est déjetée en limite sud-sud-est.

Deux zones d'intervention nous semblent plus intéressantes :

- celle occupée par les sols de la cuvette inondable,
- celle des versants de la rive droite.

xx Les sols de la cuvette

Son modelé est assez complexe dans le détail. On y découvre une juxtaposition d'étendues planes (divagation de bras temporaires) ou nettement convexes envahis par des alluvions plus grossières (anciens bras). A proximité des rives franches des principaux bras actuels du kori Téloua s'accumulent des dunes vives de 5 à 10 m de hauteur probablement arrêtées par les galeries arbustives et arborées délimitant surtout les rives gauches (influence des vents dominants).

Pour reprendre les termes de J. PIAS cette cuvette fonctionne comme une "cuvette de décanation" ce qui explique en grande partie la répartition des sols. Vers l'amont prédomine les matériaux sableux ou encore plus grossiers, relativement homogènes. Vers l'aval se déposent des éléments plus fins en interstratifications limoneuses et argileuses dont les dépôts sont fonctions des limites d'extension des crues, ces derniers sols sont particulièrement hétérogènes tant du point de vue de la succession verticale des horizons qu'en ce qui concerne la variabilité latérale des pédons.

Nous avons visité les différents fosses ouvertes pour la prospection de J. PIAS et pensons retenir les situations suivantes :

xxx Premier site expérimental - il sera implanté sur la transversale n° 1 c'est à dire en aval de la cuvette où prédominent des sols limono-argileux contenant encore assez peu d'interstratifications sableuses, ces sols sont le plus souvent peu perméables.

Exemple : fosse n° 4 -

- 0/8 cm : interstratifications sableuses ou limoneuses non ou peu poreuses,
- 8/35 cm : argilo-sableux peu perméable,
- 35/160 cm : limono-argileux peu perméable.

Les problèmes à y résoudre semblent relativement classiques : dynamique de l'eau à dominante verticale en milieu peu perméable.

xxx Deuxième site expérimental - il peut être prévu en un point de la transversale n° 2. Il y prédomine des sols très hétérogènes du point de vue de la répartition texturale, des organisations structurales, tassements, cohésions.

Exemple : fosse n° 7 -

- 0/10 à 12 cm : interstratifications argilo-limoneuses et sableuses,
- 10 à 12/40 cm : sableux à sablo-argileux, particulaire et massif,
- 40/115 cm : argilo-sableux grossier, massif, très poreux tubulaire, quelques graviers de quartz.

Ce profil est poreux et peu perméable entre 12 et 40 cm. Les problèmes qu'il soulève sont plus complexes que précédemment : il existe une dynamique à composante latérale très importante du fait des différences verticales de perméabilité. Les données obtenues sur 1 m² seront donc difficilement transposables à une plus vaste superficie sauf si dès le départ l'on prévoit un nombre de répétitions plus important que sur les autres sites afin de pouvoir mettre en évidence les effets de dynamiques à dominante verticale et à dominante latérale. Pour ces raisons nous pensons qu'un choix va s'imposer entre des essais sur ce deuxième site ou des essais sur le quatrième site qui sera présenté ultérieurement.

xxx Un troisième site expérimental est à retenir sur les sols caractérisant la transversale amont n° 4. On y découvre les matériaux les plus sableux qu'un examen morphologique rapide permet de qualifier de perméable jusqu'aux grés altérés c'est à dire en moyenne, jusqu'à 120, 150 cm. Le profil n° 14 situé presque dans l'axe de la cuvette est assez caractéristique de cette zone amont :

- 0/5 cm : dépôts éoliens de sables fins,
- 5/65 cm : sableux grossiers et lits de graviers,
- 65/100 cm : sableux, plus argileux, quelques graviers, plus cohérent, moins poreux intersticiel,
- 100/130 cm : sableux, graveleux, un peu caillouteux, peu cohérent, très poreux,
- 130/150 cm : grés ferrugineux altérés puis dalle peu fissurée localement.

La dynamique de l'eau jusqu'à 100, 130 cm doit être à composante verticale avec des anomalies difficiles à détecter morphologiquement, dues à des différences granulométriques ou de tassement.

La variabilité qui se manifeste entre ces trois types de site au niveau de la différenciation verticale des horizons se complique encore, pour un site donné, par de multiples modifications de l'organisation structurale de la surface du sol. Comme ces organisations superficielles jouent un grand rôle sur l'infiltrabilité, il faudra prévoir 2 à 3 répétitions (installation de 2 à 3 cadres infiltrométriques supplémentaires) pour pouvoir tester également le comportement des sols :

- à dépôts éoliens de surface,
- à pellicule de battance, éventuellement remaniée par la déflation,
- surmontés par une croûte de décantation,
- colonisés par des graminées,
- à épandage d'éléments plus grossiers etc....

Un choix est évidemment obligatoire, il sera guidé par le critère de représentativité maximale.

xx Les sols des bassins versants de la rive droite

Il est également important de pouvoir évaluer la dynamique de l'eau sur les sols des bassins versants de la rive droite qui ruissellent beaucoup (communication orale), il sera en outre intéressant de pouvoir comparer le comportement de sols développés sur roches de la famille du granite et sur grés.

Les trois zones que nous avons visitées se présentent comme un reg de cailloux roulés ou au moins fortement émoussés de 20 à 45 mm de diamètre. Vers la station de jaugeage aval, le modelé est plat et sur grés nous avons relevé le profil suivant à quelque cinquante mètres d'un bras principal du kori Téloua :

- pavage monoélémentaire de galets de quartz et de granite de 20 à 40 mm de diamètre posés et non engagés dans le matériau meuble sous-jacent,
- 0/10 cm : sableux grossier, particulaire,
- 10 à 15 cm : dalle de grés-quartzitrose, compacte, peu altérée, semblant localement peu fissurée.

En se rendant vers la station d'Agassaghas on parcourt un paysage à interfluves convexes de 200 à 300 m d'extension latérale et de 15 à 20 m de dénivelée, en première approximation identiques sur granite et sur grés. Le reg envahit toutes ces formes ne s'interrompant qu'à l'occasion d'affleurements gréseux occupant généralement le quart inférieur des versants, ou des chaos granitiques de localisation plus aléatoire.

xxx Sur grés, à proximité d'un sommet d'ondulation on a rapidement levé le profil suivant :

- affleurement de graviers et cailloux émoussés de quartz, granite, gneiss, grés-quartzite à patine noirâtre, de 30 à 50 mm de diamètre, à moitié engagés dans le matériau meuble sous-jacent,
- 0/25 cm : sablo-graveleux et caillouteux (40 % des mêmes éléments qu'à l'affleurement) rouge jaunâtre, massif, peu cohérent, poreux,
- 25 à 35 cm : grés grossiers roses friables.

Ces sols se sont formés par simple désagrégation de grés quartzeux, l'altération de leur ciment n'apparaît pas.

xxx Sur granite, à proximité du campement d'Agassaghas, on décèle des manifestations plus nettes de pédoplasmatation :

- affleurement des mêmes éléments grossiers que précédemment, patine noire, à moitié engagés dans le matériau meuble sous-jacent,
- 0/35 cm : brun rougeâtre, 35 à 45 % d'éléments grossiers (graviers et cailloux de même nature), matrice meuble sablo-argileuse, massive, peu cohérente, poreuse intersticielle,
- 35/70 cm : rouge, toujours aussi graveleux mais nettement moins caillouteux, adjonction de fragments de feldspath altérés, sablo-argileux cependant légèrement plus argileux, massif, cohérent, peu poreux.

Une prospection plus détaillée sera nécessaire pour pouvoir apprécier la représentativité des profils précédents, ces deux types de sols constitueront :

- un quatrième site expérimental sur grés,
- un cinquième site expérimental sur granite ou roche de la même famille.

Comme nous en avons déjà fait la remarque, les délais de la campagne ne nous permettront de ne traiter vraisemblablement que quatre sites expérimentaux ; si une élimination doit se faire entre les sites 4 et 5, nous retiendrions plutôt le cinquième site sur granite qui constitue vraisemblablement le substratum du bassin versant le plus vaste de la rive droite.

Signalons enfin qu'il n'y a aucun problème d'alimentation en eau de l'infiltromètre, plusieurs sondages à fort débit existent soit à Agades soit au nord-ouest au niveau de deux bassins construits par une Société de Travaux Publics.

3.3. Protocoles expérimentaux.

3.3.1. Sur le bassin versant de Galmi II (cf. figure n° 8)

- Caractéristiques des sites (résumé)

Site n° 1 : en position de plateau, sols sableux, ferrugineux lessivés, tropicaux, directement accessibles par la route,

Site n° 2 : à l'amont du glacis de piedmont, sols argileux, vraisemblablement isohumiques, bruns subarides, vertiques, facilement accessibles par une ancienne piste,

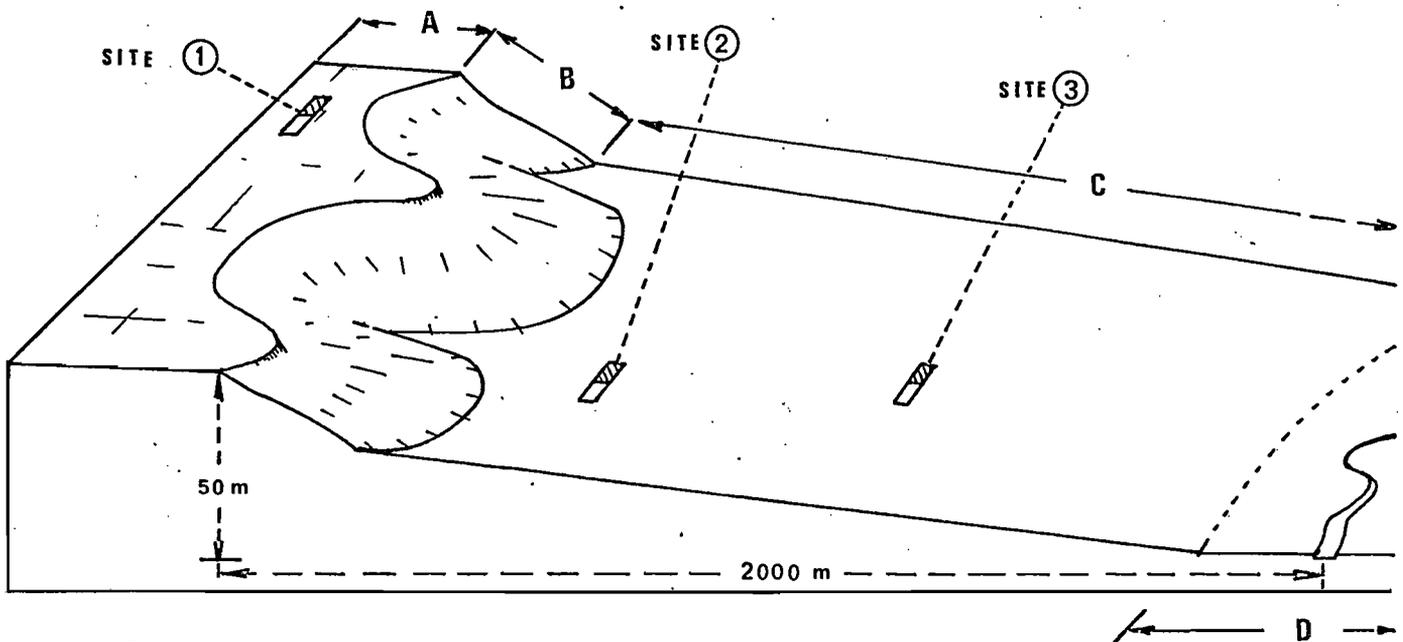
Site n° 3 : au milieu du glacis de piedmont, sols sableux puis sablo-argileux, isohumiques, brun-rouge, à marbrures, facilement accessibles par la même piste.

Le tableau récapitulatif des essais n'a pas encore été établi car cela nécessite une concertation avec d'autres membres de l'équipe. Nous sommes cependant en mesure d'indiquer que le protocole sera élaboré sur le même principe que celui qui a été retenu pour Oursi (cf. deuxième partie), c'est à dire qu'une grande importance sera accordée aux différences d'intensité, aux temps de ressuyage et à la situation "couvert végétal-sol". Etant donnée l'extension des zones cultivées et l'impact que celles-ci ont sur le comportement des versants, nous retenons le principe de traiter simultanément les sols non cultivés (ou en jachère depuis plus de deux ans) et les mêmes sols cultivés l'année précédente.

Les prospections préliminaires nous ont déjà permis de repérer 3 zones de sols et pentes homogènes où alternent jachères de longues date et cultures. Sur celles-ci nous aménagerons :

- 2 couples de parcelles sur sol non cultivé, ce qui revient à délimiter 2 blocs de 10 x 13 m — situation A,
- 2 couples de parcelles sur sols cultivés — situation B.

SEQUENCE DE GALMI
(diagramme théorique)



A : Plateau- Sols sableux, ferrugineux tropicaux lessivés.

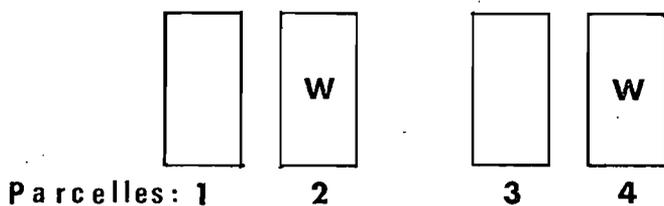
B : Talus d'éboulis, rares corniches, ancien glacis disséqué- Sols minéraux bruts, peu évolués, calcimagnésiques.

C : Glacis de piedmont- Sols calcimagnésiques, bruns vertiques argilo-limoneux, vertisols, bruns sub-arides à tachés, sableux.

D : Plaine alluviale- Sols argileux et sableux, peu évolués d'apport, rares vertisols.

DISPOSITION DES COUPLES DE PARCELLES SUR UN SITE EXPERIMENTAL

Situation: Jachère (A)

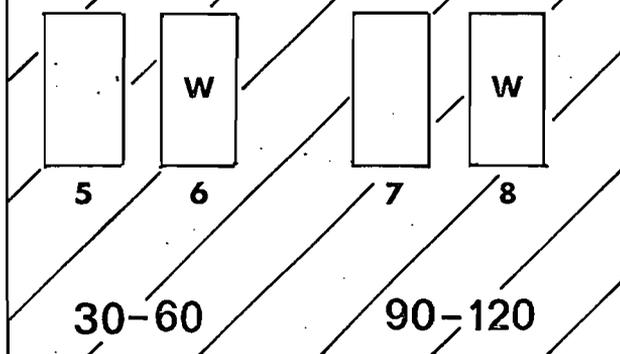


Intensités des Averses (mm/h)

30-60

90-120

Culture (B)



30-60

90-120

W: Parcelles labourées, planées, griffées, selon les normes WISCHMEIER.

Fig:

En "A" nous disposerons donc de 4 parcelles de 10 x 5 m regroupées deux par deux : parcelles 1 - 2 - 3 - 4. Les parcelles 1 et 3 resteront non remaniées. Les parcelles 2 et 4 seront labourées selon les normes de WISCHMEIER (34, 35) pour pouvoir dégager une érodibilité maximale.

En "B", se succèderont de la même façon les parcelles 5 - 6 - 7 - 8 également regroupées deux par deux. Les parcelles 5 et 7 restant non remaniées c'est à dire qu'elles se présenteront à l'époque des essais sous la forme de billons plus ou moins effondrés et très légèrement couvert par des chaumes de mil encore enracinés. Les parcelles 6 et 7 seront labourées selon les normes de WISCHMEIER.

La répartition des averses est prévue de la façon suivante :

- alternativement 30 et 60 mm/h sur les parcelles : 1 - 2 - 5 - 6,
- alternativement 90 et 120 mm/h sur les parcelles : 3 - 4 - 7 - 8.

La recherche d'une gamme de temps d'arrêt suffisamment large s'obtiendra aisément par déplacements du simulateur monté sur les différents couples de parcelles. On aboutira vraisemblablement à la fourchette : 0 h 10 — 150 h, exception faite des premières pluies qui tombent évidemment sur des sols ressuyés depuis 4 ou 5 mois.

Il est également prévu de tester le comportement de sols soumis à 2 ou 3 autres traitements culturaux visant à favoriser l'infiltration et à limiter l'érosion. Ces traitements ne seront retenus qu'après une enquête auprès du paysannat de la région, (il pourra s'agir par exemple de buttes cloisonnées, de labour paillé etc...).

En ce qui concerne les caractéristiques des averses simulées, nous nous inspirerons des études de BRUNET-MORET (6) ainsi que des recherches effectuées par HEUSCH (20) et nous retiendrons comme données de base les caractéristiques pluviométriques des averses de probabilité décennale, solution réaliste répondant bien aux problèmes à traiter. La hauteur journalière de probabilité décennale atteint, dans la région de Galmi, 100 mm, cette hauteur se répartit dans les intensités-durées suivantes :

- 150 minutes à 30 mm/h soit une hauteur maximale de 75 mm
- 60 minutes à 60 mm/h soit une hauteur maximale de 60 mm
- 25 minutes à 90 mm/h soit une hauteur maximale de 37,5 mm
- 15 minutes à 120 mm/h soit une hauteur maximale de 30 mm

A titre indicatif la hauteur de probabilité annuelle atteint 55 mm, la moyenne interannuelle est d'environ 520 mm, la moyenne de fréquence décennale sèche serait de 355 mm, celle de fréquence décennale humide atteindrait 680 mm.

Les analyses du ruissellement ont montré (13, 23, 24, 25) la nécessité d'avoir des temps utiles suffisamment long pour observer le développement normal des différentes phases du ruissellement et notamment les paliers de l'infiltration. Des durées minimales de 20 minutes sur sol très humides et 45 minutes sur sol très sec constituent un bon ordre de grandeur.

En fonction, de ces différentes indications, la durée des essais sur un site ne devrait pas excéder une vingtaine de jours. La campagne de Galmi durerait, sans incidents techniques, une soixantaine de journées pleines. Restent évidemment les délais de route, formalités administratives, installation du premier site à traiter et du campement ce qui semble réalisable en une quinzaine de jours d'où les deux mois et demi de durée réelle de la mission au Niger.

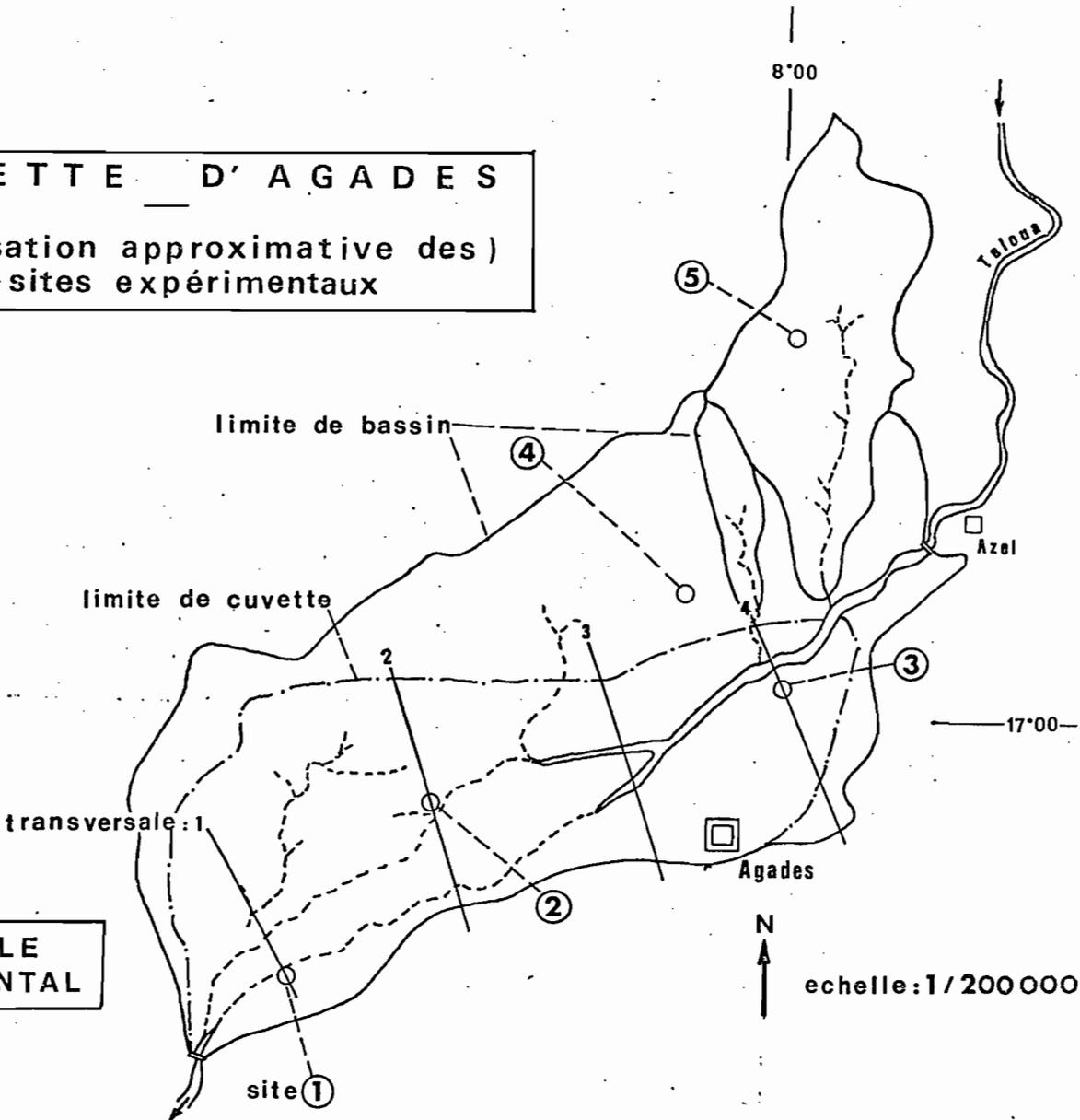
3.3.2. Sur la cuvette d'Agades (cf. figure n° 9)

- Caractéristique des sites (résumé)

- Site n° 1 : dans la cuvette, au niveau de la transversale aval n° 1 (26), sols alluviaux de texture fine, relativement homogènes, vraisemblablement peu perméables, facilement accessible,
- Site n° 2 : dans la cuvette, au niveau de la transversale moyen aval n° 2, sols alluviaux de texture hétérogène, à drainage complexe, facilement accessible,
- Site n° 3 : dans la cuvette, au niveau de la transversale amont n° 4, sols alluviaux de texture grossière, perméables sur environ 1 m, altérites au-delà, facilement accessible,
- Site n° 4 : sur les bassins versants de la rive droite, sols sablo-graveleux et caillouteux sur grés (reg), facilement accessible,
- Site n° 5 : sur les bassins versants de la rive droite, sols sablo-argileux graveleux et caillouteux sur arène granitique, plus profond que précédemment, facilement accessible.

Un site expérimental comportera 3 cadres infiltrométriques et installations annexes disposés probablement à quelques dizaines de mètres les uns des autres en effet, sur chaque site, auront lieu au moins trois répétitions pour pouvoir caractériser les différents états de la surface du sol. L'infiltromètre se déplaçant successivement sur ces différentes parcelles, on évalue à environ trois journées le temps nécessaire pour effectuer les essais sur un type de sol et un type d'état de surface donnés. Il faut donc compter, par site expérimental environ 10 à 12 journées de travail en tenant

CUVETTE D' AGADES
 (localisation approximative des) sites expérimentaux



PROTOCOLE EXPERIMENTAL

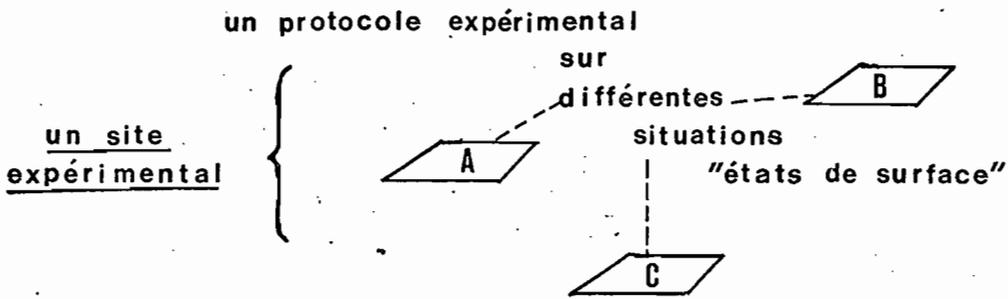
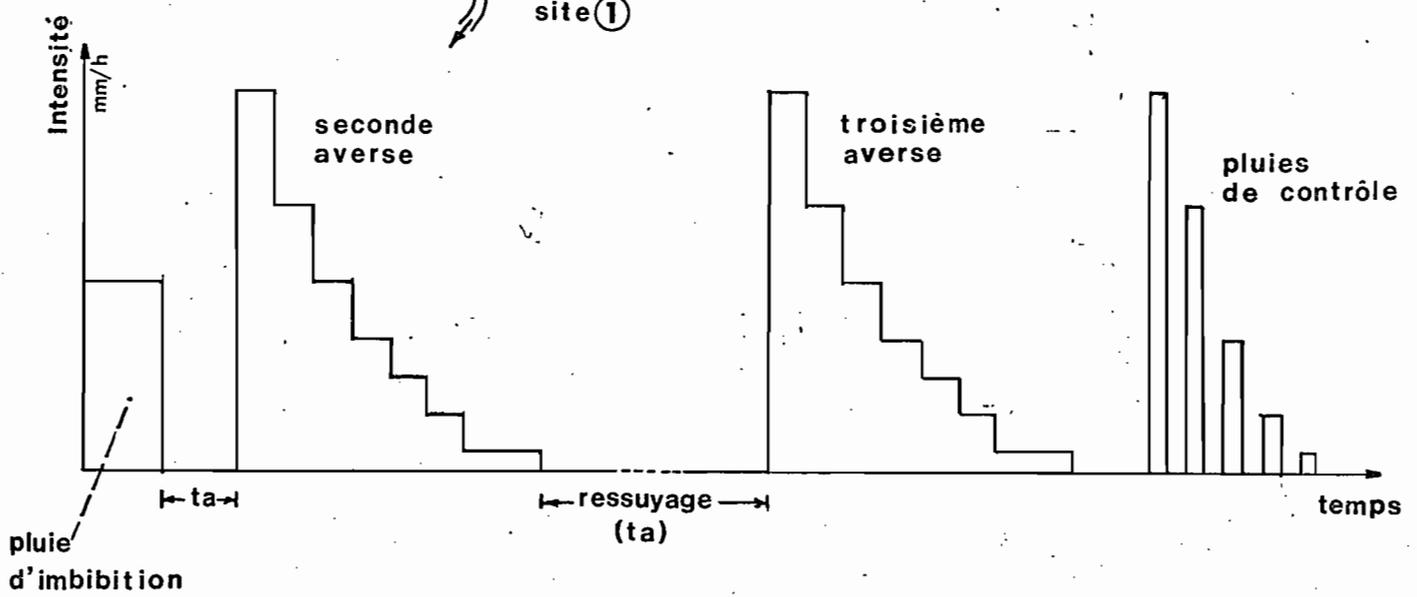


Fig: *

* d'après des documents cartographiques de la Mission ORSTOM de Niamey

compte des temps de montage, démontage, transfert des installations, et aussi des multiples déterminations annexes (profils hydriques et différents tests de physique du sol.

La campagne sur Agades durerait ainsi, sauf incidents techniques, entre 40 et 50 jours de travail effectif sur le terrain.

Lors d'un essai sur un cadre infiltrométrique, la séquence d'averses simulées se présente de la façon suivante :

- une première pluie généralement à intensité constante, servant à imbiber le sol,
- 2 autres averses à intensités variables et vraisemblablement décroissantes,
- 1 vérification du bon réglage de l'appareil sur bac pluviométrique.

Les trois averses sont séparées par des laps de temps de ressuyage variables non encore établis (concertations nécessaires), ils seront assez courts entre les averses n° 1 et n° 2 et plus long entre les averses n° 2 et 3.

Les temps utiles de chaque intensité ne seront fixés que pendant les essais, ils resteront cependant dans les limites de hauteurs de précipitations réalistes. Comme dans le cas du grand simulateur on prend pour données de base les événements pluviométriques de probabilité décennale. Nous rappelons que le but à atteindre est l'obtention d'un palier du ruissellement (R_x) pour chaque intensité d'averse simulée, ce qui permet de déduire immédiatement l'intensité minimale de l'infiltration (F_n) pour une situation donnée.

3.4. Calendrier des activités durant la mission préliminaire.

- 22/01 : Arrivée de MM. COLLINET et ASSELINE à Niamey (vers 12 h). Prise de contact et premières concertations avec MM. HOEPPFNER et LE GOULVEN.
- 23/01 : Présentation du projet à MM. GARBA Directeur de l'I.N.R.A.N. et VALET Responsable de la section "Economie de l'eau" de l'I.N.R.A.N. Visite à la station AGR.HY.MET de l'O.M.M. Bibliographie à la Mission ORSTOM. Préparation de la tournée du lendemain.
- 24/01 : Départ avec MM. HOEPPFNER et LE GOULVEN sur le bassin versant de Galmi. Route Niamey-Dosso-Dogondoutchi-Birni Nkoni. Etape du soir à Malbaza.
- 25/01 : Première reconnaissance du bassin versant de Galmi par la visite d'une séquence représentative sur la partie moyen-amont du bassin. Départ sur le bassin versant d'Ibohamane par la route Malbaza-Badéguichéri-Tahoua-Kéïta. Etape du soir sur Ibohamane.
- 26/01 : Reconnaissance du bassin versant d'Ibohamane par la visite d'une séquence représentative. Départ dans l'après midi sur Agades. Etape du soir le long de la route.
- 27/01 : Route Tahoua-Tchin Tabaraden - In Ouagar- Ingal - Agades. Arrivée le soir au campement hydrologique d'Azél.
- 28/01 : Reconnaissance de la cuvette d'Agades. Contacts avec M. BERNERT, Ingénieur du BRGM. Retour le soir sur Azél.
- 29/01 : Retour sur Niamey par Ader Bissinat- Tanout- Zinder- Maradi. Etape du soir à Maradi.
- 30/01 : Visite de la Station Agronomique de l'I.N.R.A.N. à Maradi, contacts auprès de MM. OUENDEBA BOTOROU (Sélectionneur mil) et DHERY (Sélectionneur riz). Départ sur le bassin de Galmi. Visite auprès de Monsieur le Sous-Préfet de Madahoua et de Monsieur le Directeur de la C.F.D.T. de Madahoua. Collecte de renseignements pour l'approvisionnement en eau. Seconde prospection sur le bassin de Galmi, localisation approximative des trois sites. Etape du soir sur Malbaza.
- 31/01 : Visite auprès de Monsieur KADA A LABO, Directeur Général de la Société Nigérienne de Cimenterie et de Monsieur FORSTER Directeur de l'Hôpital américain de Galmi, collecte de renseignements pour l'approvisionnement en eau. Visite de la retenue de Zango. Visite auprès de Monsieur le Sous-Préfet de Birni-Nkoni dont dépend Galmi. Arrivée le soir à Niamey.
- 1/02 : Compte rendu oral de notre tournée à Monsieur GARBA Directeur de l'I.N.R.A.N. Visite auprès de MM. BEDOU BANIAN Directeur du Service Hydrologique du Génie Rural et HALIDOU Directeur Adjoint du Service de Gestion Rurale du Génie Rural, nouvel exposé du projet et de nos propositions. Bibliographie. Début de rédaction de ce rapport. Achat de documents de travail (cartes). Renseignements administratifs (transitaire).
- 2/02 : Retour sur Abidjan (6 h 30).

3.5. Conclusions sur le projet de campagne nigérien.

Les deux actions proposées sont techniquement réalisables. Elles ont reçu l'agrément des autorités scientifiques du Niger (I.N.R.A.N. et G.R.) très sensibilisées notamment par la mise en valeur de la région de l'Ader Doutchi zone à haute potentialité agricole. Les programmes peuvent être résumés sous les intitulés suivants :

Première action : Etude, sous pluies simulées du comportement de sols et couverts végétaux représentatifs d'une zone vulnérable de l'Ader Doutchi : le bassin versant de Galmi II.

Deuxième action : Application de l'infiltrométrie à aspersion pour une caractérisation hydrodynamique de sols intervenant dans la recharge des aquifères superficiels de la cuvette d'Agades.

Ces deux actions nous semblent correspondre à un volume de travail optimum dans lequel nous nous sommes efforcé de concilier différentes contraintes techniques et financières avec le choix de zones d'expérimentations les plus représentatives en ce qui concerne l'urgence des préoccupations nigériennes et le milieu humain et physique régional.

Pour mener à bien ces deux types d'étude, notre équipe va devoir se dédoubler pendant deux mois à deux mois et demi que dureront les travaux. Le seul problème qui se pose est d'ordre technique : nous ne disposerons probablement pas de suffisamment de sondes à neutrons pour réaliser simultanément les mesures humidimétriques prévues sous le grand simulateur (Galmi) et l'infiltromètre (Agades). Nous avons pour cela sollicité le prêt, par l'I.N.R.A.N. de deux sondes à neutrons et de deux échelles de comptage pour une durée de deux mois environ ; cette collaboration à l'échelle locale ne semble pas poser de problèmes. Certaines analyses d'échantillons pourraient également être réalisés dans les laboratoires de l'I.N.R.A.N. à Niamey.

Comme le signale déjà J. PIAS (26) nous attirons l'attention sur le problème que posent les hétérogénéités parfois importantes de certains sols de la cuvette d'Agades qui interdisent toute généralisation de la méthode de mesure gravimétrique des humidités. Pour les horizons profonds, la sonde à neutron convient parfaitement mais sa sphère d'influence est certainement trop importante pour détecter les variations significatives d'humidité sur les horizons de comportement superficiels souvent très minces. C'est la raison pour laquelle des sondes de chocs thermiques pourraient être utilisés conjointement à ce niveau ; il est donc urgent qu'elles puissent être livrées suffisamment tôt pour être opérationnelles d'abord pour la prochaine saison des pluies et ensuite lors de notre campagne du début 1980.

Si l'action sur Agades se déroule normalement, son responsable sera, à l'issue de celle-ci disponible une semaine à dix jours pour pouvoir accompagner M. VALET sur son terrain d'étude c'est à dire :

- sur les sols sableux dunaires de Goudel et Tillabery,
- sur les sols des moyennes terrasses du Niger de Lossa et Sona.

Si le besoin s'en fait sentir, certaines mesures infiltrométriques sous lame d'eau pourraient être doublées ultérieurement par des mesures effectuées sous aspersion. Notre intervention se limitant pour cette campagne, à une localisation sous le contrôle de M. VALET d'éventuels sites expérimentaux où pourrait être utilisé un infiltromètre en construction dans un pays voisin.

Les deux actions nigériennes devraient se dérouler du 15 janvier à la fin mars 1980.

BIBLIOGRAPHIE

=====

- (1) BIROT (Y), GALABERT (J), THOMASSEY (JP), CHAPPART (JP).- Campagnes 1967, 1968, 1969, 1970.- Campagnes d'observations sur la station de mesures d'Allokoto (Ader-Doutchi -Maggia) CTFT. Niger Haute-Volta.
- (2) BIROT (Y), GALABERT (J) - 1970-71.- Economie de l'eau et travail du sol dans les plantations forestières de zone sèche. Application à la zone soudano-sahélienne. Bois et Forêts des Tropiques T. I, 127, pp. 29-44. T. II 128, pp. 23-37. T. III 129, pp. 3-21.
- (3) BOCQUIER (G), GAVAUD (M) - 1964.- Etude pédologique de l'Ader Doutchi Rapport général. ORSTOM. Centre de Dakar Hann. 104 p., 1 carte à 1/1.000.000.
- (4) BOCQUIER (G), GAVAUD (M) - 1964.- Etude pédologique des périmètres de Keïta, Adouna, Taboye. ORSTOM. Dakar Hann. 84 p.
- (5) BOCQUIER (G), GAVAUD (M), BOULET (R) - 1966.- Etude pédologique du Niger Central. Rapport général. ORSTOM. Dakar Hann. 211 p., 1 carte à 1/500.000.
- (6) BRUNET MORET (Y) - 1963.- Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale. République du Niger. ORSTOM. CIEH. 15 p., 16 graph.
- (7) BRUNET MORET (Y) - 1967.- Etudes générales des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale. République de Haute-Volta. ORSTOM et CIEH. 23 p.
- (8) BOULET (R) - 1968.- Etude pédologique de la Haute-Volta. Région Centre Nord. ORSTOM. Centre de Dakar Hann. 351 p.
- (9) BOULET (R), LEPRUN (JC) - 1969.- Etude pédologique de la Haute-Volta. Région Est. ORSTOM. Centre de Dakar Hann. 331 p.
- (10) COLLINET (J), ASSELINE (J), LAFFORGUE (A) - 1975.- Compte-rendu d'une mission en Haute-Volta. 3 mars au 3 juin 1975. ORSTOM. Centre d'Adiopodoumé. Centre de Ouagadougou.
- (11) COLLINET (J), ASSELINE (J) - 1978.- Compte-rendu de mission préliminaire pour un projet de mise en oeuvre du simulateur de pluie sur la périphérie de la mare d'Oursi (22 novembre-2 décembre 1977). DGRST-ORSTOM. Centre d'Adiopodoumé. 20 p.
- (12) COLLINET (J) - 1978.- Lutte contre l'aridité en milieu tropical. Première phase. Avant-projet DGRST. Appel d'offres 1978. Thème : Recherches sur les moyens spécifiques de réduction des effets de l'aridité. Doc. de trav., 4 p., 1 fig.
- (13) COLLINET (J), LAFFORGUE (A) - à paraître avril 1979.- Mesures du ruissellement et de l'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sols de Haute-Volta. ORSTOM. Centre d'Adiopodoumé. 125 p., 122 fig.
- (14) COLOMBANI (J), LAMAGAT (JP), THIEBAUX (J) - 1972.- Mesure de la perméabilité des sols en place : un nouvel appareil pour la méthode "Müntz". Une extension de la méthode "Porchet" aux sols hétérogènes. Cahier ORSTOM. Série Hydrol., vol. IX, n° 3.
- (15) ESCHENBRENNER (V) - 1978.- Inventaire des études pédologiques effectuées dans le bassin du Niger (Bénin, Côte d'Ivoire, Haute-Volta, Mali, Niger, Cameroun et Tchad). ORSTOM. Paris. 159 p.
- (16) DELWAULE (JC) - 1973.- Résultats de 6 ans d'observations de l'érosion au Niger (Allokoto) CTFT. Revue "Bois et Forêts des Tropiques" n° 150. Juillet-août 1973.
- (17) GAVAUD (M) - 1977.- Les grands traits de la pédogenèse au Niger méridional. ORSTOM. Série : "Travaux et documents" n° 76. 101 p.
- (18) GREIGERT (J), POUGET (R) - 1967.- Notice explicative sur la carte géologique de la République du Niger. BRGM. Ministère des travaux publics, des transports, des Mines et de l'Urbanisme de la République du Niger. 61 p., 1 carte à 1/2.000.000.
- (19) HEUSCH (B) - 1975.- La conservation des eaux et des sols dans la Haute vallée de Kéïta. SOGREAH Grenoble. République du Niger. Ministère du Développement Rural. Service du Génie Rural.
- (20) HEUSCH (B) - 1977.- Etude du colmatage de la retenue d'Ibohamane. SOGREAH Grenoble. République du Niger. Ministère du Développement Rural. Service du Génie Rural. R. 12736. 21 p., 6 fig. 1 photoplan.

- (21) HOPFFNER (M), LE GOULVEN (P), BERNARD (A), DELFIEU (G) - 1975.- Les bassins versants de Galmi. Campagne 1974. Mission ORSTOM de Niamey. Ministère de l'Economie Rurale et du Climat. Service du Génie Rural. République du Niger. 36 p. + annexes.
- (22) HOPFFNER (M), LE GOULVEN (P), GARRETA (Ph) - 1976.- Les bassins versants de Galmi, Ibohamane et Tégueléguel. Campagne 1975. Mission ORSTOM de Niamey. République du Niger. Ministère du Développement Rural. Service du Génie Rural. 34 p. + annexes.
- (23) LAFFORGUE (A), NAAH (E) - 1976.- Exemple d'analyse expérimentale des facteurs de ruissellement sous pluies simulées. Cahier ORSTOM, série Hydrol., Vol XIII, n° 3.
- (24) LAFFORGUE (A) - 1977.- Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelles. Application à une exploitation méthodique des données obtenues sous pluies simulées. Cahier ORSTOM, Série Hydrol., Vol XIV, n° 4.
- (25) LAFFORGUE (A) - 1978.- Note concernant les protocoles expérimentaux à adopter pour une prochaine mise en oeuvre du simulateur de pluies. ORSTOM. Bureau Central Hydrologique. Paris. 4 p., 2 tabl.
- (26) PIAS (J) - 1978.- Rapport provisoire sur l'implantation d'emplacements de profils hydriques (Cuvette d'Agades) ORSTOM. Paris. 6 p., 16, graph., 1 fig.
- (27) POUYAUD (B) - 1975.- La mesure de l'humidité des sols par chocs thermiques. Cahier ORSTOM, Série Hydrol., Vol. XII, n° 4.
- (28) SWANSON (NB) - 1965.- Rotating boom rainfall simulator. Trans. Amer. Soc. Agr. Eng. 8, pp. 71-72.
- (29) VALENTIN (C), ASSELINE (J) - 1977.- Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. ORSTOM. Centre ORSTOM d'Adiopodoumé. 34 p.
- (30) VALENTIN (C) - 1978.- Divers aspects des dynamiques actuelles de quelques sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire. Recherches méthodologiques. Résultats et interprétations agronomiques. ORSTOM. Centre d'Adiopodoumé. 173 p.
- (31) VALENTIN (C) - 1978.- Problèmes méthodologiques de la simulation de pluies. Communication au Colloque sur "l'Erosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen, Strasbourg et Colmar 20-23 septembre 1978. ORSTOM. Centre d'Adiopodoumé, 11 p., 4 fig., 3 tabl.
- (32) VALET (S) - 1978.- Seconde prospection hydro-pédologique des sols des terrasses du Niger à Sona INRAN. Ministère du Développement Rural. Section "Economie de l'eau". 29 p. + annexes.
- (33) VUILLAUME (G) - 1969.- Etude analytique du ruissellement et de l'érosion. Bassins versants représentatifs de Kountkouzout. République du Niger. ORSTOM. Service Hydrologique. 137 p., 51 fig., 81 tabl.
- (34) WISCHMEIER (WH), SMITH (DD) - 1958.- Rainfall energy and its relationship to soil loss Trans. Amer. Geophys. Union. n° 39, pp. 285-291.
- (35) WISCHMEIER (WH), SMITH (DD) - 1960.- An universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning. 7th Intern. Congr. Soil.

DEVIS DU COUT DES DEUX CAMPAGNES DE SIMULATION DE PLUIES

EN HAUTE-VOLTA ET AU NIGER EN OCTOBRE-NOVEMBRE 1979 ET JANVIER-FEVRIER 1980

Participants

- Pédologie : Jean COLLINET, Christian VALENTIN, Jean ASSELINE à temps complet pendant cinq mois,
- Hydrologie : un hydrologue du Centre de Ouagadougou à temps partiel
un hydrologue de la Mission de Niamey à temps partiel.

Déroulement

Pour chaque pays il faut compter 15 jours de délais de route, formalités administratives (transitaire, douane) et deux mois de travaux effectifs sur le terrain. L'action voltaïque débiterait en octobre pour se terminer vers la mi-décembre ; l'action nigérienne débiterait vers la mi-janvier pour se terminer vers la fin mars.

Budget prévisionnel (en F. CFA)

1. <u>Personnel temporaire</u>	
900 journées à 500 F.CFA	450.000
2. <u>Voyages avion (de tournées)</u>	
6 aller-retour Abidjan-Ouagadougou ou Abidjan-Niamey	420.000
2 aller-retour Niamey-Agades	150.000
Total partiel 2 ..	570.000

3. <u>Indemnités de tournée</u>	
a) <u>Personnel expatrié</u>	
150 journées pour 3 personnes (6.900)	3.105.000
120 journées pour un hydrologue d'appui local (Ouaga ou Niamey) (5.000)	600.000
b) <u>Personnel ivoirien</u>	
150 journées pour un chauffeur poids lourd ainsi qu'un aide-préparateur(2.000)	600.000
Total partiel 3 ..	4.305.000

4. Carburant et Lubrifiant véhicules

a) Carburant véhicules.

Cinq mois de terrain pour deux camions type SM 8, et deux Land Rover. Les camions consomment environ trente litres de gas oil à 90 F.CFA/100 km. Les Land Rover consomment environ 15 litres de gas-oil/100 km. Les différents trajets sont les suivants :

(1) Abidjan-Oursi	1750 km
(2) Oursi-Ouagadougou-Niamey-Galmi	1700 km
(3) Oursi-Ouagadougou-Niamey-Agades	2250 km
(4) Galmi-Niamey-Ouagadougou-Abidjan	2500 km
(5) Agades-Niamey-Ouagadougou-Abidjan	3200 km

* Camion transporteur SM 8 effectue...
trajets (1) + (2) + (4) soit 6000 km et quelques déplacements
locaux : 1000 km, soit au total 7000 km 200.000

<ul style="list-style-type: none"> ✕ Camion citerne SM 8 effectue... trajets (1) + (2) + (4) soit 6000 km ainsi que des navettes entre les points d'eau et le dispositif expérimental <ul style="list-style-type: none"> . sur Oursi il faut compter une distance de 10 km pour faire 30 mm de pluies simulées, soit sur 12 couples de parcelles 5400 mm soit 2000 Km en plus . sur Galmi il faut environ 45 km pour 30 mm de pluies simulées, soit pour un protocole voisin de celui d'Oursi 12 couples de parcelles revant 6.000 mm soit 9000 km de plus 	459.000	
<p>Total camion citerne 17.000 km</p>		
<ul style="list-style-type: none"> ✕ Une Land Rover effectuant sur Oursi et Galmi les trajets (1) + (2) + (4) soit 6000 km et des déplacements locaux de 6000 km (Ouaga-Oursi et Niamey-Galmi) soit 12.000 km 	162.000	
<ul style="list-style-type: none"> ✕ Une Land Rover sur Oursi et Agades soit 2200 km et un certain nombre de navettes entre le point d'eau et le site de mesures infiltrométriques : <ul style="list-style-type: none"> . sur Oursi et sur Agades l'infiltromètre consomme 450 litres d'eau à l'heure, pour deux mois d'essais il faut compter l'utilisation de 16 m3 d'eau qui seront fournis : . en 30 navettes (futs de 200 litres) de 20 km soit 600 km sur Oursi . en 16 navettes (citerne de 1 m3) de 30 km soit 500 km sur Agades . ainsi qu'environ 1500 km de déplacements locaux 	162.000	
<p>Total Land Rover 12.000 km</p>		
<p>b) Carburant motopompes et groupe électrogène</p>		
<ul style="list-style-type: none"> . 1 groupe électrogène (3 l. gas oil/heure) 4 heures/jour soit 480 heures 	129.600	
<ul style="list-style-type: none"> . 1 motopompe de 30 CV (4 l. gas oil/heure) 1 heure/jour soit 120 heures 	43.200	
<ul style="list-style-type: none"> . 1 motopompe de 10 CV (3 l. gas oil/heure) 3 heures/jour soit 360 heures 	97.200	
<p>c) Lubrifiants</p>		
<ul style="list-style-type: none"> . Vidanges et graissages du matériel roulant <ul style="list-style-type: none"> Camions, 5 vidanges graissages Land Rover, 6 vidanges graissages Vidanges, graissages des groupes et motopompes 	100.000 50.000 15.000	
<p>Total partiel 4...</p>		1.418.000

5. Matériel et fournitures scientifiques

<p>a) Equipement de rechange, remplacement du matériel usagé</p>	
<ul style="list-style-type: none"> . infiltromètre à aspersion construction d'une réserve d'eau démontable 40 m. de tuyaux souple sec 40 m. de câble électrique 3 moteurs triphasés pour électropompes 1 moteur triphasé pour l'entraînement du simulateur pièces de rechange pour électropompes (turbine, axe, etc.) disjoncteurs et matériel électrique divers (protection des utilisateurs et des moteurs) 	500.000 360.000 160.000 18.000 105.000 40.000 40.000 20.000

. 4 lampes type "spot" pour éclairage de nuit	50.000
. pièces de rechange des motopompes et du groupe électrogène	80.000
. plaques d'envol (désensablement des véhicules)	50.000
. 1 poste de soudure électrogène	86.000
. 1 tente type "Raclet"	200.000
. parasols	40.000
. 1 glacière	54.000
. 1 frigidaire à gaz	60.000
. 4 sièges pliants	24.000
. 3 jerrycan eau	18.000
. seaux, cuvettes	5.000
. caisses emballage matériel	25.000

Total partiel 5a 1.945.500

b) Véhicules

✕ pour les deux camions

. pneus (4 x 90.000)	360.000
. chambres à air (2 x 10.000)	20.000
. peinture de la citerne et des deux cabines	60.000
. réparation bâche camion transporteur	30.000
. pièces de rechange diverses (filtres, courroies, gicleurs etc.)	50.000
. extincteurs (2 x 18.000)	36.000
. batteries d'accumulateurs (2 x 22.500)	45.000

✕ pour les deux Land Rover

. pneus (8 x 45.000)	360.000
. chambres à air (4 x 4.500)	18.000
. amortisseurs (8 x 16.000)	128.000
. phares longue portée + relais + commutateur	48.000
. avertisseurs électro-pneumatiques	22.000
. réservoirs supplémentaires	44.000
. extincteurs (2 x 18.000)	36.000

✕ pour la remorque du Simulateur

. réparation du crochet d'attelage	40.000
. réparation du plancher	30.000
. peinture	15.000

Total partiel 5b ... 1.342.000

c) Matériel consommable

. feuilles de limnigraphe	40.000
. papier collant, scotch électrique	20.000
. sacs plastique et conditionnement des échantillons	50.000
. pharmacie	20.000
. petit outillage divers	50.000

Total partiel 5c ... 180.000

d) Analyse des échantillons (physiques, chimiques, confection de lames minces sur environ 200 échantillons :

400.000

e) Rédaction des rapports

100.000

Total partiel 5 .. 3.967.000

6. Taxes douanières et frais de transitaire

. pour ensemble du matériel	1.750.000
-----------------------------------	-----------

TOTAL GENERAL (1, 2, 3, 4, 5, 6) 12.460.500

RECAPITULATIF

1) Personnel temporaire	450.000 FCFA	soit	90.000 FF
2) Voyages avion, tournée	570.000		11.400
3) Indemnités de tournée	4.305.000		86.100
4) Carburant et lubrifiant	1.418.000		28.360
5) Matériel et fournitures scientifiques	3.967.500		79.350
6) Taxes douanières et frais transitaire	1.750.000		35.000
	<hr/>		<hr/>
	12.460.500 FCFA	soit	249.210 FF

Arrêté le présent devis à la somme de : DOUZE MILLIONS QUATRE CENT SOIXANTE MILLE CINQ CENTS FRANCS CFA (DEUX CENT QUARANTE NEUF MILLE DEUX CENT DIX FRANCS FRANCAIS).-