

ATP-PIREN : Influence à l'échelle régionale des couvertures pédologiques et végétales sur les bilans hydriques et minéraux des sols.

Projet : Dynamique de l'eau et des matières dans un écosystème représentatif du Nordeste brésilien. Conditions d'extrapolation spatiale à l'échelle régionale

Jean-Claude LEPRUN  
434, rue du Pioch  
34570 MONTARNAUD  
Tél. 04 67 55 50 88

## RAPPORT FINAL

par

M. MOLINIER  
P. AUDRY  
J. C. DESCONNETS  
J. C. LEPRUN

RECIFE, mai 1989

## SOMMAIRE

1 - OBJECTIFS DE DEPART.....	2
2 - DISPOSITIF DE MESURE ET RESULTATS DISPONIBLES.....	2
2.1 - Dispositif de mesure.....	2
2.2 - Résultats disponibles.....	2
■ Bassin représentatif.....	2
■ Bassin expérimental.....	2
■ Microparcelles de 1m <sup>2</sup> .....	3
3 - LES SOLS.....	4
3.1 - La lithodépendance.....	5
3.2 - Les conséquences de la lithodépendance sur la morphologie et la distribution des sols.....	5
3.3 - Le système de circulation résultant.....	6
4 - RUISSELLEMENT.....	8
4.1 - Pluies simulées.....	8
4.2 - Pluies naturelles.....	10
4.3 - Rôle de la végétation.....	12
5 - DYNAMIQUE INTERNE-CIRCULATION DES SOLUTIONS DANS SYSTEME.....	13
5.1 - Introduction.....	13
5.2 - Résultats obtenus sous pluies simulées.....	13
5.3 - Le passage des pluies simulées aux conditions naturelles..	16
6 - GEOCHIMIE DES EAUX.....	17
6.1 - Introduction.....	17
6.2 - Concentration et composition chimique.....	17
6.3 - Bilan des matières dissoutes.....	18
7 - CONCLUSION .....	19
7.1 - Résultats acquis.....	19
7.2 - Prolongements envisagés.....	19
7.3 - Conséquences pratiques pour l'exploitation du milieu.....	20
7.4 - Possibilités d'extrapolation des résultats.....	22
8 - APPORTS DE L'ATP.....	22
9 - ORIENTATION DES TRAVAUX.....	23
10 - BIBLIOGRAPHIE - LISTE DES PUBLICATIONS.....	24

## A N N E X E S

=====

- Annexe A - Milieu physique
  - Localisation du site d'étude
  - Schéma de la parcelle d'infiltration
  - Tableaux de résultats
- Annexe B - Acquis en pédologie
- Annexe C - Hydrodynamique
- Annexe D - Géochimie des eaux

## **1 - OBJECTIFS DE DEPART**

Mesurer, caractériser, analyser et modéliser les mécanismes contrôlant la dynamique et les bilans hydriques et minéraux à différentes échelles et sous divers couverts végétaux.

Essayer de définir quelques règles de transfert des résultats obtenus à l'échelle ponctuelle à des petites surfaces et, de là, à des superficies plus importantes (microbassins et bassins représentatifs).

Définir des conditions permettant le transfert des résultats vers d'autres régions sur la base d'analogies de couvertures pédologiques et végétales et des éléments climatiques. Utilisation des résultats obtenus pour améliorer la gestion des ressources en eau du sol.

## **2 - DISPOSITIF DE MESURE ET RESULTATS DISPONIBLES**

### **2.1 - Dispositif de mesure**

Le site choisi pour ce projet est celui des bassins représentatifs et expérimentaux de SUMÉ (Etat de la Paraíba) dans la zone semi-aride du Nordeste brésilien (pluviométrie annuelle moyenne de 600 mm), sur sols bruns eutrophes à caractère vertique. Le dispositif comprend 4 échelles de superficie : 1m<sup>2</sup>, 100m<sup>2</sup>, 1ha et 10km<sup>2</sup>. La superficie de 10km<sup>2</sup> est représentée par le bassin de UMBURANA étudié depuis 1972. L'échelle de 1ha comporte quatre microbassins expérimentaux étudiés depuis 1982. Neuf parcelles de 100m<sup>2</sup>, de pentes et de traitements différents, ont été mises en place entre 1982 et 1986. Enfin, pour compléter ce dispositif, un certain nombre de microparcelles de 1m<sup>2</sup> a été rajouté, chacune d'elle étant équipée d'un tube de mesures neutroniques et d'une batterie de tensiomètres échelonnés de 5cm à 65 cm.

### **2.2 - Résultats disponibles**

#### **2.21 - Bassin représentatif**

Cette première échelle de mesure comprend trois bassins versants de 137,4km<sup>2</sup>, 26,8km<sup>2</sup> et 10,7km<sup>2</sup>. Une partie des résultats est consignée dans le rapport de campagne de 1973 à 1980 [4] sous forme de graphiques et de tableaux donnant la hauteur de l'averse et le volume ruisselé de chacune des crues observées. Les données hydrologiques de 1982 à 1989 sont en cours de traitement.

#### **2.22 - Bassin expérimental**

Ce dispositif, installé en 1982, comprend quatre microbassins de 0,5 à 1 ha, deux sur sol nu et deux sous caatinga (forêt-taillis basse et sèche du Nordeste semi-aride) et neuf parcelles de 100m<sup>2</sup>, toutes de la même forme et de dimensions conformes aux normes de Wischmeier, mais avec des traitements différents.

Un rapport préliminaire [5] donne les premiers résultats obtenus en 1982 et 1983. Un deuxième rapport [12] fait état des résultats disponibles jusqu'en 1986. Enfin, un document [13] est actuellement en préparation. Il sera édité à la fin de l'année 1989 conjointement par l'UFPB, la SUDENE, le CNPq et l'ORSTOM, et présentera tous les résultats disponibles sur le bassin expérimental de SUMÉ. Actuellement on possède, pour la période allant de 1982 à 1988 inclus, 192 événements averse-crue sur chacun des 4 microbassins et chacune des 9 parcelles de 100m<sup>2</sup>; soit, compte tenu des lacunes et des périodes d'observations différentes, un échantillon de 2150 événements. Chaque événement comprend, pour chacun des 13 sites de mesure, la hauteur de l'averse, la lame ruisselée et les apports solides.

### 2.23 - Microparcelles de 1m<sup>2</sup>

- Caractérisation multiparcelle - Expérimentations de 1985-87.
  - Etude sous pluies simulées de 7 microparcelles de 1m<sup>2</sup> :
    - Analyse de 64 événements pluie-lame ruisselée et de 10 événements pluie-ruissellement-érosion.
    - Résultats dans le premier rapport d'avancement des travaux de 1987 [1] et dans les tableaux A1 et A2 en annexe A.
  - Infiltration sous charge d'eau superficielle constante.
    - Infiltration et suivi de la redistribution dans un sol brun vertique à l'emplacement d'une des microparcelles précédemment étudiée.
    - Résultats dans [1] (premiers résultats de l'expérimentation) et [6] (courbes de conductivité hydraulique dans un sol brun vertique).
- Essai de caractérisation d'une toposéquence - 1987-88-89.
 

Installation de 4 microparcelles de 1m<sup>2</sup> sur un versant caractéristique des sols de la région, de faible surface (30m x 25m) : 2 microparcelles sur sols bruns non vertiques (E7-E8) et 2 microparcelles sur sols bruns vertiques (E9-E10), avec pour chacun de ces sols une microparcelle en sol nu (E7-E9) et une autre sous couvert de caatinga (E8-E10). Chaque microparcelle est équipée d'un tube d'accès de sonde à neutrons enfoncé jusqu'à l'altération et d'une batterie de tensiomètres. Pour compléter ce dispositif on a quadrillé la zone d'étude d'une série de tubes neutroniques placés aux noeuds d'un ensemble de mailles carrées de 5m x 5m de telle façon que l'on ait 5 lignes de 6 tubes chacune (Cf. fig.2 en annexe A).

  - Etude, sous pluies naturelles, de ces microparcelles en 1987 et 1988.
    - Analyse conjointe de la lame précipitée, ruisselée et infiltrée (mesures tensiométriques et neutroniques).
    - Les résultats seront consignés dans le document [13] déjà cité ci-dessus. Cependant, il faut noter que de nombreux problèmes avec les tensiomètres et la collecte des eaux de ruissellement ont fortement réduit la taille de l'échantillon. (cf. § 4.2).
  - Etude sous pluies simulées prolongées de 3 de ces microparcelles.
    - Suivi neutronique et tensiométrique des microparcelles E7

(sols non vertiques nus), E9 (sols vertiques nus) et E10 (sols vertiques sous végétation et mulch) sous deux fortes pluies simulées d'intensité constante; pluies prolongées jusqu'à la saturation du sol.

- Les résultats bruts (humidité volumique, stocks emmagasinés, potentiel total et ruissellement) sont donnés en annexe A dans les tableaux A3 à A12. Le paragraphe 5 de ce document utilise largement ces données.

#### ■ Caractérisation hydrodynamique.

- Une expérience est actuellement en cours, sur petits échantillons non déformés, pour déterminer la conductivité hydraulique de chaque horizon caractéristique des sols de SUMÉ.

#### ■ Etude géochimique des eaux d'infiltration et de ruissellement.

- En 1988, 11 évènements pluviométriques ont été échantillonnés correspondant à un total de 379mm de précipitations sur les 635,7 de l'année. Pour chacun de ces évènements ont été prélevés :

- la pluie
- les eaux de ruissellement correspondant à :
  - ° 2 microparcelles de sol brun vertique de 1m<sup>2</sup> respectivement nue et sous jachère
  - ° 2 parcelles de 100m<sup>2</sup> avec les mêmes couverts végétaux
  - ° 2 microbassins de 0.5 et 1ha respectivement dénudé et sous caatinga.

On disposait, en outre, de 3 échantillons d'un percolat recueilli à la base d'un monolithe de sol brun vertique arrosé avec de l'eau permutée; et enfin des résultats d'analyse de l'eau d'un forage d'origine fissurale prélevée à 8 mètres de profondeur, à quelques centaines de mètres de la zone d'étude (mêmes roches et mêmes sols).

- Le paragraphe 6 et l'annexe D de ce document donnent les principaux résultats obtenus, ainsi que le mode d'échantillonnage et les analyses réalisées avec l'appui du laboratoire du Centre de Sédimentologie et de Géochimie de la Surface à Strasbourg.

### 3 - LES SOLS

Les données disponibles sur les sols de la région, avant 1986, sont constituées d'une étude générale avec cartographie au 1/500.000 (BRASIL, 1972 [3]), complétée par une esquisse pédologique au 1/100.000 (LEPRUN et al., 1983 [6]) du propre bassin expérimental de SUMÉ. Ce dernier travail identifie, pour le bassin d'Umburana (10.7 Km<sup>2</sup>), des proportions respectives de 74, 19 et 7% de sols bruns vertiques, sols lithosoliques et affleurements rocheux, et sols aluviaux; et pour la zone d'étude elle-même une proportion de 85% de sols bruns vertiques associés à des sols bruns modaux et des vertisols.

Ce projet, exécuté dans le cadre de l'ATP a permis de préciser ces connaissances antérieures, en particulier par l'étude détaillée réalisée sur la parcelle de 25 x 35m sélectionnée en 1988. Les résultats ainsi acquis (cf annexe B) concernent : la morphologie des sols, leur caractérisation physico-chimique et minéralogique, leur

relation avec la nature du substrat rocheux dont ils dérivent et qui règlent leur distribution aux différentes échelles du paysage.

On essaiera de faire ici une présentation synthétique de ces résultats, orientés vers leurs conséquences vis à vis de la dynamique du système qu'ils constituent.

### **3.1 - Les types de sols en fonction des roches : la lithodépendance**

#### **3.1.1 - Le type dominant**

Le sol brun non calcique vertique (brun eutrophe tropical vertique de la classification française), présente le profil moyen suivant : un horizon A de 20 cm d'épaisseur, brun-gris, sablo-argileux souvent plus ou moins caillouteux, à structure polyédrique à cubique et porosité moyennement développée; de 20 à 70 cm, un horizon (B), brun, argilo-sableux, à structure cubique et surstructure prismatique passant à massive et présentant des faces de décollement lissées, avec une porosité très fine extrêmement réduite et une cohésion forte à excessive; de 70 à 90 cm, un horizon (B)C, sablo-argileux, bariolé et tacheté, correspondant à l'altération d'un gneiss à amphibole.

#### **3.1.2 - Le passage aux autres sols**

Localement, en position de légère dépression, on passe à un vertisol : le A, tel que défini ci-dessus, perd ses caractères, le B envahit le profil et présente des caractères vertiques plus marqués, encore que modestes. Le sol est, en général, plus profond, atteignant 1 mètre. L'altération est plus riche en ferromagnésiens identifiables; la roche, de texture plus fine, est de type amphibolitique.

En situation plus haute, au contraire, en position souvent balisée par une rupture de pente, par quelque chicots rocheux, ou correspondant à un ressaut ou à une crête mieux marquée, on passe à un sol brun eutrophe peu évolué, peu épais et caillouteux (50-70cm), puis à un lithosol; le B a pratiquement disparu; le A envahit le profil et passe directement au C. La roche est leucocrate, de type pegmatitique à quartz et feldspaths (orthose).

Un des résultats importants des travaux réalisés dans le cadre de ce projet est d'avoir confirmé l'importance de la roche dans le déterminisme des sols de cette région, de l'avoir précisé et d'en avoir tiré les conséquences qui vont être présentées.

### **3.2 - Les conséquences de la lithodépendance sur la morphologie et la distribution des sols**

Il convient, d'abord, d'examiner la structure géologique. Les trois roches mentionnées, à savoir dans l'ordre croissant de richesse en bases et décroissant de dureté et résistance à l'altération : pegmatite quartzitique feldspathique, gneiss à amphibole, amphibolite, se présentent sur le terrain en couches parallèles dont l'épaisseur est d'ordre décimétrique (pouvant aller du cm au m), suivant une structure extrêmement plissées et faillée (cf fig.1 représentant une coupe de 200m de longueur). Si la succession des roches de la surface vers la profondeur correspond généralement à l'ordre décroissant de

dureté énuméré ci-dessus, les successions verticales d'un point à un autre vont être extrêmement diversifiées du fait de la tectonique tourmentée.

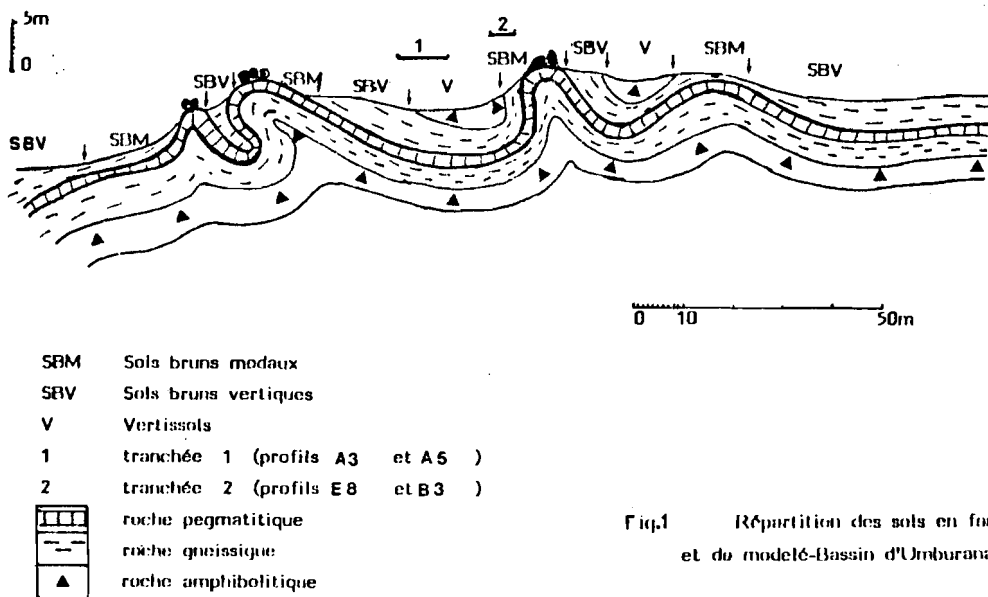


Fig.1 Répartition des sols en fonction des roches et du modelé-Bassin d'Umburana (Sumé-PB)

■ ■ ■ >>> Au point de vue morphologie et types de sols ceci entraînera aussi une grande diversification. Il est fréquent d'observer sur une même verticale une succession d'horizons dérivés de roches différentes dont les contrastes sont seulement partiellement oblitérés par les phénomènes de pédoplasation et d'homogénéisation biologique. Une succession pegmatite/gneiss favorisera, tout naturellement, le développement d'un profil de sol brun vertique typique, mais les possibilités de combinaison sont multiples (cf annexe B) et la géométrie des limites des horizons sera fréquemment oblique.

Ceci explique, en particulier, qu'entre les types brun vertique et brun peu évolué, pratiquement sans B argileux, existe toute une série d'intermédiaire, de sols bruns non vertiques, présentant un B argileux plus ou moins différencié.

■ ■ ■ >>> Au point de vue distribution des sols dans le paysage, il faut situer, à toutes les échelles, les conséquences de l'étroite dépendance mutuelle des horizons et des sols d'une part, et de la morphologie d'autre part, vis à vis de la structure géologique et de la nature des roches.

Le long des versants où dominent les sols bruns vertiques, toute occurrence de pegmatite sera marquée, au minimum, par un ressaut topographique et l'apparition de sols bruns modaux tandis que les microdépressions correspondront généralement à une roche plus basique, plus altérable et à des vertissols.

Il en sera de même au niveau des bassins versants : les lignes de crête correspondent à une ossature de la roche dure, et les hauts de versant présenteront une plus grande proportion de sols bruns modaux.

### 3.3 - Le système de circulation résultant

===>>> Dans ce système où les différenciations sont fortes, contrastées et rapides, nous avons regroupé, schématiquement, les horizons en deux grands ensembles :

- les horizons poreux et perméables. Ce sont, d'une part, les horizons A des sols bruns vertiques et la totalité des sols bruns peu évolués passant aux litosols, correspondant à l'altération de la pegmatite. Le taux d'argile ne dépasse pas 15-20%; la fraction argileuse est constituée d'illite. La densité apparente est voisine de 1.5, soit une porosité totale de 40 à 45%. Ce sont, d'autre part, les arènes d'altération du gneiss, sableuses, légèrement argileuses (10 à 15% d'argile). Ces horizons ont une faible capacité de stockage pour l'eau, mais ce sont les conducteurs du système.
- les horizons B, compacts, peu perméables. Le B vertique qui en est le type le mieux exprimé, contient de 40 à un peu plus de 45% d'argile constituée d'interstratifiés et de smectites. La densité apparente de ces horizons augmente rapidement avec la profondeur où elle avoisine 1.8, soit une porosité total de 30-32%, mais extrêmement fine. Le taux important d'argile granulométrique, la présence d'argile gonflante et, fréquemment de taux de sodium adsorbé non négligeables, contribuent à faire de ces horizons des couches peu perméables, mais qui retiendront des quantités importantes d'eau quand elles se mouilleront.

===>>> Combinant ces caractères avec l'organisation spatiale précédemment décrite, on arrive au schéma de fonctionnement de la figure 2, qui est une version actualisée d'un schéma comparable présenté dans le rapport d'avancement de 1988 [6].

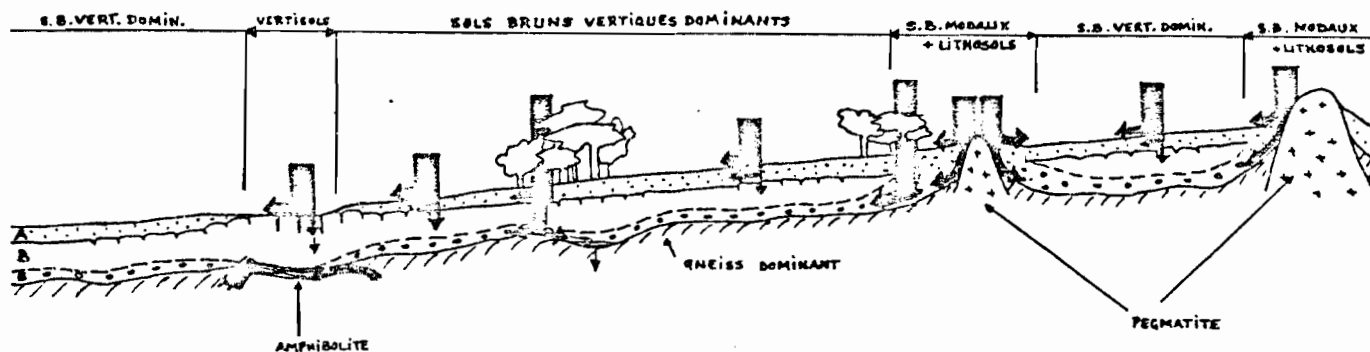


Fig. 2

SCHEMA DE DISTRIBUTION DES SOLS  
ET DE CIRCULATION DES SOLUTIONS

Pour conclure, on soulignera que la propre minéralogie des sols (cf tableau B1 de l'annexe B) indique un stade d'évolution peu avancé et constitue un argument en faveur du fonctionnement actuel du système dans le sens du schéma proposé, où les seuls milieux confinés sont les microdépressions à vertisols; le système dans son ensemble fonctionne en système ouvert : les A fonctionnent nettement à l'exportation; les B ont un comportement intermédiaire.

#### 4 - RUISSELLEMENT

Le dispositif de mesure (microparcelles, parcelles et microbassins) a permis d'étudier le ruissellement à trois échelles de superficie différentes (1m<sup>2</sup>, 100m<sup>2</sup> et hectare), sur sol nu et sous "caatinga".

##### 4.1 - Pluies simulées

Les premières campagnes de mesures, de 1985 à 1987, ont été essentiellement consacrées à la simulation de pluie sur microparcelles de 1m<sup>2</sup> installées sur des sols bruns plus ou moins vertiques avec quelques variantes pour le traitement du sol et la couverture végétale. La technique utilisée est celle du minisimulateur de pluie mise au point par l'ORSTOM en Afrique. Au total, 64 événements pluie-ruissellement (cf. tableau A1 et A2 en annexe A) ont permis de déterminer les relations existantes entre la lame ruisselée et la lame précipitée, pour divers états d'humectation préalable du sol.

Cet état d'humectation du sol a été représenté par un "indice d'humidité" ou "indice de pluie" de la forme suivante :

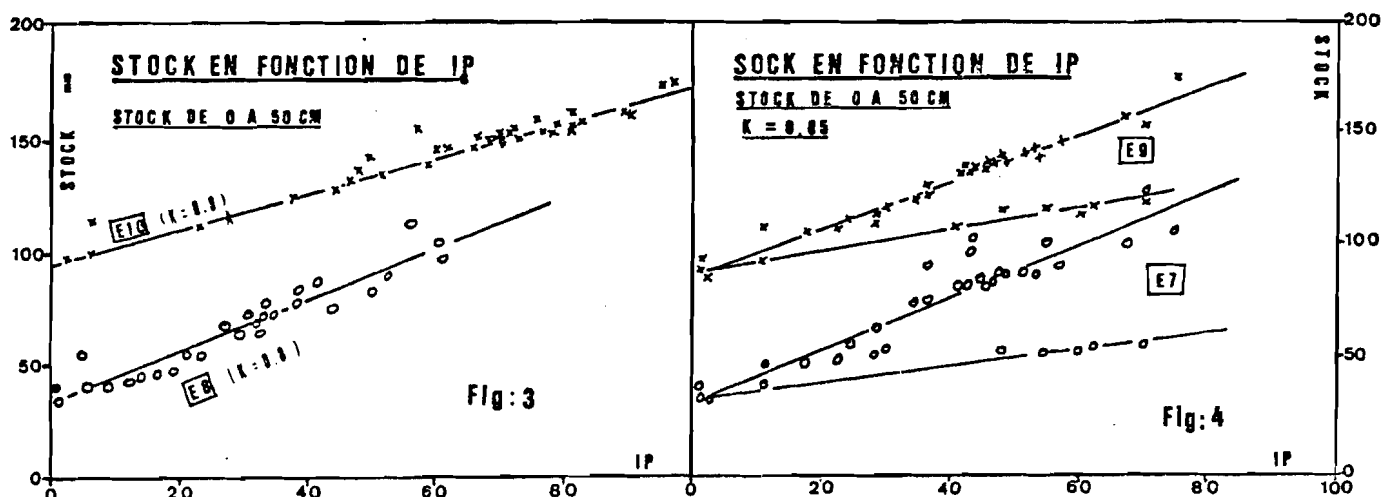
$$IP_n = (IP_{n-1} + P_{n-1}) * K$$

- ou : --> Tr est le temps séparant l'averse étudiée P<sub>n</sub> de l'averse antérieure P<sub>n-1</sub>  
 --> IP<sub>n</sub> est l'indice d'humidité avant la pluie P<sub>n</sub> du jour n  
 --> IP<sub>n-1</sub> est l'indice d'humidité avant la pluie P<sub>n-1</sub>  
 --> K est un coefficient d'ajustement qui dépend de la perméabilité du sol et de la cinétique de ressuyage de ses horizons.

Une étude, effectuée sous pluies naturelles, des relations du stock d'eau dans le sol (déterminé par mesures neutroniques) en fonction de cet indice de pluie IP, a montré qu'un tel indice représente assez bien l'évolution des stocks d'eau emmagasinés dans le sol dans le cas de parcelles sous végétation. Dans ces conditions on obtient d'excellentes corrélations entre cet indice et le stock d'eau emmagasiné. Cependant, suivant le type de sol, le coefficient K est plus ou moins élevé. Le graphique 3 donne un exemple de l'évolution de la valeur du stock en fonction de IP pour deux types de sol (non vertique E8 et vertique E10) avec couverture végétale.

Sur sol nu un autre phénomène intervient qui modifie la corrélation entre le stock et cet indice IP, il s'agit de la dégradation de la structure du sol. Après certaines pluies de fortes intensités, il se forme une croûte superficielle qui devient le facteur limitant principal à la pénétration de l'eau dans le sol. Dans ce cas le stock d'eau dans le sol n'augmente que très faiblement, alors que l'indice IP qui n'est lié qu'aux événements pluvieux augmente très rapidement. Ceci se traduit par l'existence de deux droites de régression comme l'indique la figure 4 où l'on a représenté la corrélation entre l'indice IP et le stock d'eau emmagasiné dans un sol brun sans couverture végétale non vertique (E7) et vertique (E9).

Il faudrait donc, dans ce cas, outre les pluies antérieures et les temps de ressuyage, faire également intervenir l'intensité de la pluie dans le calcul de IP.



Malgré cette restriction sur la représentativité de l'état d'humectation par cet indice des pluies antérieures, nous l'avons conservé car il est plus facilement accessible que la mesure des lames d'eau infiltrées. Il aurait été logique de prendre une même valeur de K égale à 0.85 pour toutes les microparcelles. Cependant, sur les 4 microbassins et les 9 parcelles de 100m<sup>2</sup>, tous les calculs ont été effectués avec un K de 0.95 qui donnait de meilleurs résultats. Par souci d'homogénéité nous avons préféré garder cette même valeur pour tous les types de sol et toutes les superficies.

La méthodologie décrite dans le premier rapport d'avancement de juin 1987 [1], pour les microparcelles de 1m<sup>2</sup> soumises à des pluies simulées, avait conduit à une relation donnant la lame ruisselée en fonction de la hauteur de l'averse et du logarithme de IP comportant 4 paramètres. Elle avait permis de distinguer trois groupes de parcelles selon leur aptitude au ruissellement, aptitude qui est directement liée au type de sol. Il s'agit ici, exclusivement, de sols bruns à B argileux marqué, mais dont les caractères vertiques sont plus ou moins prononcés et présentant corrélativement des horizons A perméables et d'autant moins développés que les caractères vertiques sont plus marqués. On avait ainsi distingué :

- sols bruns moyennement vertiques : microparcelles E1, E2, EB
- sols bruns très vertiques microparcelles E3
- vertisols microparcelle EE.

Finalement, on a préféré la relation simplifiée suivante pour représenter la lame ruisselée (LR) en fonction de la pluie pour divers états d'humectation préalable des sols :

$$LR = a.P + b.IP + c$$

dans laquelle les paramètres a, b et c prennent les valeurs ci-dessous pour les trois groupes de sol cités précédemment.

	a	b	c
E1	0.648	0.168	-21.9
E3	0.779	0.098	-13.8
EE	0.832	0.106	-15.3

La valeur du paramètre "a" représente le coefficient de ruissellement pour un indice de pluie IP de 130 à 150.

#### 4.2 - Pluies naturelles

Outre les 192 événements averse-crue observés sur les 4 microbassins de 0.5 à 1 ha et les 9 parcelles de 100m<sup>2</sup>, certaines microparcelles de 1m<sup>2</sup> ont été observées sous pluies naturelles; la plus ancienne de 1986 à 1988, et les plus récentes seulement au cours de la campagne 1987-1988 (cf. le rapport d'avancement des travaux de juin 1988 [6]). Sur les 7 microparcelles, 3 sont sur sols nus et 4 sous végétation, 3 sont sur sols non vertiques et 4 sur sols vertiques, les quatre possibilités étant, évidemment, combinées. Malheureusement, pour ces microparcelles, de nombreuses observations sont plus que douteuses, ce qui réduit fortement la taille de l'échantillon pour cette superficie de 1m<sup>2</sup>.

Nous avons, cependant, recherché des relations identiques à celles établies sous pluies simulées. Pour les microbassins et les parcelles de 100m<sup>2</sup>, la taille de l'échantillon et le nombre de sites de mesures ont permis de définir ces relations  $LR=f(P,IP)$  avec une précision très satisfaisante. Sur microparcelles de 1m<sup>2</sup>, en raison du nombre très inférieur des observations après élimination des valeurs douteuses, on a pu, également, déterminer ces relations, avec une précision évidemment beaucoup plus faible, mais cependant acceptable.

Une première constatation, comme présenté dans le rapport [6], est que le comportement sous pluies naturelles et sur sol nu des microparcelles de 1m<sup>2</sup> est différent de leur comportement sous pluies simulées. Nous avons vu que ceci était du aux conditions particulières du protocole des expériences sous pluies simulées : très fortes intensités et successions rapides des averses (jusqu'à 250mm repartis en 4 pluies en moins de 48 heures et des intensités de plus de 100 mm/h pendant 5 minutes pour chacune des pluies simulées). Ceci a pour effet de dégrader la structure superficielle du sol, beaucoup plus efficacement que sous pluies naturelles, créant ainsi une pellicule très peu perméable au sommet de l'horizon A qui augmente le refus à l'infiltration.

La même relation que précédemment ( $LR = a.P + b.IP + c$ ) a permis de représenter la lame ruisselée en fonction de la pluie P et de l'indice d'humidité IP sur sol nu. Cependant, pour les sols sous caatinga, cette relation représente très mal les variations de la lame ruisselée en fonction de P et IP. Nous lui avons préféré une relation semblable à celle utilisée en 1987 [1] qui est de la forme :

$$LR = \alpha.P + \beta.P.IP + \Gamma.IP + S$$

Le tableau ci-dessous donne les différents coefficients de ces 2 relations pour chacune des trois superficies étudiées sur sol brun vertique et la figure 5 donne la représentation graphique de ces mêmes relations dans les 6 cas étudiés et pour 2 indices de pluie :

IP = 50 ----> sol sec  
IP = 300 ----> sol très humide

	Sols nus			Sols sous Caatinga			
	a	b	c	$\alpha$	$\beta$	$\Gamma$	S
1m <sup>2</sup>	0.691	0.009	-3.1	0.165	0.00064	0.0116	-5.26
100m <sup>2</sup>	0.605	0.016	-4.5	0.149	0.00052	0.0090	-6.10
1ha	0.558	0.020	-7.9	0.134	0.00039	0.0065	-6.94

Les coefficients a, b,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\Gamma$  et S sont directement fonction de la superficie correspondante, ou plus exactement de son logarithme. Si bien que l'on peut calculer la valeur de la lame ruisselée en fonction de la pluie (P) et de la superficie (S) à l'aide des relations suivantes, pour des superficies comprises entre 1m<sup>2</sup> et 1ha :

Sol nu : LR = 0,69.P - (0,033.P - 0,003.IP).logS + 0,010.IP - 5

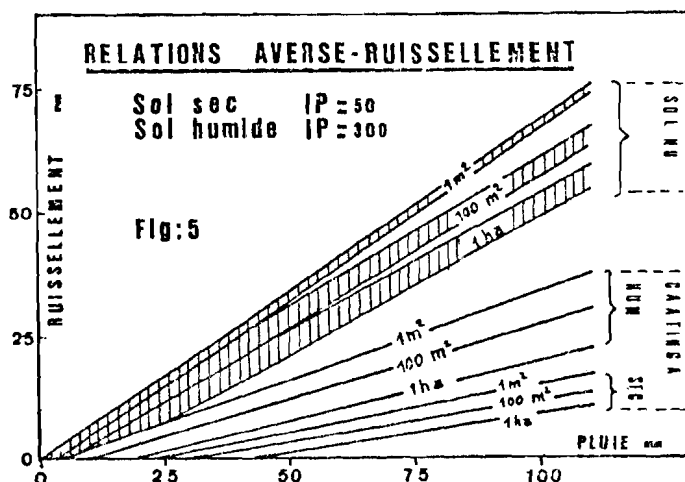
Caatinga : LR = 0,165.P + 0,00064.P.IP + 0,0116.IP - 5,26  
- logS (P/129 + P.IP/16000 + IP/784 + 0,42)

Connaissant la pluviométrie dans la région de Sumé, il est possible de donner une évaluation du bilan hydrologique de surface; c'est à dire évaluer les termes de l'équation suivante :

Pluie = Ruissellement + Déficit hydrologique

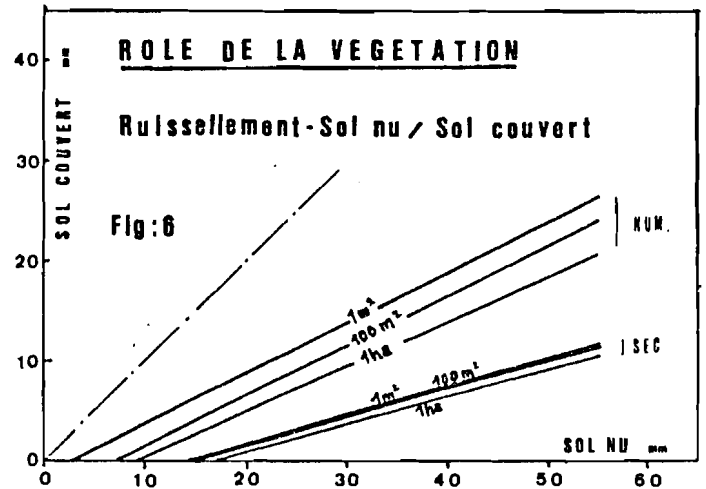
Pour les années 1982 à 1988 les termes du bilan sont donnés dans le tableau A13 de l'annexe A. On a résumé ci-dessous les moyennes sur ces 7 années en reportant dans la dernière colonne du tableau la valeur du coefficient de ruissellement en %.

	Pluie	Ruis.	Coef.R	
	1m <sup>2</sup>	698.5	373.6	53.5
N	100m <sup>2</sup>	698.5	297.7	42.6
U	1ha	698.5	200.6	28.7
V	1m <sup>2</sup>	698.5	61.6	8.8
E	100m <sup>2</sup>	698.5	37.1	5.3
G	1ha	698.5	19.2	2.7



#### 4.3 - Rôle de la végétation

Dans le rapport d'avancement de 1987 [1], l'étude du comportement des superficies de 100m<sup>2</sup> et 1ha avait montré le rôle déterminant de la couverture végétale sur le ruissellement. Les études plus complètes effectuées en 1988 et 1989 sur 1m<sup>2</sup>, ainsi que le plus grand nombre de données traitées sur 100m<sup>2</sup> et 1ha, ont permis de mieux définir ce rôle. Le graphique de la figure 6, ci-contre, donne les valeurs du ruissellement sous caatinga en fonction de celui sur sol nu, pour une même pluie et dans des conditions comparables d'humidité préalable des sols.



On constate que la réduction de ruissellement est d'autant plus importante que le sol est plus sec. En effet, sur sols secs, l'influence de la végétation sur l'infiltration est prépondérante. Mais lorsque les sols sont très humides, cette influence diminue, et l'horizon A fortement saturé devient un des facteurs principaux limitant l'infiltration.

On observe aussi des différences de comportement suivant l'échelle de superficie. Et ceci est d'autant plus sensible que le sol est plus humide. Sur sol sec, l'effet d'échelle est pratiquement inexistant. Une explication de ce phénomène pourrait être la suivante: si l'on considère que l'intensité du ruissellement est maximum lorsque le réservoir constitué par l'horizon A est très proche de la saturation (indépendamment de l'échelle), l'effet d'échelle pourrait être dû à l'apparition croissante de "fuites" (drainage latéral et profond) éliminant une partie de l'eau de ce réservoir au fur et à mesure qu'augmente la superficie.

Le graphique de la figure 6 montre, en outre, que sur microbassins de 1ha, les sols sous caatinga retiennent les 10 à 20 premiers millimètres (suivant l'état d'humidité des sols) qui s'écoulent sur les microbassins dénudés. Puis, par la suite, ils retiendront, pour les fortes pluies, de 60 à 85 % de la part supérieure à ces 10 ou 20 premiers millimètres. Sur 1m<sup>2</sup>, la première interception se réduit à 5-15 mm et la suivante à 50-80 % de la part supérieure à ces 5-15 mm.

## 5 - DYNAMIQUE INTERNE. CIRCULATION DES SOLUTIONS DANS LE SYSTEME

### 5.1 - Introduction

Dans le rapport d'avancement des travaux de 1988 [6], un schéma de fonctionnement du système étudié a été présenté. Les observations réalisées depuis lors, ainsi que les nouvelles données récoltées, l'ont confirmé tout en précisant certains points. Le nouveau schéma actualisé a été présenté comme conclusion du paragraphe 3 sur les sols. C'est en référence à ce schéma qu'il faut interpréter la synthèse des résultats acquis concernant la dynamique interne qui va être présentée ici.

Il convient de noter que la caractérisation hydrodynamique des sols au sens classique - établissement des relations  $H(\theta)$  et  $K(\theta)$  - n'a été réalisé que de façon très approximative par un traitement statistique des données obtenues lors d'une expérience d'infiltration sous charge constante (cf Rapport 1988 [6]). Un tel traitement a tendance à masquer les contrastes de comportement entre horizons.

Il est évident que la seule différenciation verticale des sols dont la majorité présente trois horizons sur une épaisseur totale de 60 à 80 cm, nécessite, pour une telle caractérisation, des mesures particulièrement précises (pour l'évaluation des gradients) dans un milieu et avec des techniques qui ne s'y prêtent justement pas.

Nous avons donc choisi d'essayer de déterminer ces caractéristiques hydrodynamiques en laboratoire sur échantillons non déformés (expérience encore actuellement en cours), tout en continuant l'étude de la dynamique interne sur le terrain. En 1988, des pluies simulées importantes et continues (de l'ordre de 300 à 500 mm en deux pluies (cf tableau A12 de l'annexe A) ont été réalisées pour tenter de mettre en évidence ces contrastes, de préciser le schéma de circulation élaboré et les facteurs qui en règlent les différentes composantes.

### 5.2 - Résultats obtenus sous pluies simulées

#### 5.2.1 Infiltration superficielle

On a vu qu'à toutes les échelles d'étude, la couverture végétale apparaît comme un facteur déterminant du ruissellement (cf 54.3 et fig.6). Le mécanisme en jeu est en réalité la dégradation de la structure superficielle du sol lorsque sa surface n'est pas protégée de l'impact direct des pluies de fortes intensités.

Ce phénomène a bien été mis en évidence au cours de deux séries d'expérience.

==> En 1986, deux pluies simulées de hauteurs et intensités similaires (E2P2 et E2P9 du tableau A2 de l'annexe A) ont été appliquées sur un même site, dans les mêmes conditions d'humidité préalable du sol, l'une sur sol nu naturel, l'autre sur sol nu sarclé. Dans ce deuxième cas le pourcentage ruisselé a été 10 fois inférieur. On a, en outre, noté que la totalité du surplus infiltré a été stocké dans l'horizon A, le

transfert A --> B étant un phénomène beaucoup plus lent.

A la fin de cette pluie, la structure fragmentaire grossière créée par le sarclage avait "fondu". La surface n'était plus que mollement ondulée, glacée. Le lendemain (pluies E2P11 et E2P12), on a vérifié qu'on était pratiquement revenu aux mêmes conditions de ruissellement que sur sol naturel.

La dégradation de la structure superficielle de ces sols sous l'effet de l'impact direct des pluies de fortes intensités est donc un phénomène rapide.

==> En 1989, lors de la simulation de deux fortes pluies prolongées (cf §2.23 et tableaux A3 à A11 de l'annexe A), on a comparé les comportements de deux microparcelles de sol brun vertique : l'une en sol nu naturel, l'autre originellement sous caatinga. Sur celle-ci on a coupé les arbustes à 80 cm de hauteur et laissé les branches sur le sol, constituant ainsi un mulch de manière à protéger la surface du sol.

Sur sol nu naturel, le ruissellement apparaît après 5 minutes de pluies et le taux d'infiltration initial de 63 mm/h, correspondant à l'intensité de la pluie, chute à 40 mm/h au bout de 10 minutes et tend rapidement à se stabiliser à une valeur voisine de 19 mm/h.

Sur sol protégé, l'infiltration se maintient au taux de l'intensité de la pluie (64 mm/h) pendant pratiquement les deux heures qu'a duré la première pluie. Au cours de la deuxième pluie, où le ruissellement apparaît rapidement, l'intensité d'infiltration ne décroît que lentement et ne se stabilisera qu'au cours de la deuxième heure à environ 30 mm/h.

Tout se passe donc comme si, dans le premier cas, l'infiltration et, par conséquent, l'humectation du sol étaient réglées par la conductivité hydraulique de la pellicule superficielle. A l'inverse, dans le deuxième cas, sans limitation superficielle, le refus à l'infiltration apparaîtrait lorsque l'humectation du profil atteindrait un niveau limite de sa capacité à stocker et à transmettre l'eau infiltrée superficiellement.

Si on met en relation l'évolution en fonction du temps de l'intensité d'infiltration et du stock d'eau dans le sol - spécialement dans l'horizon A - le schéma de fonctionnement est confirmé. Cependant, les décalages observés montrent bien que l'horizon A ne se comporte pas comme un simple réservoir qui se remplit, mais que ses relations avec les horizons adjacents, auxquels il transmet les flux, sont également déterminants.

C'est l'un des cas où il sera intéressant de disposer des courbes  $K(\theta)$  et  $H(\theta)$  pour tenter d'analyser les phénomènes à partir d'un modèle basé sur la loi de Darcy dans le cas où l'on n'a pas de circulations intempestives empruntant des voies préférentielles.

#### 5.22 - Les transferts A-->B ; A-->C ; A-->(B)-->C

Le cas des sols bruns modaux sans horizons B textural et des sols lithosoliques ne posent pas de problèmes. On a constaté que l'infiltration progresse rapidement jusqu'à la base du sol (cf microparcelles E5 et E6 du tableau A1 de l'annexe A). Ainsi ces sols constituent des zones d'infiltration préférentielle, surtout s'ils sont couverts de végétation.

Par contre les phénomènes sont extrêmement compliqués dans les sols bruns à horizon B textural marqué. Nous distinguerons plusieurs cas.

**===>> Les circulations préférentielles et fugaces A-->B.**

On les observe très fréquemment sur sol sec : en tout début de pluie, un tensiomètre profond chute, puis remonte (cf [1]). Il s'agit de circulations de fissures (ou simplement le long de la canne du tensiomètre). L'eau qui circule provoque le gonflement des argiles et la fermeture de la voie de circulation: le peu d'eau arrivé à la capsule du tensiomètre est redistribué localement, d'où la remontée du manomètre.

**===>> Les transferts verticaux A-->B à l'interface A/B**

La conductivité du B, horizon à porosité très fine, est très faible, et paraît chuter rapidement dès que l'on s'éloigne des conditions de saturation. Ceci permet d'expliquer deux points :

- les transferts à l'interface A/B sont extrêmement lents tant que l'horizon A n'est pas lui-même au voisinage de la saturation, et même alors ils restent lents.
- la redistribution du A au profit du B, et à l'intérieur du B est très lente.

Ces propriétés et cette dynamique très contrastée entre A et B entraîne, sous pluie suffisante, une saturation de l'horizon A qui se prolonge après la pluie et crée des conditions de drainage latéral. Cette différenciation du profil est donc un des facteurs importants du fonctionnement hydrique superficiel de ces sols. L'absence de végétation augmente cet effet en détournant une part importante de ces circulations au profit du ruissellement.

**===>> Les courts-circuits A-->(B)-->C**

C'est un fait d'observation : dans certains cas le profil se mouille et s'engorge à sa partie supérieure dans le A, et l'eau arrive à la base du B sans traverser celui-ci. On peut voir ainsi, sur la figure D13 de l'annexe D, une situation résultante avec deux nappes, une au sommet du B et l'autre à sa base dans le C.

Ceci peut être interprété par l'hétérogénéité du sol liée à la structure complexe du substrat rocheux. En effet, depuis l'affleurement de pigmatite correspondant à une tache de sol brun modal, jusqu'aux horizons obliques et ondulés et aux filons de quelques centimètres d'épaisseur, on peut avoir un système de voies de circulation rapide extrêmement diversifié. Leur entrée en fonctionnement, échelonnée dans le temps, explique des conditions d'humectation profonde parfois par saccades successives (cf fig.D22) avant d'atteindre la saturation du C.

## 5.22 - Les drainages

L'existence de drainages obliques dans les conditions expérimentales décrites ne peut être mise en doute, dans la mesure où la présence de nappes a été constatée. Ces nappes s'écoulent latéralement chaque fois que la topographie interne des contacts entre horizons fera apparaître un gradient hydraulique.

Il est toutefois impossible d'estimer ces termes du bilan. Certes, quand on cherche à fermer le bilan à partir d'éléments mesurés (pluie, ruissellement, variation du stock d'eau dans le sol), on constate qu'il existe des "fuites" qui peuvent atteindre des proportions considérables (plus de 50% de la pluie). Mais ce terme inclut aussi le drainage oblique du aux effets de bordure qui sont d'autant plus importants que la parcelle arrosée est plus petite.

Il peut, enfin, exister un drainage vertical à la base du sol, terme sur lequel on ne possède aucune donnée. On peut seulement dire qu'il est, sans doute, faible et localisé, en relation avec l'hétérogénéité et la structure faillée du substrat rocheux.

### 5.3 - Le passage des pluies simulées aux conditions naturelles

On dispose, malheureusement, de peu de données fiables sous conditions naturelles et pas de séquence continues de mesures qui permettent une quantification des comportements constatés expérimentalement.

Mais les données existantes sont suffisantes pour prouver que les mêmes comportements s'observent sous pluies naturelles. On remarquera, au préalable, que les différences entre pluies naturelles et pluies simulées sont relatives aux intensités et aux volumes appliqués qui ont toujours été importants dans les expériences de simulation (jusqu'à l'équivalent d'un total pluviométrique annuel appliqué en quelques jours). Toutes les données sous conditions naturelles confirment que les petites pluies éparses de faible intensité et faible volume n'ont pas d'effets hydrologiques; elles sont infiltrées et rapidement évapotranspirées. Les événements pluvieux d'intérêt hydrologique se limitent donc à quelques pluies importantes et successions rapprochées de pluies. En moyenne, on en compte une dizaine par an.

En de telles conditions, toutes les données concernant le ruissellement confirment le rôle de la végétation sur l'infiltration. Les relations établies entre l'indice de pluie IP et le stock d'eau dans le sol (cf § 4.1) confirment les mécanismes observés sous pluies simulées.

En ce qui concerne la dynamique interne, on a également observé des situations qui confirment le schéma élaboré, et en particulier :

- les différences de profils hydriques sous caatinga et sous sol nu
- la présence de nappe dans les horizons A et C
- l'existence de sources au bas des versants, témoignant de la réalité des circulations latérales dans les horizons C (cf Rapport 1987 [1]).

## 6 - GEOCHIMIE DES EAUX

### 6.1 - Introduction

On sait, par des travaux antérieurs (LEPRUN, Sudène, 1983 [7]), que la qualité des eaux superficielles dans le Nordeste Brésilien (faciès chimique et surtout niveau de concentration) est en relation nette avec :

- d'une part la nature du substrat local (nature de la roche + type de sol);
- d'autre part leur mode de gisement, les eaux de nappes étant nettement plus concentrées que les eaux de surface (rios et açudes bien que pour ces derniers on observe une grande diversité de comportement).

En ce qui concerne le bilan minéral, l'objectif fixé (cf §1) consistait en une étude géochimique des solutions circulant dans l'écosystème dans le but de :

- compléter ces données générales en suivant l'évolution géochimique de ces solution au cours de leurs transferts,
- tenter d'établir un bilan minéral dissout en comparant les entrées et les sorties.

### 6.2 - Concentration et composition chimique des différentes eaux

Les résultats correspondant aux différentes eaux de ruissellement récoltées sont relativement dispersés, et dans ces conditions, ni un effet d'échelle, ni un effet végétation ne s'expriment significativement. On note seulement que les surfaces dénudées donnent naissance à des eaux de ruissellement légèrement plus minéralisées (cf tableau D2 de l'annexe D), et surtout avec des valeurs moyennes un peu plus élevées de pH,  $\text{NH}_4$ , Ca, K,  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ . Sans avoir d'explication à proposer, ceci doit-être rapproché d'un résultat antérieur (LEPRUN, 1983 [7]) mettant en évidence des charges élevées en Cl et en Na des eaux de pluviolessivage. Il apparaît qu'ici, les eaux de ruissellement issues de surfaces couvertes de végétation sont aussi plus riches en ces éléments ainsi qu'en  $\text{SO}_4$ .

Les différences entre eaux de pluie, eaux de ruissellement, eaux de drainage sont extrêmement nettes au point de vue concentration, moins marquées au point de vue composition chimique. Le tableau ci-dessous donne les concentrations exprimées en charge total dissoute (CTD en g/kg) ainsi que l'ordre de grandeur du facteur de concentration.

	CTD	Facteur de concentration
Eaux de pluie	0.017 *	
Eaux de ruissellement	0.067 *	
Drainage à la base d'un sol BV	0.87 *	
Forage à 8 mètres	1.14 *	

Au point de vue composition chimique (cf annexe D fig.D1 et D2), les eaux de ruissellement et d'infiltration sont proches et par rapport aux eaux de pluie accusent un déplacement vers le Ca et le Mg d'une part, et vers les carbonates d'autre part. Ceci explique que les eaux d'infiltration - plus concentrées - et parfois les eaux de ruissellement soient saturées par rapport à la calcite, parfois la dolomite (de la calcite a été effectivement observée dans les sols vertiques); sous végétation elles sont également en équilibre avec le quartz.

En conclusion, les solutions qui entre dans l'écosystème acquièrent très vite leur composition chimique spécifique. Au point de vue concentration, l'évolution est également rapide : les eaux de ruissellement sont déjà quatre fois plus minéralisées que les eaux de pluie, tandis qu'au cours d'un transfert à travers 80 cm de sol la concentration global est multipliée par 50 environ et n'évoluera ensuite que faiblement au cours du séjour prolongé dans le système fissural qui contient la nappe.

Même si ces résultats chiffrés doivent être prudemment considérés comme de simples ordres de grandeur eu égard à leur nombre limité et au mode d'échantillonnage, ils recourent et éclairent les données issues d'inventaires antérieurs. Ceux-ci mettaient nettement en évidence le caractère peu minéralisé des eaux des rivières, une concentration plus forte et plus diversifiée des eaux des açudes (selon leur mode d'alimentation et leur degré de concentration par évaporation), et le niveau de minéralisation toujours très nettement plus élevé des nappes localisées du socle cristallin.

### 6.3 - Bilan des matières dissoutes

Ce bilan tenté à partir des données partielles concernant la moitié des événements pluvieux dans une région à pluviométrie très irrégulière est également à considérer avec réserve. Il conduit cependant à des résultats suffisamment intéressants pour être commentés.

On a déjà signalé que le sol couvert de végétation donne naissance à des eaux de ruissellement moins minéralisées que sous sol nu; ceci est vrai quelque soit la surface drainée; pour les microbassins de l'ordre de l'hectare, la charge minérale dissoute devient insignifiante sous végétation naturelle.

Le bilan géochimique a été évalué, pour les différentes surfaces étudiées en sol nu et sous végétation, en soustrayant les quantités apportées par la pluie de celles exportées par le ruissellement. Ce bilan est présenté en annexe D (tableau D7). Il met en évidence une accumulation de matière, en particulier de Na et de Cl pour les surfaces supérieures au m<sup>2</sup> (il faut cependant noter que les données des microparcelles de 1m<sup>2</sup> sont moins fiables). Le ruissellement des microbassins ne permettrait donc pas l'élimination du Cl et Na; ceci pourrait expliquer la richesse en cet élément du complexe adsorbant, et la présence de sels observée dans les horizons profonds de certains sols vertiques et vertisols (cf annexe D) contribuerait sensiblement à

la minéralisation des eaux de drainage, et de façon directe ou indirecte contribuerait donc à expliquer l'origine de la salinisation que l'on observe dans les sols lorsqu'ils sont irrigués.

## 7 - CONCLUSIONS

On essaiera, dans ces conclusions, de faire un bilan de l'acquis au cours de ce travail, de présenter des prolongations que nous pensons y donner, d'examiner quelques conséquences pratiques des résultats obtenus et, enfin, d'aborder le problème de l'extrapolation des résultats. Ceci sera fait avec un souci de comparaison avec les objectifs initiaux rappelés dans le paragraphe 1.

### 7.1 - Résultats acquis

■ ■ ■ >>> Fonctionnement de l'écosystème. - Le rôle prépondérant de deux facteurs a été mis en évidence dans le déterminisme de la circulation des solutions dans l'écosystème. Il s'agit du couvert végétal qui règle l'infiltration superficielle et de l'organisation de la couverture pédologique qui règle les circulations internes. Le mode d'intervention de ces deux facteurs et leur interaction sont représentés sur la figure 2 (cf §3) qui schématise le fonctionnement de l'écosystème à l'échelle d'un versant.

■ ■ ■ >>> Ce schéma représente la première étape de l'élaboration d'un modèle, étape qui a consisté à identifier les flux.

■ ■ ■ >>> Ce modèle intègre bien le facteur d'échelle qui affecte le ruissellement et que les différentes mesures ont permis de mettre en évidence et de chiffrer. Le facteur explicatif de ce phénomène est la nature diversifiée et la structure plissée-faillée du substrat rocheux qui commande, aux différentes échelles, la distribution et les proportions relatives de sols à comportements hydrologiques différents.

Dans ce système où dominant les sols peu perméables (bruns vertiques) associés à des sols plus perméables (bruns modaux passant à lithosols), la proportion de ces derniers augmente à mesure qu'on embrasse une superficie croissante en remontant un versant jusqu'à intégrer l'ensemble du bassin au niveau de la ligne de crête (cf §3 et fig 2). Ceci peut expliquer, en partie, l'effet d'échelle constaté. On peut ajouter qu'à une échelle plus ample, on intégrerait des sédiments qui augmenteraient la capacité moyenne d'infiltration.

### 7.2 - Prolongements envisagés

#### 7.21 - Elaboration du modèle

Au tout premier rang de prolongements envisagés figure la deuxième phase d'élaboration du modèle qui consiste à quantifier les flux et les intégrer dans l'espace.

Ce modèle serait constitué d'un ensemble de deux modules unidimensionnels verticaux, basés sur la loi de Darcy, chacun d'eux

callé sur l'un des deux grands types de sols présents. Ils simuleraient l'infiltration et le remplissage des réservoirs correspondants aux divers horizons, ainsi que la redistribution verticale et l'évapotranspiration. Chaque fois que les horizons A et C arriveraient à saturation, les transferts latéraux seraient réalisés sous la forme d'une vidange du réservoir, interférant, bien entendu, avec l'ensemble des profils hydriques de chaque unité de l'espace discrétisé.

Tant le problème de l'infiltration incluant le rôle de la végétation, que celui des transferts latéraux seront abordés de façon pragmatique en testant d'abord des lois mécanistes, puis des formulations conceptuelles, puis, si nécessaire, des formules strictement empiriques. Un paramètre essentiel du réglage du modèle sera la proportion relative des deux types de sols ainsi que la fréquence de leur distribution dans le maillage considéré.

Il est évident que le calage d'un tel modèle ne se fera pas sans difficultés et que les résultats risquent d'être assez décevants, mais une telle étude vaut quand même la peine d'être tentée ne serait-ce que du point de vue de la méthodologie.

#### 7.22 - Estimation du bilan hydrique

C'est à partir de ce modèle, calé sur les données disponibles, que l'on envisage, d'une part de passer à une estimation du bilan hydrique, dont seuls quelques termes ont été mesurés dans les travaux réalisés, et, d'autre part de préciser les règles de transferts des résultats en fonction des surfaces considérées.

### 7.3 - Conséquences pratiques pour l'exploitation du milieu

#### 7.31 - Culture pluviale

Le problème essentiel est de stocker, dans le sol et à la disposition des plantes, toute la pluie, puisque, même en réalisant au mieux ce stockage, la seule irrégularité des pluies fera que 3 années sur 10, en moyenne, entreront dans la catégorie des trop connues années sèches du Nordeste brésilien.

En conséquence, deux mesures s'imposent :

- le choix de plantes dont les racines pénètrent bien l'horizon B argileux, malgré sa compacité, pour tirer parti de l'eau qui y sera stockée;
- forcer artificiellement l'infiltration, spécialement au début du cycle et avant que la plante ne couvre le sol. Dans ce but, la création d'un microrelief type billon cloisonné, paraît une des mesures simples les plus appropriées.

#### 7.32 - Culture irriguée

Dans ce cas, le problème est de savoir s'il est possible d'éliminer, par drainage, le supplément de sels apporté par les eaux d'irrigation. Ceci sera d'une urgence d'autant plus immédiate que les eaux seront plus minéralisées; ce qui sera pratiquement le cas chaque fois

qu'on utilisera des ressources localisées d'eau souterraine (cf 56). Mais ce drainage est indispensable aussi en cas d'utilisation d'eaux superficielles dites de qualité moyenne ou bonne. Car, si l'accumulation des sels est dans ce cas plus lente, elle ne s'en produit pas moins et, à terme, les résultats seront les mêmes.

Le schéma de circulation présenté au paragraphe 3, et la conclusion que le système est ouvert, constituent, en première approximation, une réponse positive à la question posée sur la possibilité d'éliminer les sels par drainage. En fait, les choses sont plus compliquées, puisqu'on a vu également que les B ont un comportement intermédiaire et peuvent présenter, sous conditions naturelles, des phénomènes de sodification et même, localement d'accumulation de sels (cf annexe B). Leur faible perméabilité ferait d'ailleurs classer ces sols comme "difficilement ou non irrigables" selon les normes internationales classiques.

On va donc considérer la question selon deux points de vue :

- 1) la perméabilité du sol est-elle suffisante pour que l'eau percole à travers le profil (drainage interne des pédologues)?
- 2) les conditions générales du bassin permettent-elles l'évacuation effective des solutions de lavage (drainage externe qui s'évalue au niveau de l'unité de paysage)?

Concernant le point 1), les perméabilités les plus faibles observées lors de l'expérience d'infiltration sous charge sont de l'ordre de 0.5 mm/H. C'est une valeur très faible qui suggère, entre autres choses, un grand soin dans l'ajustage des doses d'irrigation et des fréquences d'arrosage pas trop élevées pour éviter le risque d'engorgement prolongé. Dans le même souci, il sera préférable d'appliquer une surdose cumulée de lavage toutes les n irrigations, plutôt qu'à chaque arrosage.

Compte tenu de la grande hétérogénéité spatiale des sols sur de courtes distances, il vaudra mieux apporter l'eau d'irrigation, et plus encore la surdose de lavage, sur une surface divisée en sous-parcelles de dimensions réduites, de manière à pouvoir contrôler l'homogénéité de l'apport. Enfin, pour cette même raison d'hétérogénéité locale et de fuites latérales dans les horizons A, il faudra assurer un suivi du niveau de salinisation et ajuster, en conséquence, la dose de lavage sans se fier aux données toutes calculées que l'on trouve dans les manuels.

Concernant l'élimination des solutions de lavage (point 2), il faut travailler avec le drainage oblique dans le C. Sa perméabilité et sa pente doivent être suffisantes, et sa topographie interne assez régulière pour éviter des petites nappes perchées qui donneraient autant de tâches salinisées, phénomène effectivement observé dans une région voisine. Pour l'irrigation, on éliminera enfin toute dépression, replat et, d'une manière générale, les bas de versants, sauf s'ils présentent un exutoire réellement efficace.

En conclusion, aussi bien en culture pluviale qu'irriguée, l'exploitation de cet écosystème suppose le respect d'un certain nombre de précautions. Le non respect de celles-ci, en plus de

compromettre le retour économique attendu, dégraderait l'équilibre existant (érosion, régime hydrologique, salinisation). Si ces conditions ne sont pas garanties, il est préférable de conserver à des fins d'élevage extensif, les couvertures de caatinga dont la valeur de pâturage peut, par ailleurs, être améliorée.

#### 7.4 - Possibilité d'extrapolation des résultats

Le rôle de la végétation est certainement généralisable à d'autres écosystèmes, mais, pour le reste, étant donné les particularités de ce milieu, il est hors de question d'extrapoler les résultats obtenus et les conclusions présentées à d'autres écosystèmes.

Pour les écosystèmes comparables, à sols bruns vertiques dominants, qui représentent environ 10% de la zone semi-aride du Nordeste, il conviendra de prendre un certain nombre de précautions. Il faudra, en particulier, vérifier la relation sol-roche et les conditions de drainage (pentes, modèles, organisation de la couverture pédologique, présence d'un horizon C). Si les conditions sont égales ou comparables, l'extrapolation des résultats pourra se faire aisément avec quelques adaptations éventuelles. Si ces conditions sont différentes, on se trouve en présence d'un autre écosystème et tout est remis en cause.

#### 8 - APPORTS DE L'ATP

- Concrétisation de la volonté de chacun des membres de l'équipe ORSTOM "Ecosystèmes du Nordeste brésilien" de travailler sur un projet commun multidisciplinaire.
- Intensification des contacts avec le Groupe de Radioagronomie du Département d'Energie Nucléaire de l'Université Fédérale du Pernambouc (UFPE) à Recife (Equipe du Pr. Clemente Carneiro da Silva).
- Normalisation de nos relations avec le Centre des Sciences et Technologie du Département de Génie Civil de l'Université Fédérale de la Paraíba (UFPb) à Campina Grande (Pr. V.S. Srinivasan). Préparation d'une thèse de "Mestrado" sur la modélisation de l'écoulement et de l'érosion sur petits bassins versants par C. Galvo de Oliveira.
- Contacts fructueux avec le Centre de Technologie de l'UFPb à João Pessoa (Pr. A. Passerat de Silans). Préparation d'une thèse de "Mestrado" sur la modélisation de l'infiltration avec croute superficielle par J. Pequeno Brasil Montenegro.
- Echange de méthodologie avec l'équipe du projet MAPIMI dans la zone aride du nord du Mexique (J.P. Delhoume). De plus, deux des participants de notre projet ATP présenteront chacun une communication au Séminaire "Estúdio de las relaciones água-suelo-vegetación y ganado en la zona árida del norte de México orientado a la utilización racional de estos recursos" organisé par l'Institut Ecologique du Mexique du 23 au 27 octobre 1989 à Gómez Palacio.
- Collaboration étroite avec l'équipe de l'Institut de Géologie de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg (Dr. B. FRITZ).

- Collaboration prévue avec l'équipe ORSTOM d'Equateur concernant le transfert de notre méthodologie d'étude du ruissellement et de l'infiltration sous pluies simulées.
- Divers échanges avec certains membres d'autres projets de cette ATP, et notamment avec l'équipe du Pr. G.Vachaud pour une collaboration future (cf paragraphe suivant).

## 9 - ORIENTATION DES TRAVAUX

Une de nos premières préoccupations, dans le futur immédiat, est l'élaboration d'un modèle qui permettra de quantifier les flux qui ont été identifiés lors des travaux menés dans le cadre de cette ATP. Ce modèle sera ensuite utilisé pour estimer les termes du bilan hydrique et, si possible, préciser les règles de transfert en fonction des surfaces considérées (cf §7).

De plus, l'équipe se propose, en collaboration avec le groupe "Hydrologie-Ressources en eau" de l'Institut de Mécanique de Grenoble et le groupe de "Radioagronomie" du Département d'Energie Nucléaire de l'Université Fédérale du Pernambouc, de travailler sur un projet commun dans la zone semi-aride du Nordeste brésilien dont le thème principal serait la dynamique des transferts hydriques et minéraux dans le sol en système de culture régionale, et qui comprendrait les points suivants :

- expérimentation fine en laboratoire
- mesures de terrain
- modélisation.

## 10 - BIBLIOGRAPHIE - LISTE DES PUBLICATIONS

- [11] AUDRY(P.), CADIER(E.), LEPRUN(J.C.), MOLINIER(M.) - 1987 -  
Projet : "Dynamique de l'eau et des matières dans un écosystème  
représentatif du Nordeste brésilien. Conditions d'extrapolation  
spatiale à l'échelle régionale". Rapport d'avancement des travaux  
en juin 1987. ATP-PIREN, ORSTOM, Recife, 78p. multigr., 32fig.
- [2] AUDRY(P.), SIVA(Z.R.) -1981- Modelo agropedoclimatológico de  
avaliação frequencial das potencialidades agrícolas em regiões  
secas. II Congr. Bras. de Agrometeorologia, Pelotas, 5-10 de  
julho de 1981. Anais da Soc. Bras. de Agromet., 21-25.
- [3] BRASIL. -1972- Levantamento exploratório-reconhecimento de  
solos do estado da Paraíba. Rio de Janeiro, 683 p. (Boletim  
técnico, 15) (BRASIL-SUDENE. Pedologia, 8).
- [4] CADIER(E.), FREITAS(B.J.de) -1982- Bacia representativa de Sumé.  
Primeira estimativa dos recursos de água. Campanhas de 1973 a  
1980. Recife, SUDENE-DRN, Série Hidrologia, n°13.
- [5] CADIER(E.), FREITAS(B.J.de) -1983- Bacia experimental de Sumé.  
Instalação e primeiros resultados. Recife, SUDENE-DRN, Série  
hidrologia, n°16.
- [6] LEPRUN(J.C.), de ASSUNCAO(M.S.), CADIER(E.) - 1983 - Avaliação  
dos recursos hídricos das pequenas bacias do Nordeste semi-árido  
: características físico-químicas. SUDENE, Sér. Hidrologia n°15.
- [7] LEPRUN(J.C.) - 1983 - Relatório de fim de convênio de manejo e  
conservação do solo no Nordeste brasileiro (1982-1983). Rapport  
SUDENE-ORSTOM. Recife, 290 p., 5 cartes annexes.
- [8] MOLINIER(M.), AUDRY(P.), DESCONNETS(J.C.), LEPRUN(J.C.) - 1988 -  
Projet : "Dynamique de l'eau et des matières dans un écosystème  
représentatif du Nordeste brésilien. Conditions d'extrapolation  
spatiale à l'échelle régionale". Rapport d'avancement des travaux  
en juin 1988. ATP-PIREN, ORSTOM, Recife, 20 p., 3fig.
- [9] MOLINIER(M.), CADIER(E.) - 1985 - Les sècheresses du Nordeste  
brésilien. Cahier ORSTOM, Sér. Hydrol., vol. XXI, n°4, 1984-85; pp 23-  
49.
- [10] POSS(R.) -1987- BHYSON Logiciel intégré pour le traitement des  
données d'humidité neutronique. LOGOR, Edition de l'ORSTOM
- [11] RIBEIRO Filho(A.). TANURE(H.F.R.) -1978 - Estudo da vazão Mg/Na,  
Ca/Na, K/Na nas águas de chuva da bacia do Paraguaçu, Ba, Brasil.  
Rev. Bras. de Geoci. Vol.8, n°1, p.23-31.
- [12] UFPB-CNPq -1987- Modelo de aproveitamento hidrológico em bacias  
experimentais na região de Sumé. Campina Grande-PB
- [13] UFPB-CNPq-ORSTOM-SUDENE Dados e resultados obtidos na bacia  
experimental de Sumé. (à paraître)

[14] VAUCLIN(M.) -1987- Hydrodynamique dans les sols partiellement saturés déformables. Inst. Mec. Grenoble, 41p. + fig.

=====

Publications motivées en partie par l'ATP

CARVALHO(N.C. de), LEPRUN(J.C.) -1989 - Atmospheric input. Functional analysis between its components. Ouvrage américain type "Paper's" à paraître.

DESCONNETS(J.Ch.) -1989 - Organisation et comportement hydrique de l'association de sols bruns vertiques du bassin représentatif de Sumé (Pb). Mémoire de Maîtrise, Univ. d'Avignon, en cours de rédaction.

LEPRUN(J.C.) -1989 - Analogies et particularités des sols et des eaux de deux régions semi-arides, le Sahel de l'Afrique de l'Ouest et le Nord-Est brésilien. In : l'aridité : une contrainte au développement. Caractérisation-réponses biologiques-stratégies des Sociétés. Ouvrage de synthèse RZA-CNRS sous presse.

MOLINIER(M.) -1985 - Um minissimulador de chuva ou infiltrômetro de aspersão. VI Simpósio brasileiro de hidrologia e recursos hídricos. Sao Paulo, 11-14 nov.1985. Vol.3,pp. 405-418.

MOLINIER(M.), GALVAO(C.D.), GOMES(H.P.) -1987 - Determinação do escoamento de uma bacia hidrográfica através das técnicas de simulação de chuva. VII Simpósio brasileiro de hidrologia e recursos hídricos - Salvador,8-13 nov.1987,vol.2,pp 530-544.

MOLINIER(M.), AUDRY(P.), DESCONNETS(J.C.), LEPRUN(J.C.) - 1989 - Modelagem do escoamento e da infiltração em um solo bruno não cálcico do Nordeste. VIII Simpósio brasileiro de hidrologia e recursos hídricos Foz do Iguaçu, nov.1989, à paraître

PEQUENO BRASIL MONTENEGRO(J.) -1990- Modelização da infiltração numa parcela experimental apresentando uma crosta superficial. Thèse de "Mestrado". Université Fédérale de la Paraíba, Joao Pessoa, Brésil. A paraître au début de l'année 1990.

ATP-FIREN : Influence à l'échelle régionale des couvertures pédologiques et végétales sur les bilans hydriques et minéraux des sols.

Projet : Dynamique de l'eau et des matières dans un écosystème représentatif du Nordeste brésilien. Conditions d'extrapolation spatiale à l'échelle régionale

## ANNEXES AU RAPPORT FINAL

ANNEXE A - Milieu physique - Plan de situation  
Tableaux de résultats sur microparcelles

ANNEXE B - Acquis en pédologie

ANNEXE C - Hydrodynamique

ANNEXE D - Géochimie des eaux

RECIFE, mai 1989

## A N N E X E - A

=====

### MILIEU PHYSIQUE

-----

Le bassin expérimental de Sumé, situé dans la zone semi-aride du Nordeste brésilien (7°40'S, 37°00W) fait partie d'un bassin représentatif de 137,4 km<sup>2</sup>. Il est inclus dans le sous-bassin d'Umburana, d'une superficie de 10,7 km<sup>2</sup>, qui est étudié d'un point de vue hydrologique par la SUDENE (Superintendance de Développement du Nordeste) depuis 1971. A l'amont d'un réservoir collinaire ou "açude" ont été installés divers équipements de mesure. La zone étudiée a été choisie en fonction de l'homogénéité du sol et de la représentativité régionale des sols, du climat, des roches, du relief, de la végétation et des pratiques culturales traditionnelles utilisées.

Dans ses grands traits le climat est caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle de 600 mm, un coefficient de variation annuel pouvant dépasser 50%, 7 à 8 mois secs par an, une température moyenne de 24°C et une évaporation moyenne annuelle élevée de 2900 mm du réservoir de classe A. L'agressivité climatique déterminée par le facteur d'érosivité des pluies est assez élevée quand on relie ce facteur aux faibles précipitations (R de WISWCHMEIER moyen de 329 pour une période de 7 ans).

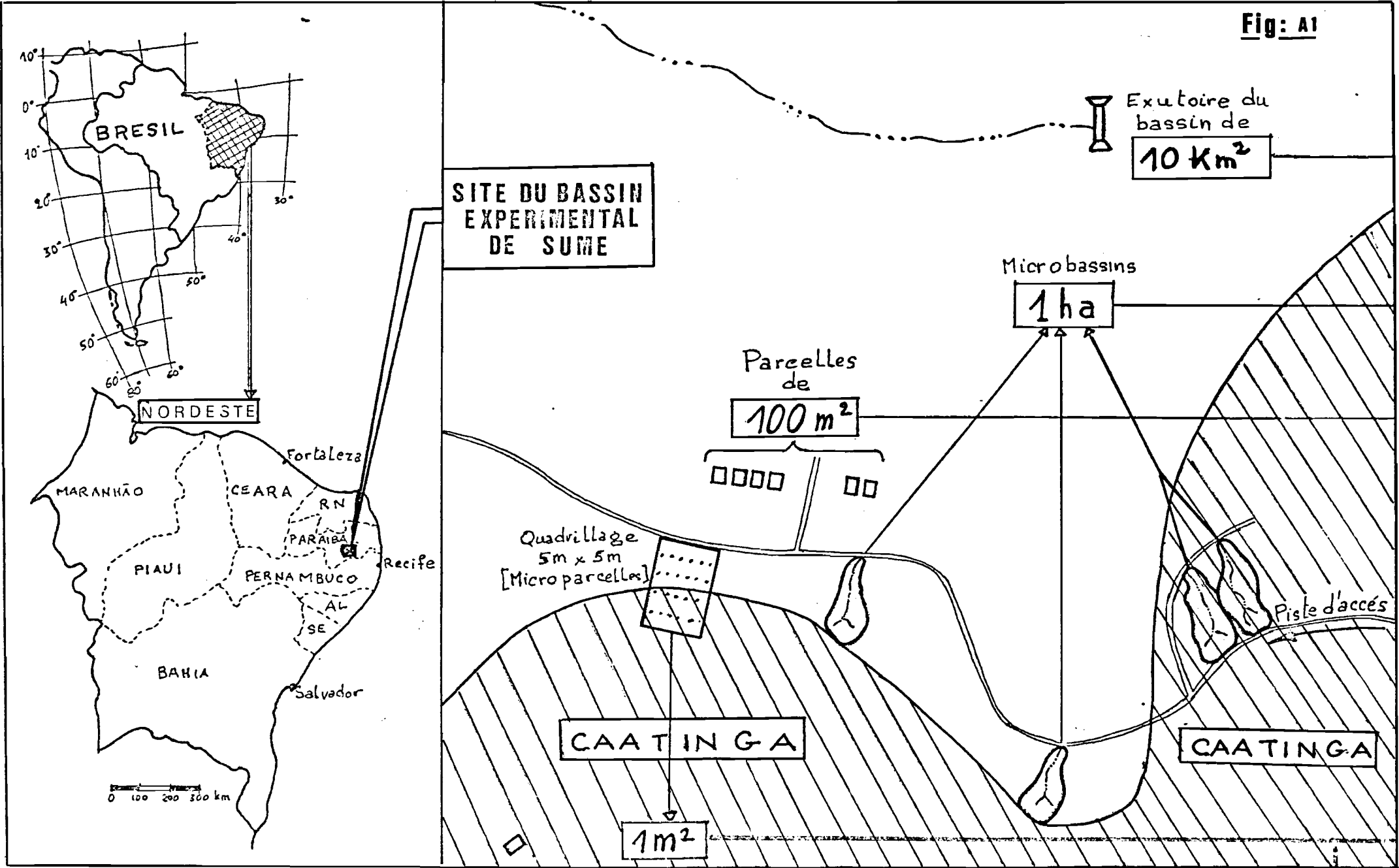
Les roches dominantes sont celles du socle précambrien et sont constituées de gneiss, schistes, migmatites, amphibolites et pegmatites. Le relief, peu ondulé, est composé de versants courts de pente variant de 4 à 9% en moyenne. La couverture végétale est une "caatinga", c'est à dire un bush épineux xérophyte arbustif et arboré de 2 à 5 m de hauteur, riche en légumineuses et pauvre en strate herbacée graminéenne. Le pouvoir de régénération de cette "caatinga" est remarquable par sa rapidité de croissance et sa production et constitue un facteur de protection efficace du sol contre l'érosion.

Les sols de la zone d'étude qui seront étudiés dans le chapitre 4.1 sont constitués pour 85% de sols classés sols bruns non calciques vertiques et pour 15% de sols bruns non calciques modaux, c'est à dire non vertiques et de vertisols. Les taux d'infiltration faibles (quelques mm h<sup>-1</sup>), la forte évaporation, la faible épaisseur des sols et leur richesse en minéraux altérables et altérés provenant du socle cristallin déterminent des eaux à minéralisation forte étudiées en 4.3 qui constituent un réel danger pour l'irrigation.

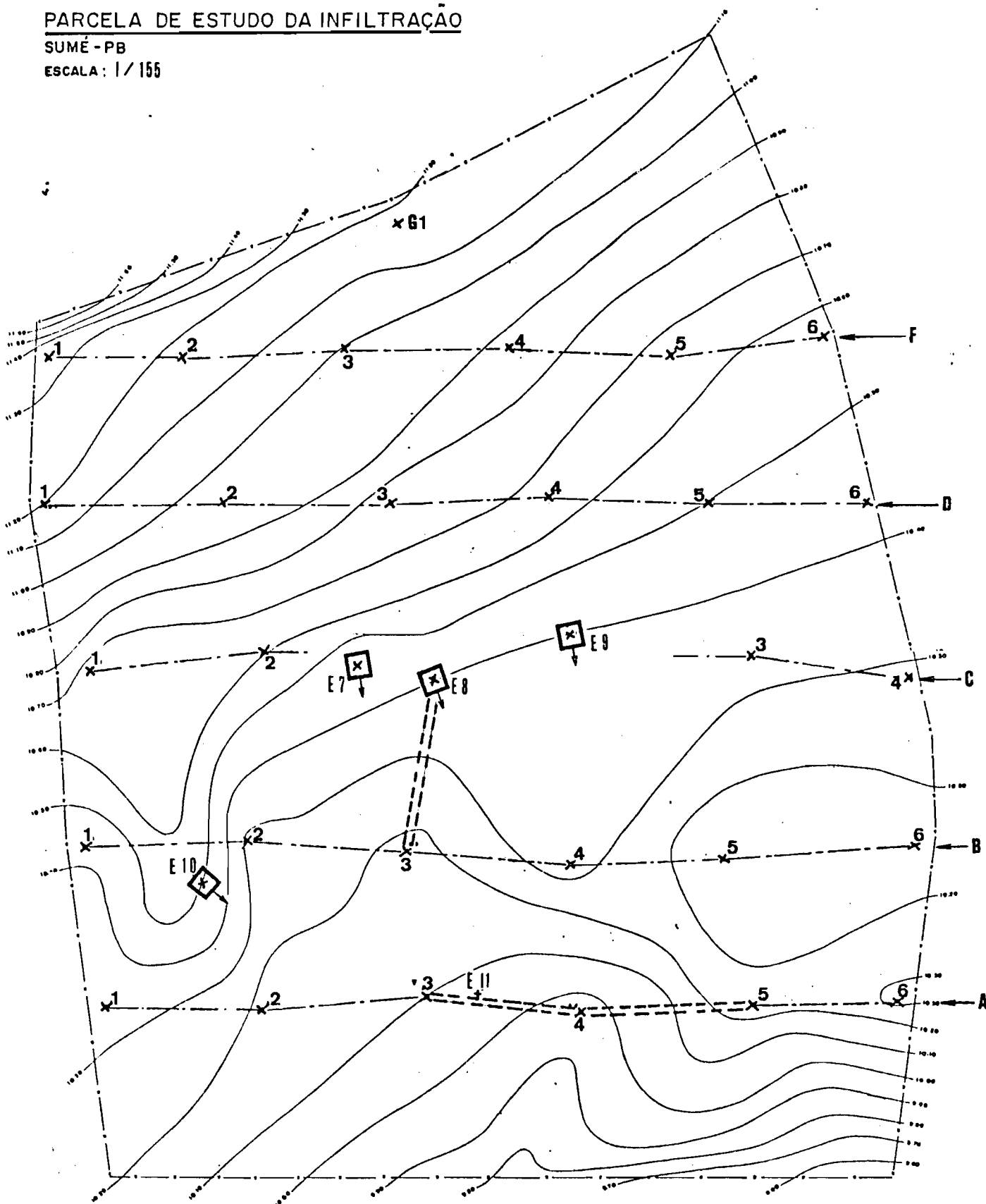
Ces sols, le plus souvent riches chimiquement, ont des potentialités agricoles limitées du fait de leur profondeur et de leur perméabilité faibles et des précipitations réduites et aléatoires. Ils sont cultivés en coton arbustif, en maïs, haricot et agave fourragère et en horticulture (tomate principalement) sous irrigation.

La pratique culturale la plus employée est celle de la préparation du sol et du semis dans le sens de la plus grande pente après défrichement et brulis. Les cultures associées telles que maïs-haricot et coton-agave fourragère sont très utilisées. La population en majorité rurale est issue du métissage entre les colons portugais et les indiens et pratique une agriculture traditionnelle de bas niveau technologique et un élevage extensif.

Fig: A1



**PARCELA DE ESTUDO DA INFILTRAÇÃO**  
SUMÉ - PB  
ESCALA : 1 / 155



□ : MICROPARCELLE 1M<sup>2</sup>  
↓  
D3<sub>x</sub> : TUBE DE SONDE A NEUTRONS

**Fig: A2**

TABLEAU A1

PLUIES SIMULEES sur MICROPARCELLES de 1m <sup>2</sup> de 1985 à 1987											
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Numero Parcelle	Numero Pluie	Date J-M-A	Pluie Imbib	Hauteur Pluie	Lame Ruis	Lame Infil.	Indice de pluie	Coef ruis	Coef AL	Coef BL	Apports Solides
UNITEES			mm	mm	mm	mm	mm	%			kg/ha
EA	P1	08-11-85	47.9	47.9	0.0	47.9	0	0.0%			
EA	P2	08-11-85	12.4	47.9	3.6	44.3	47	7.5%	0.101	-0.24	
EA	P3	09-11-85	9.3	47.9	13.9	34.0	92	29.0%	0.388	-3.39	
EA	P4	09-11-85	5.8	47.9	22.1	25.8	140	46.1%	0.539	-3.10	
EB	P1	10-11-85	16.7	16.7	0.0	16.7	0	0.0%			
EB	P2	16-11-85	9.3	47.9	3.7	44.2	12	7.7%	0.091	0.06	
EB	P3	17-11-85	5.3	47.9	23.2	24.7	57	48.4%	0.562	-3.35	
EB	P4	19-12-85	1.5	49.2	29.2	20.0	78	59.3%	0.654	-0.79	
EB	P5	19-12-85	1.3	49.2	29.9	19.3	125	60.8%	0.644	-0.40	
EB	P6	20-12-85	1.3	49.2	31.1	18.1	169	63.2%	0.681	-0.86	
EB	P7	20-12-85	1.3	49.2	33.5	15.7	217	68.1%	0.734	-1.65	
EE	P1	17-12-85	3.8	49.2	28.4	20.8	25	57.7%	0.691	-5.52	
EE	P2	17-12-85	2.7	49.2	36.5	12.7	73	74.2%	0.798	-2.66	
EE	P3	18-12-85	1.9	49.2	39.0	10.2	119	79.3%	0.826	-2.09	
EE	P4	18-12-85	1.3	49.2	39.5	9.7	167	80.3%	0.824	-1.24	
EE	P5	18-12-85	1.5	49.2	39.1	10.1	214	79.5%	0.829	-1.39	
EE	P6	03-12-86	7.3	37.4	18.8	18.6	21	50.3%	0.704	-6.57	635.6
EE	P7	03-12-86	1.9	30.3	26.3	4.0	58	86.8%	0.953	-3.01	1722.6
EE	P8	04-12-86	1.4	30.3	28.2	2.1	85	93.1%	0.996	-2.14	1438.7
EE	P9	04-12-86	1.1	30.3	26.1	4.2	115	86.1%	0.922	-1.74	1453.3
EE	P10	04-12-86	1.3	35.0	25.8	9.2	144	73.7%	0.769	-1.25	
EE	P11	07-12-86	3.9	30.3	16.8	13.5	35	55.4%	0.684	-3.53	
ES	P1	04-12-87	38.4	38.4	0.0	38.4	0	0.0%			
ES	P2	04-12-87	38.4	38.4	0.0	38.4	38	0.0%			
ES	P3	05-12-87	42.3	42.3	0.0	42.3	74	0.0%			
ES	P4	05-12-87	42.3	42.3	0.0	42.3	116	0.0%			
ES	P5	05-12-87	23.5	42.3	0.3	42.0	157	0.7%			
E6	P1	16-12-87	31.5	31.5	0.0	31.5	0	0.0%			
E6	P2	16-12-87	10.5	31.5	0.5	31.0	31	1.6%			
E6	P3	16-12-87	3.4	33.8	3.1	30.7	62	9.2%			
E6	P4	17-12-87	7.3	18.7	2.5	16.2	93	13.4%			
E6	P5	17-12-87	6.3	31.7	9.5	22.2	111	30.0%			

TABLEAU A2

PLUIES SIMULEES sur MICROPARCELLES de 1m <sup>2</sup> de 1985 à 1987											(Suite)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]
Numero Parcelle	Numero Pluie	Date J-M-A	Pluie Imbib	Hauteur Pluie	Lame Ruis	Lame Infil.	Indice de pluie	Coef ruis	Coef AL	Coef BL	Apports Solides
UNITEES			mm	mm	mm	mm	mm	%		mm	kg/ha
E1	P1	09-09-86	12.5	35.6	1.1	34.5	5	3.1%	0.026	-0.24	
E1	P2	09-09-86	5.3	38.7	17.8	20.9	40	46.0%	0.547	-4.36	
E1	P3	10-09-86	2.7	38.5	19.7	18.8	76	51.2%	0.589	-1.71	
E1	P4	10-09-86	2.0	38.5	26.2	12.3	114	68.1%	0.744	-2.39	
E1	P5	10-09-86	2.5	32.1	20.2	11.9	151	62.9%	0.695	-2.53	
E1	P6	12-09-86	2.0	37.5	23.5	14.0	174	62.7%	0.684	-2.30	
E1	P7	25-09-86	7.1	37.1	13.2	23.9	32	35.6%	0.466	-3.20	
E2	P1	23-09-86	8.8	35.7	3.4	32.3	5	9.5%	0.124	-0.51	
E2	P2	23-09-86	4.1	37.6	16.0	21.6	40	42.6%	0.545	-2.45	
E2	P3	24-09-86	2.8	37.0	17.0	20.0	75	45.9%	0.571	-1.96	
E2	P4	24-09-86	2.5	37.0	18.8	18.2	112	50.8%	0.633	-1.91	
E2	P5	24-09-86	2.5	37.5	22.3	15.2	147	59.5%	0.687	-2.18	
E2	P6	26-09-86	2.3	37.0	26.8	10.2	167	72.4%	0.795	-2.55	
E2	P7	22-10-86	2.3	36.8	12.8	24.1	54	34.7%	0.429	-1.76	
E2	P8	05-12-86	6.2	30.3	9.4	20.9	18	31.0%	0.454	-3.12	230.3
E2	P9	08-12-86	20.1	30.3	1.0	29.3	41	3.3%	0.119	-2.40	
E2	P10	08-12-86	3.1	30.3	13.9	16.4	71	45.9%	0.574	-2.90	519.2
E2	P11	09-12-86	2.1	30.3	20.1	10.2	98	66.3%	0.764	-2.63	822.1
E2	P12	09-12-86	1.7	30.3	20.1	10.2	127	66.3%	0.743	-2.01	583.1
E2	P13	09-12-86	1.5	30.3	21.1	9.2	156	69.6%	0.781	-2.29	1012.3
E2	P14	12-12-86	4.1	30.3	11.1	19.2	167	36.6%	0.500	-3.48	
E2	P15	14-12-86	7.7	33.1	8.3	24.8	25	25.1%	0.339	-2.14	
E2	P16	26-11-87	48.3	75.0	0.2	74.8	0	0.3%	0.007	-0.33	
E2	P17	26-11-87	8.2	32.5	4.8	27.7	74	14.8%	0.119	-1.75	
E2	P18	27-11-87	8.0	27.4	5.9	21.5	122	21.5%	0.312	-3.09	
E2	P19	27-11-87	2.9	29.0	11.4	17.6	149	39.3%	0.443	-2.44	
E3	P1	23-10-86	11.1	36.9	5.4	31.5	1	14.6%	0.227	-2.34	
E3	P2	23-10-86	3.5	36.9	18.0	18.9	38	48.8%	0.629	-2.98	
E3	P3	24-10-86	2.1	36.9	26.6	10.3	72	72.1%	0.793	-2.37	
E3	P4	24-10-86	2	36.9	25.5	11.4	109	69.1%	0.768	-2.25	
E3	P5	24-10-86	1.7	36.9	28.7	8.2	145	77.8%	0.845	-2.52	
E3	P6	04-11-86	7.3	36.9	19.3	17.6	35	52.3%	0.684	-5.39	

TABLEAU A3

PLUIES SIMULEES PROLONGEES : Premier jour --> Pluie P1 ..... : Deuxieme jour --> Pluie P2							
>>>>>> PARCELLE E7 <<<<<<<<							
HUMIDITE VOLUMIQUE - PROFONDEURS EN CM Valeurs lissées							
(Zero de la date ---> 0 heure du 13-12-88)							
Date	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm	55cm	
0.63	3.82	6.88	6.32	7.25	8.06	8.06	Déb. P1
0.82	23.55	19.21	9.34	8.16	8.43	8.60	Fin P1
1.34	18.89	18.85	12.65	8.89	9.49	9.92	Déb. P2
1.36	20.29	18.92	12.79	8.96	9.54	9.83	
1.40	23.94	21.37	12.93	9.07	9.58	10.63	
1.47	25.65	25.27	18.04	10.67	11.68	12.90	
1.52	26.27	25.92	21.63	16.48	16.10	17.49	
1.53	25.42	25.84	22.14	18.48	16.61	17.66	Fin P2
1.55	24.57	25.19	21.99	18.19	16.90	18.25	
1.57	23.79	24.76	21.78	18.31	16.78	18.50	
1.59	23.63	24.76	21.92	18.48	16.78	17.24	
1.60	23.36	24.51	21.67	18.42	16.78	17.16	
2.00	23.20	24.45	21.20	18.00	16.00	16.40	
2.50	20.90	21.90	19.65	17.50	15.70	15.90	
3.50	18.75	20.05	18.45	16.60	15.00	15.35	
3.75	18.30	19.70	18.30	16.45	14.90	15.30	
4.50	17.00	18.70	17.70	16.00	14.65	15.00	
5.50	15.45	17.50	17.00	15.60	14.35	14.65	
6.50	14.15	16.40	16.40	15.30	14.05	14.40	
7.50	13.05	15.50	15.70	14.95	13.80	14.20	
8.50	12.10	14.55	15.10	14.64	13.64	14.04	
9.50	11.30	13.90	14.55	14.34	13.47	13.87	
10.50	10.70	13.30	13.90	14.03	13.31	13.71	
11.50	10.10	12.75	13.40	13.72	13.14	13.54	
12.50	9.65	12.25	12.80	13.41	12.98	13.38	
13.50	9.25	11.75	12.30	13.11	12.81	13.21	
14.50	8.85	11.35	11.90	12.80	12.65	13.05	
15.50	8.65	11.00	11.65	12.53	12.42	12.84	
16.50	8.42	10.81	11.36	12.27	12.19	12.63	
17.50	8.19	10.61	11.08	12.00	11.96	12.42	
18.50	7.96	10.42	10.79	11.73	11.73	12.21	
19.50	7.74	10.23	10.51	11.47	11.50	12.00	
20.50	7.51	10.04	10.22	11.20	11.27	11.79	
21.50	7.28	9.84	9.94	10.93	11.04	11.58	
22.50	7.05	9.65	9.65	10.67	10.81	11.37	
23.50	6.92	9.50	9.44	10.40	10.58	11.16	
24.50	6.79	9.35	9.24	10.13	10.35	10.95	
25.50	6.66	9.20	9.03	9.87	10.12	10.74	
26.50	6.54	9.05	8.82	9.60	9.89	10.53	
27.50	6.41	8.90	8.61	9.33	9.66	10.32	
28.50	6.28	8.75	8.41	9.07	9.43	10.11	
29.50	6.15	8.60	8.20	8.80	9.20	9.90	

TABLEAU A4

-----

=====

PLUIES SIMULEES PROLONGEES : Premier jour --> Pluie P1  
 ..... : Deuxième jour --> Pluie P2

=====

>>>>>> PARCELLE E9 <<<<<<<<

=====

HUMIDITE VOLUMIQUE - PROFONDEURS EN CM  
 Valeurs lissées

-----

(Zero de la date ---> 0 heure du 11-01-89)

=====

Date	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm	54cm	
0.51	2.55	9.20	22.40	21.48	13.57	12.46	deb.P1
0.73	17.92	18.91	25.40	22.06	15.08	13.14	fin P1
1.36	14.93	19.56	27.42	23.20	13.83	14.51	déb.P2
1.43	18.79	22.60	29.53	23.20	14.06	12.80	
1.50	20.39	25.70	37.22	35.20	21.94	19.54	
1.57	22.47	27.98	37.92	34.12	22.06	23.09	fin P2
2.00	22.20	27.70	39.00	33.50	22.10	22.00	
2.50	22.00	26.90	39.40	34.60	21.70	21.90	
3.50	20.90	25.40	39.70	33.80	21.40	21.50	
4.50	19.60	24.40	39.40	32.90	21.30	21.70	
5.50	18.50	23.60	39.00	33.10	21.30	21.75	
6.50	17.50	23.00	38.80	34.00	21.40	21.60	
7.50	16.50	22.50	38.60	34.30	21.50	21.50	
8.50	15.70	22.10	38.40	34.20	21.65	21.60	
9.50	15.15	21.80	38.20	34.10	21.75	21.80	
10.50	14.90	21.50	37.95	34.00	21.85	21.90	
11.50	14.30	21.30	37.65	33.95	21.95	22.00	
12.50	13.40	20.90	37.30	33.95	21.70	21.90	
13.50	12.60	20.30	36.70	34.00	21.60	21.80	
14.50	11.40	19.10	36.20	34.30	21.80	21.50	
15.50	10.30	18.00	35.60	34.80	22.30	21.30	
16.50	9.70	17.30	35.10	34.90	22.60	20.90	
17.50	9.30	17.10	34.70	34.70	22.60	20.60	
18.50	9.10	16.95	34.35	34.30	22.20	20.57	
19.50	9.00	16.90	34.10	33.80	21.70	20.54	
20.50	8.90	16.80	33.90	33.50	21.40	20.50	
21.50	8.88	16.78	33.78	33.27	21.38	20.47	
22.50	8.86	16.75	33.66	33.04	21.37	20.44	
23.50	8.84	16.73	33.54	32.81	21.35	20.41	
24.50	8.82	16.71	33.42	32.57	21.34	20.37	
25.50	8.79	16.68	33.29	32.34	21.32	20.34	
26.50	8.77	16.66	33.17	32.11	21.31	20.31	
27.50	8.75	16.63	33.05	31.88	21.29	20.28	
28.50	8.73	16.61	32.93	31.65	21.27	20.25	
29.50	8.71	16.59	32.81	31.42	21.26	20.22	
30.50	8.69	16.56	32.69	31.18	21.24	20.18	
31.50	8.67	16.54	32.57	30.95	21.23	20.15	
32.50	8.65	16.52	32.45	30.72	21.21	20.12	
33.50	8.63	16.49	32.33	30.49	21.19	20.09	
34.50	8.61	16.47	32.21	30.26	21.18	20.06	
35.50	8.58	16.44	32.08	30.03	21.16	20.03	
36.50	8.56	16.42	31.96	29.79	21.15	19.99	
37.50	8.54	16.40	31.84	29.56	21.13	19.96	
38.50	8.52	16.37	31.72	29.33	21.12	19.93	
39.50	8.50	16.35	31.60	29.10	21.10	19.90	

TABLEAU A5

PLUIES SIMULEES PROLONGEES : Premier jour --> Pluie P1 ..... : Deuxième jour --> Pluie P2						
>>>>>> PARCELLE E10 <<<<<<<<						
HUMIDITE VOLUMIQUE - PROFONDEURS EN CM Valeurs lissées						
(Zero de la date ---> 0 heure du 22-02-89)						
Date	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm	55cm
0.01	3.32	8.16	11.83	13.36	13.87	13.16
0.47	6.63	11.73	13.16	14.94	14.43	13.92
0.56	26.78	24.84	27.39	23.97	20.40	18.72
1.31	21.27	24.22	27.39	24.38	20.40	18.72
1.40	26.78	25.50	28.05	25.09	20.91	19.13
1.44	28.41	25.60	28.15	24.07	20.25	19.64
1.90	27.25	24.52	26.98	24.32	22.19	20.66
2.40	25.98	23.35	25.70	24.59	24.31	21.77
3.00	24.47	21.94	24.17	24.91	26.85	23.10
3.44	23.36	20.91	23.05	25.14	28.71	24.07
5.00	21.18	18.31	22.48	24.38	26.17	22.61
7.20	18.11	14.64	21.68	23.31	22.59	20.55
10.00	16.07	13.68	21.29	22.90	22.50	20.82
19.50	9.18	10.46	19.99	21.52	22.19	21.73

: déb. P1

: fin P1

: déb. P2

: fin P2

PLUIES SIMULEES PROLONGEES : Premier jour --> Pluie P1  
 ..... : Deuxieme jour --> Pluie P2

PARCELLE E7

POTENTIEL TOTAL LISSE

Date en jours et fractions de jour : Zéro de la date --> 0 heure du 13-12-88

Date	10cm	15cm	25cm	35cm	45cm	55cm	65cm	-1.55	
0.63	780.0	780.0	780.0	770.0	770.0	565.0	111.2	-0.92	Debut P1
0.82	6.6	94.8	780.0	770.0	770.0	565.0	138.9	-0.73	Fin P1
1.34	88.5	130.0	780.0	770.0	770.0	565.0	92.3	-0.21	Debut P2
1.35	69.5	135.0	780.0	770.0	770.0	565.0	92.3	-0.20	
1.36	31.0	130.0	780.0	770.0	770.0	565.0	88.5	-0.19	
1.37	16.0	113.0	780.0	770.0	770.0	565.0	88.5	-0.18	
1.38	8.0	83.0	780.0	770.0	770.0	565.0	88.5	-0.17	
1.39	6.0	57.0	780.0	770.0	770.0	565.0	88.5	-0.16	
1.40	4.7	42.0	780.0	770.0	770.0	565.0	88.5	-0.15	
1.41	3.6	32.5	780.0	770.0	770.0	565.0	77.0	-0.14	
1.42	2.5	30.0	780.0	770.0	770.0	565.0	59.5	-0.13	
1.43	1.6	26.5	780.0	770.0	770.0	565.0	56.2	-0.12	
1.44	1.6	22.0	780.0	770.0	770.0	565.0	54.0	-0.11	
1.45	1.6	19.0	768.0	770.0	770.0	552.0	52.0	-0.10	
1.46	1.6	18.0	767.0	770.0	770.0	543.0	49.7	-0.09	
1.47	1.6	17.9	766.0	770.0	770.0	534.0	47.8	-0.08	
1.48	1.6	17.9	765.0	770.0	770.0	525.0	46.0	-0.07	
1.49	1.6	17.9	764.0	770.0	770.0	516.0	44.4	-0.06	
1.50	1.6	17.9	763.0	770.0	770.0	429.0	42.9	-0.05	
1.51	1.6	17.9	763.0	770.0	770.0	342.0	41.0	-0.04	
1.52	12.0	20.0	760.0	770.0	770.0	96.0	30.5	-0.03	
1.53	17.0	24.6	760.0	770.0	770.0	46.9	38.0	-0.02	Fin P2
1.54	20.0	27.4	760.0	770.0	770.0	46.9	40.2	-0.01	
1.55	24.0	30.0	760.0	770.0	770.0	46.9	43.0	0.00	
1.56	26.7	32.3	760.0	770.0	770.0	46.9	45.1	0.01	
1.57	29.8	34.5	754.0	770.0	770.0	48.0	47.2	0.02	
1.58	32.4	36.3	751.0	770.0	770.0	49.0	48.9	0.03	
1.59	34.6	38.4	750.0	770.0	770.0	49.5	50.0	0.04	
1.60	36.1	40.0	749.0	770.0	770.0	50.0	51.6	0.05	
1.99	58.0	63.0	52.0	770.0	770.0	66.0	71.0	0.44	
2.49	74.0	80.0	84.0	760.0	770.0	77.0	81.0	0.94	
3.49	132.0	134.0	124.0	660.0	280.0	97.0	95.0	1.94	
3.75	155.0	152.0	136.0	504.0	124.0	105.0	102.0	2.20	
4.49	256.0	244.0	180.0	156.0	140.0	123.0	115.0	2.94	
5.49	445.0	424.0	260.0	181.0	170.0	150.0	127.0	3.94	
5.99	540.0	560.0	310.0	196.0	190.0	154.0	132.0	4.44	
6.49	635.0	700.0	380.0	220.0	220.0	170.0	140.0	4.94	
7.49	720.0	755.0	510.0	325.0	350.0	210.0	148.0	5.94	
8.49	760.0	770.0	670.0	435.0	480.0	245.0	156.0	6.94	
10.49	780.0	780.0	780.0	640.0	740.0	350.0	172.0	8.94	
12.49	780.0	780.0	780.0	735.0	765.0	460.0	188.0	10.94	
14.49	780.0	780.0	780.0	750.0	770.0	550.0	202.0	12.94	
16.49	780.0	780.0	780.0	765.0	770.0	610.0	218.0	14.94	
18.49	780.0	780.0	780.0	770.0	770.0	648.0	-	16.94	
20.49	780.0	780.0	780.0	770.0	770.0	676.0	-	18.94	
22.49	780.0	780.0	780.0	770.0	770.0	698.0	-	20.94	
24.49	780.0	780.0	780.0	770.0	770.0	714.0	-	22.94	
26.49	780.0	780.0	780.0	770.0	770.0	720.0	-	24.94	

TABLEAU A7

PLUIES SIMULEES PROLONGEES : Premier jour --> Pluie P1							
..... : Deuxieme jour --> Pluie P2							
>>>>>> PARCELLE E9 <<<<<<<							
POTENTIEL TOTAL LISSE							
Date en jours et fractions de jour : Zéro date --> 0 heure du 11-01-89							
Date	10cm	15cm	25cm	35cm	45cm	50cm	-1.5
0.51	775.0	775.0	775.0	770.0	791.0	800.0	-0.99
0.73	16.1	778.4	794.8	569.2	791.0	800.0	-0.77
1.36	62.7	67.1	683.9	656.0	791.0	800.0	-0.14
1.40	28.5	39.8	672.0	656.0	791.0	800.0	-0.10
1.43	13.6	19.9	584.0	656.0	791.0	800.0	-0.07
1.45	13.5	18.5	33.5	656.0	791.0	800.0	-0.05
1.46	13.5	18.5	28.0	656.0	791.0	800.0	-0.04
1.47	13.5	18.2	27.0	656.0	791.0	800.0	-0.03
1.48	13.3	17.4	26.2	656.0	791.0	800.0	-0.02
1.49	12.0	15.0	25.3	578.0	791.0	800.0	-0.01
1.50	9.8	12.3	23.7	37.5	791.0	800.0	0.00
1.51	9.8	12.3	21.1	23.5	791.0	800.0	0.01
1.52	9.5	12.3	16.5	19.5	791.0	800.0	0.02
1.53	8.5	11.0	16.0	17.0	791.0	800.0	0.03
1.54	7.0	9.4	14.9	15.5	791.0	800.0	0.04
1.55	5.5	7.6	13.6	14.3	791.0	800.0	0.05
1.56	4.0	5.8	9.5	13.0	791.0	800.0	0.06
1.57	2.4	4.2	6.0	9.8	791.0	800.0	0.07
1.58	2.4	2.4	2.4	6.2	791.0	800.0	0.08
1.59	6.2	6.2	6.2	10.0	791.0	800.0	0.09
1.60	9.4	9.4	10.4	13.0	791.0	800.0	0.10
1.61	10.8	10.8	12.2	15.7	791.0	800.0	0.11
1.62	11.0	11.0	12.5	16.4	791.0	800.0	0.12
1.63	11.5	11.5	12.5	16.5	791.0	800.0	0.13
1.64	13.0	13.0	14.0	19.0	791.0	800.0	0.14
1.65	13.8	13.8	15.0	20.1	791.0	800.0	0.15
1.69	15.0	15.0	15.0	20.9	65.4	309.0	0.19
1.85	20.0	20.0	20.0	23.8	81.8	605.0	0.35
2.00	22.0	22.0	22.0	27.0	85.0	752.0	0.50
2.50	31.8	31.8	31.8	36.8	103.0	725.0	1.00
3.00	40.1	40.1	40.1	46.2	110.0	685.0	1.50
4.00	62.9	62.9	62.9	72.5	147.0	590.0	2.50
5.00	100.0	100.0	100.0	111.0	197.0	495.0	3.50
5.50	120.5	123.0	125.0	140.0	227.0	417.5	4.00
6.00	141.0	146.0	150.0	169.0	257.0	240.0	4.50
6.50	180.0	190.0	195.0	217.0	300.0	92.0	5.00
7.00	230.0	245.0	260.0	260.0	340.0	87.0	5.50
8.00	340.0	390.0	475.0	335.0	425.0	200.0	6.50
9.00	450.0	540.0	685.0	417.0	497.0	270.0	7.50
9.50	495.0	597.5	705.5	456.0	528.5	300.0	8.00
10.00	540.0	655.0	726.0	495.0	560.0	330.0	8.50
12.00	705.0	757.0	763.0	622.0	650.0	400.0	10.50
14.00	755.0	770.0	775.0	700.0	725.0	463.0	12.50
16.00	775.0	775.0	775.0	750.0	765.0	515.0	14.50
17.00	775.0	775.0	775.0	763.0	765.0	535.0	15.50
29.50	775.0	775.0	775.0	770.0	765.0	555.0	28.00

TABLEAU A8

PLUIES SIMULEES PROLONGEES : Premier jour --> Pluie P1								
..... : Deuxieme jour --> Pluie P2								
>>>>>> PARCELLE E10 <<<<<<<<								
POTENTIEL TOTAL LISSE								
Date en jours et fractions de jour : Zéro de la date --> 0 heure du 22-02-89								
Date	10cm	15cm	25cm	35cm	45cm	55cm	65cm	-1.44
0.47	765.0	765.0	750.0	770.0	740.0	77.1	292.6	-0.97
0.56	6.6	6.6	6.6	6.6	17.9	6.6	7.8	-0.88
1.31	10.5	4.0	36.5	69.0	65.0	52.0	68.0	-0.13
1.33	-5.8	-7.6	-1.3	27.0	29.0	27.6	46.0	-0.11
1.34	-8.3	-8.3	-3.3	5.6	13.1	13.1	33.3	-0.10
1.35	-8.3	-8.3	-5.8	0.5	7.1	8.4	27.5	-0.09
1.36	-8.3	-8.3	-5.8	0.5	5.6	8.1	25.0	-0.08
1.37	-8.3	-8.3	-5.8	-0.1	4.3	5.6	22.5	-0.07
1.38	-9.6	-8.3	-5.8	-1.4	1.8	5.0	22.0	-0.06
1.39	-9.6	-8.3	-5.8	-2.0	1.8	4.3	19.4	-0.05
1.40	-9.6	-8.3	-5.8	-2.0	1.8	2.8	18.3	-0.04
1.41	-8.3	-7.0	-4.5	-3.3	3.0	-0.7	17.0	-0.03
1.42	-3.7	-2.9	-0.3	-1.8	4.7	0.8	18.5	-0.02
1.43	-1.3	-1.3	1.3	3.0	6.3	5.3	20.0	-0.01
1.44	1.5	1.5	4.0	8.3	8.7	8.5	21.7	0.00
1.45	2.0	2.0	4.4	4.8	9.6	7.3	22.2	0.01
1.46	3.5	3.5	6.0	8.5	11.0	11.0	23.6	0.02
1.47	6.2	6.2	8.7	12.2	12.8	12.5	25.3	0.03
1.48	4.3	4.3	9.8	7.5	11.4	8.8	24.0	0.04
1.49	4.3	4.3	6.8	4.3	10.6	4.3	23.3	0.05
1.50	5.2	5.2	7.8	5.8	5.8	11.5	23.8	0.06
1.61	14.4	14.4	18.2	23.2	23.2	23.2	30.8	0.17
1.70	16.9	19.4	20.7	25.7	25.7	25.7	37.1	0.26
1.90	25.7	30.8	32.0	34.5	37.1	29.5	39.6	0.46
2.40	43.8	55.5	53.9	59.0	59.7	41.6	54.5	0.96
3.00	70.0	121.0	85.0	87.0	87.0	51.6	69.0	1.56
4.00	179.0	424.0	156.0	147.0	133.0	61.0	80.0	2.56
5.00	415.0	685.0	245.0	215.0	177.0	61.0	88.0	3.56
6.00	650.0	745.0	375.0	300.0	225.0	61.0	92.0	4.56
7.00	730.0	760.0	545.0	425.0	272.0	61.0	94.0	5.56
8.00	760.0	765.0	680.0	565.0	313.0	61.0	95.0	6.56
9.00	765.0	765.0	710.0	725.0	360.0	61.0	95.0	7.56
10.00	765.0	765.0	725.0	770.0	405.0	61.0	95.0	8.56
11.00	765.0	765.0	738.0	770.0	452.0	61.0	95.0	9.56
12.00	765.0	765.0	745.0	770.0	500.0	61.0	95.0	10.56
13.00	765.0	765.0	750.0	770.0	555.0	61.0	95.0	11.56
14.00	765.0	765.0	750.0	770.0	605.0	61.0	95.0	12.56
15.00	765.0	765.0	750.0	770.0	650.0	61.0	95.0	13.56
16.00	765.0	765.0	750.0	770.0	680.0	61.0	95.0	14.56
17.00	765.0	765.0	750.0	770.0	702.0	61.0	95.0	15.56
18.00	765.0	765.0	750.0	770.0	720.0	61.0	95.0	16.56
19.00	765.0	765.0	750.0	770.0	732.0	61.0	95.0	17.56
20.00	765.0	765.0	750.0	770.0	740.0	61.0	95.0	18.56

TABLEAU A9

PLUIES SIMULEES PROLONGEES : Premier jour --> Pluie P1							
..... : Deuxième jour --> Pluie P2							
>>>>>> PARCELLE E7 <<<<<<<							
STOCK CUMULE DE 0cm à 2cm (st0Z)							
(Zéro de la date ---> 0 heure du 13-12-88)							
Date	st010	st020	st030	st040	st050	Date-1.55	
1.34	18.89	37.76	53.51	64.28	73.48	-0.21	Déb P2
1.36	20.29	39.90	55.76	66.63	75.88	-0.19	
1.40	23.94	46.60	63.75	74.75	84.07	-0.15	
1.47	25.65	51.11	72.76	87.11	98.29	-0.08	
1.52	26.27	52.37	76.14	95.20	111.49	-0.03	
1.53	25.42	51.05	75.04	95.35	112.89	-0.02	Fin P2
1.55	24.57	49.45	73.04	93.13	110.68	0.00	
1.57	23.79	48.07	71.34	91.38	108.92	0.02	
1.59	23.63	47.83	71.17	91.37	109.00	0.04	
1.61	23.09	46.76	69.60	89.49	106.98	0.06	
2.36	20.52	41.87	62.91	81.70	98.34	0.81	
2.43	20.84	42.09	62.77	81.31	97.76	0.88	
2.51	20.76	41.93	62.46	80.84	97.19	0.96	
2.64	20.45	41.36	61.71	79.96	96.22	1.09	
2.76	20.29	40.65	60.53	78.78	95.06	1.21	
3.46	18.89	38.30	57.61	75.31	91.17	1.91	
3.59	18.89	38.34	57.51	74.94	90.65	2.04	
3.76	18.43	37.50	56.48	73.88	89.59	2.21	
4.34	17.03	35.04	53.48	70.50	85.95	2.79	
7.81	12.52	26.30	41.43	56.43	70.69	6.26	
8.36	12.37	26.14	41.45	56.67	71.15	6.81	
8.64	11.82	24.96	39.59	54.23	68.30	7.09	
9.38	11.43	24.23	38.68	53.32	67.42	7.83	
10.92	10.35	22.06	35.46	49.22	62.78	9.37	
11.37	10.73	22.71	36.22	50.13	63.83	9.82	
11.69	9.10	19.69	32.09	45.12	58.25	10.14	
12.39	9.80	20.88	33.53	46.76	60.14	10.84	
13.39	9.41	20.04	32.18	44.98	58.10	11.84	
14.39	9.41	19.86	31.61	44.05	56.88	12.84	
14.64	8.25	17.64	28.52	40.28	52.72	13.09	
30.67	6.07	13.38	21.64	29.91	38.18	29.12	

TABLEAU A10

PLUIES SIMULEES PROLONGEES : Premier jour --> Pluie P1 ..... : Deuxième jour --> Pluie P2						
>>>>>> PARCELLE E9 <<<<<<<<						
STOCK CUMULE DE 0cm à Zcm (st0Z)						
(Zéro de la date ---> 0 heure du 11-01-89)						
Date	st010	st020	st030	st040	st050	Date-1.58
1.58	23.01	48.37	80.75	116.29	144.19	0.00
1.69	22.36	47.02	78.98	114.56	142.42	0.11
1.73	22.5	47.13	79.15	115.2	143.68	0.15
1.77	22.43	47.06	79.25	115.59	144.36	0.19
1.83	22.36	46.85	78.83	114.93	143.78	0.25
1.92	22.28	46.66	78.7	115.46	144.5	0.34
2.17	22.36	46.8	79.11	116.2	145.29	0.59
2.33	22.21	46.43	78.53	115.53	144.35	0.75
2.5	21.92	45.89	77.85	114.89	143.89	0.92
2.74	21.63	45.12	76.63	113.9	143.14	1.16
2.96	21.48	44.84	76.38	114.02	143.46	1.38
3.33	21.26	44.15	75.27	112.73	142.51	1.75
3.71	21.19	44.04	75.06	112	140.54	2.13
3.96	20.54	42.88	73.82	110.16	137.76	2.38
4.38	19.74	41.27	71.56	108.26	136.51	2.80
4.96	19.08	40.04	70.05	106.75	135.04	3.38
5.38	18.43	39.04	68.99	105.5	133.74	3.80
6.44	17.55	37.22	66.54	103.6	132.79	4.86
7.04	17.26	36.8	66.06	102.84	132.31	5.46
7.38	16.61	35.67	64.79	101.7	130.96	5.80
7.71	16.24	35.08	64.13	100.53	129.51	6.13
8	15.66	34.3	63.65	100.48	129.63	6.42
8.38	16.02	34.49	63.16	99.97	129.85	6.80
9.38	15.22	33.05	61.41	97.94	127.55	7.80
9.75	15.08	32.8	61.09	97.34	126.15	8.17
10.38	14.93	32.52	60.71	97.1	126.18	8.80
10.75	14.86	32.5	60.7	96.53	125.16	9.17
11.38	14.57	31.8	59.58	95.68	124.9	9.80
11.75	14.13	31.17	59.05	95.15	124.23	10.17
12.38	13.55	30.29	58.17	94.08	123.02	10.80
14.77	11.65	26.27	52.2	87.48	116.55	13.19
15.42	9.68	22.58	47.35	82.47	112.35	13.84
16.42	9.62	22.39	46.89	81.77	111.58	14.84
17.42	9.03	21.28	45.27	79.76	109.76	15.84
18.42	9.18	21.59	45.62	79.83	109.28	16.84
19.42	9.25	21.82	46.12	80.15	108.99	17.84
20.6	9.03	21.26	44.92	78.33	106.82	19.02
21.6	8.82	20.87	44.5	78.05	106.63	20.02
43.42	8.32	20.16	42.42	72.41	97.8	41.84

TABLEAU A11

PLUIES SIMULEES PROLONGEES : Premier jour --> Pluie P1 ..... : Deuxième jour --> Pluie P2						
>>>>>> PARCELLE E10 <<<<<<<<						
STOCK CUMULE DE 0cm à Zcm (st0Z)						
(Zéro de la date ---> 0 heure du 22-02-89)						
Date	st010	st020	st030	st040	st050	st060
0.01	3.32	9.68	18.96	31.84	46.10	59.29
0.45	6.63	15.81	28.36	42.44	57.23	71.12
0.59	26.78	52.61	78.59	104.49	126.73	145.44
1.18	21.27	43.99	69.82	95.90	118.26	136.97
1.39	26.78	52.90	79.68	106.40	129.38	148.53
1.44	28.41	54.03	80.85	107.47	129.82	149.31
3.44	23.36	44.68	66.17	89.74	116.65	141.18
7.2	18.11	34.50	52.68	75.20	98.15	118.75
19.5	9.18	18.32	33.61	53.83	76.21	97.19

TABLEAU A12

PLUIES SIMULEES =====							
[1] PARCELLE N° PLUIE	[2] TOTAL PLUIES	[3] RUIS. LR	[4] [2]-[3] P-LR	[5] DIFF. STOCK	[6] [4]-[5] PERTES	[7] [6]/[2] %	[8] DUREE DE LA PLUIE
E07 P1	243.7	138.3	105.4	46.1	59.3	24.3%	4h 07mn
E07 P2	261.9	158.0	103.9	39.4	64.5	24.6%	4h 00mn
E09 P1	314.0	213.0	101.0	38.6	62.4	19.9%	5h 00mn
E09 P2	307.8	211.6	96.2	46.4	49.8	16.2%	5h 00mn
E10 P1	177.1	2.4	174.7	74.7	100.0	56.4%	2h 45mn
E10 P2	218.4	83.7	134.7	10.7	124.0	56.8%	2h 00mn

TABLEAU A13 - BILAN HYDROLOGIQUE

\*\*\*\*\*

SOLS NUS										
		1m <sup>2</sup>			100m <sup>2</sup>			1ha		
Année	Pluie	Ruis.	Deficit	Coef.Ruis	Ruis.	Deficit	Coef.Ruis	Ruis.	Deficit	Coef.Ruis
1982	305.9	140.9	164.9	46.1	103.4	202.4	33.8	67.1	238.7	21.9
1983	245.7	93.1	147.5	40.0	64.5	181.2	26.2	29.1	216.5	11.9
1984	705.5	348.2	357.3	49.4	259.6	445.9	36.8	154.4	551.1	21.9
1985	1467.5	891.1	576.4	60.7	763.4	704.1	52.0	557.9	909.6	38.0
1986	974.4	542.0	432.4	55.6	434.3	540.2	44.6	297.3	677.1	30.5
1987	445.1	195.4	249.7	43.9	143.6	301.5	32.3	89.2	355.9	20.0
1988	745.6	399.6	346.0	53.6	315.2	430.4	42.3	208.9	536.7	28.0
MOY.	698.5	373.6	324.9	53.5	297.7	400.8	42.6	200.6	498.0	28.7

SOLS SOUS CAATINGA										
		1m <sup>2</sup>			100m <sup>2</sup>			1ha		
Année	Pluie	Ruis.	Deficit	Coef.Ruis	Ruis.	Deficit	Coef.Ruis	Ruis.	Deficit	Coef.Ruis
1982	305.9	15.2	290.7	5.0	9.1	296.7	3.0	4.7	301.1	1.5
1983	245.7	4.0	241.6	1.6	2.1	243.5	0.9	0.2	245.5	0.1
1984	705.5	27.5	678.0	3.9	15.0	690.4	2.1	9.3	696.1	1.3
1985	1467.5	232.0	1235.5	15.8	144.3	1323.2	9.8	74.4	1393.1	5.1
1986	974.4	95.8	878.6	9.8	62.7	911.7	6.4	34.6	939.8	3.6
1987	445.1	12.9	432.2	2.9	6.3	438.7	1.4	3.2	441.9	0.7
1988	745.6	43.7	701.9	5.9	20.3	725.3	2.7	7.6	738.0	1.0
MOY.	698.5	61.6	636.9	8.8	37.1	661.4	5.3	19.2	679.3	2.7

## A N N E X E - B = PEDOLOGIE

=====

### 1 - INTRODUCTION

Les sols de la région étudiée sont connus grâce aux travaux cartographiques du Service National de Cartographie et Conservation des Sols (SNLCS) de l'Entreprise brésilienne de Recherches Agropastorales (EMBRAPA) et en particulier par la carte pédologique au 1/500000 ème de l'Etat de la Paraíba (BRASIL, 1972). Une esquisse des sols au 1/100000ème du bassin expérimental de Sumé a été établie par la suite (LEFRUN et al., 1983). Cette esquisse permet d'estimer à respectivement 74, 19 et 7% les proportions des surfaces des 10,7 km<sup>2</sup> du bassin d'Umburana couvertes par les sols bruns vertiques, les sols lithosoliques eutrophes et les affleurements rocheux et les sols aluviaux. Sur la zone d'étude elle-même, la proportion des sols brun vertiques est d'environ 85%, les sols bruns modaux et les vertisols se partageant les 15% restants. Les sols bruns non calciques vertiques qui sont les sols dominants du bassin représentent près de 10% du polygone de la sécheresse du Nordeste, soit environ 100 000 km<sup>2</sup>.

### 2 - METHODES D'ETUDE.

Une étude de détail des sols de la zone d'étude a été entreprise dans le cadre de ce travail au moyen d'observations d'affleurements de surface, de tranchées de route et d'examen et de descriptions morphologiques de profils de sols et de roches à l'aide de fosses et de tranchées pédologiques. Des lames minces de roches ont été effectuées et observées au microscope. Les échantillons de 5 profils de sols ont été prélevés et analysés représentant 16 horizons soit plus de 560 déterminations analytiques physico-chimiques (Fiches d'analyses annexées). Des déterminations minéralogiques par diffractométrie de RX des fractions grossières du sol total broyé et la fraction argileuse d'environ 80 échantillons de sols et de roches ont été pratiquées au Laboratoire de Sédimentologie de l'Institut de Géologie de Strasbourg. Un mémoire de maîtrise est en cours de rédaction sur la pédologie de la zone d'étude (J.Ch. DESCONNETS, 1989)

### 3 - PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS RETIRES DE L'ETUDE DES SOLS

#### 3.1 - La morphologie

La zone d'étude est constituée en réalité de trois types de sols que l'on peut distinguer de la manière suivante :

- les sols bruns non calciques modaux (SBM) de la classification brésilienne (sols bruns eutrophes tropicaux peu différenciés de la classification française. Ce sont des sols peu épais de 50 à 70 cm de profondeur, constitué de trois horizons A, (B)C et C. Le profil schématique est le suivant :

- . horizon A brun gris de 10 cm d'épaisseur environ, sablo-argileux et pierreux, à structure polyédrique à cubique et porosité fines moyennement développées;

- . horizon (B)C allant jusqu'à 30 ou 40 cm. brun rouge, sableux un peu plus argileux, à mêmes structure et porosité mais plus

larges et mieux développées, enracinement fin abondant;

- . horizon d'altération granuleuse bariolée de rouille issue d'une roche leucocrate quartzitique et feldspathique.

- Les sols bruns non calciques vertiques (SBV ou sols bruns eutrophes tropicaux vertiques de la classification française) à profil A11, A12, (B), (B)C et C du type :

- . horizon A11 de 0 à 10 cm identique à celui du sol SBM;
- . horizon A12 de 10 à 20 cm un peu plus argileux que celui du sol SBM;
- . horizon (B) brun de 20 à 70 cm, argilo-sableux, à structure prismatique à cubique moyenne, à surstructure prismatique et faces de décollement lissées, à porosité fine réduite à nulle, à cohésion forte à excessive;
- . horizon (B)C de 70 à 90 cm, bariolé et tacheté, d'altération sablo-argileuse de roche gneissique.

- Les vertisols (V) et paravertisols lesquels sont des vertisols à caractères vertiques moins accentués, équivalents des vertisols lithomorphes grumeleux de la classification française ont la succession d'horizons suivante : A, (B), (B)C, C, soit :

- . horizon A gris de 0 à 15 cm. équivalent de l'horizon A du SBV mais plus argileux et à surstructure prismatique;
- . horizon (B) gris olive de 15 à 50 cm, homogène, argileux, plastique, à structure prismatique large et faces lissées, à cohésion forte, sans porosité fine;
- . horizon (B)C d'altération sablo-argileuse et granuleuse bariolée et mouchetée à minéraux ferromagnésiens reconnaissables d'une roche type amphibolitique.

### 3.2 - Les caractéristiques physico-chimiques

Les sols SBM présentent les caractères analytiques suivants: les taux d'argiles granulométriques sont faibles et diminuent vers la base. La fraction grossière > 2 mm est importante et représente près de 50 % du sol total. Les valeurs du pH sont faiblement acides et on peut même trouver un peu d'alumine libre dans le (B). L'H<sup>+</sup> échangeable est en quantité importante. La somme des bases échangeables (<10 meq 100g<sup>-1</sup>) et les taux de saturation (11 à 13 %) sont très faibles. Toutes ces caractéristiques indiquent des sols pauvres développés sur roches acides dont l'altération fournit peu ou pas d'argiles minéralogiques de type 1/1. La fiche d'analyse du sol de la microparcelle E3 illustre ce qui précède.

Les sols bruns vertiques SBV (Fiche analytique des profils A5 et E2) sont caractérisés par des pH acides à neutres en surface devenant basiques en profondeur. La somme des bases échangeables croît dans le même sens et passe de 14-20 au sommet à plus de 25 à la base, les taux de saturation atteignant alors 100%. La teneur en sodium devient élevée dans l'horizon (B)C et C (100.Na/T >15%) et l'analyse met alors en évidence la présence de calcaire actif à la base du profil. Ces caractères sont ceux de sols chimiquement riches, développés sur des roches neutres à basiques à minéraux ferromagnésiens assez abondants fournissant des argiles de type 2/1.

Les vertisols (Fiches analytiques des profils A3 et de la microparcelle EE) possèdent une quantité de matière organique et d'argiles qui leur confère un complexe argilo-humique saturé (S = entre 20 en surface et 30 meq en profondeur; V atteignant 100 à la base, pH de 6,5 en surface passant à 8 en (B)C; présence d'un peu de CD3Ca actif dans l'horizon (B)C où la saturation en Na s'élève à 14% de la capacité d'échange totale). Cette dernière, traduite en % d'argiles leur attribue des valeurs élevées de respectivement 76, 70 et 129 meq pour 100 g qui dénotent la présence d'argiles gonflantes de type smectitique.

### 3.3 - Les constituants minéralogiques

L'examen du tableau B1 qui regroupe les résultats des déterminations diffractométriques appelle les commentaires suivants :

- la composition minéralogique des fractions granumométriques  $>2 \mu$  et argileuse  $<0,2 \mu$  sont suffisamment différentes pour séparer les 3 sols inventoriés;

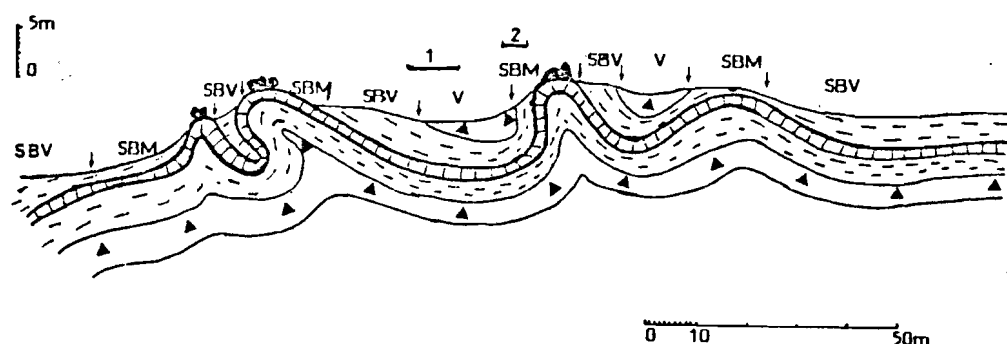
- les sols SBM sont riches en quartz et microcline et accusent la présence de calcite et d'illite. La fraction minéralogique argileuse  $>2 \mu$  est nulle dans les horizons supérieurs et faible en profondeur;

- les sols SBV et V sont constitués de quartz et microcline moyennement abondants dans les horizons supérieurs, de horblende verte surtout présente dans les vertisols et l'abondance de minéraux argileux interstratifiés illite-smectite et illite-vermiculite;




- on note l'absence totale tout à fait inhabituelle de kaolinite et la présence discrète de smectites différenciées.

### 3.2 - Les interrelations des sols, des roches et du relief

Les coupes des deux tranchées levées par description tous les 50 cm et la figure B1 ci-dessous, schématique au niveau du paysage permettent de mettre en évidence une succession ordonnée des 3 types de sols. Cette succession est sous la dépendance étroite de la nature de la roche sous-jacente.



**FIG. B1**

SBM	Sols bruns modaux
SBV	Sols bruns vertiques
V	Vertisols
1	tranchée 1 (profils A3 et A5 )
2	tranchée 2 (profils E8 et B3 )
	roche pegmatitique
	roche gneissique
	roche amphibolitique

Répartition des sols en fonction des roches  
et du modelé-Bassin d'Umburana (Suriné-196)

Trois types de roches ont été reconnues :

- des pegmatites quartzitiques et feldspathique (orthose);
- des gneiss à amphiboles (Quartz, plagioclase An 30-35%, hornblende verte, épidote, actinote, sphène);
- des amphibolites à hornblende verte dominante, peu de microcline, plagioclases proches de l'albite.

Ces roches se présentent sous la forme de couches parallèles ou plis localement couchés ou faillés d'épaisseur variable qui va du cm au mètre, le dm étant l'ordre d'épaisseur la plus communément rencontrée. La succession la plus fréquente de la surface vers la profondeur est la suivante : pegmatites, gneiss, amphibolites. Cette succession est aussi celle de la dureté et du caractère basique croissant. Elle est donc naturellement celle de la profondeur, des taux d'argiles, de la richesse chimique croissante et, cela a été mis en évidence dans ce travail, des taux de ruissellement décroissant des sols. L'ordre de cette succession est celle de la position topographique décroissante du modelé dans le paysage.

Les SBM sont développés à partir de l'altération et de la désagrégation des pegmatites, les amas rocheux les plus résistants constituant des affleurements rocheux qui, sous forme de chicots et de petits inselbergs dominant le paysage. Les SBV se constituent aux dépens des gneiss amphiboliques et occupent les versants peu pentus. Les vertisols se situent sur les altérations des amphibolites et occupent les zones basses ou légèrement déprimées du paysage.

Du fait du façonnement de la surface topographique actuelle au cours des épisodes géologiques antérieurs et de l'épaisseur variable et le plus souvent faible des couches plissées des trois roches différentes, il est courant de rencontrer un sol développé sur 2, voire 3 de ces roches. Les caractères morphologiques, physico-chimiques, hydrodynamiques et minéralogiques des horizons issus de la décomposition de ces roches ne permettent pas toujours la constitution de sols à profils conformes à ceux définis ci-dessus qui sont des profils modaux, c'est à dire idéaux. Constamment il est donné à l'observateur l'opportunité de rencontrer des profils de sols de transition ou intergrades entre deux types de sols modaux. Les sols peuvent ainsi être les suivants :

- sur pegmatites: SBM (exemple du profil de la microparcelle E8);
- sur pegmatites et gneiss sous-jacents : SBM plus épais, intergrades SBM-SBV. SBV à horizon supérieur de SBM (présence d'illite, débris lithiques pegmatitiques, etc. Ex. du profil B5);
- sur gneiss : SBV (exemple des profils B3 et A5);
- sur gneiss et amphibolites sous-jacentes : SBV, intergrades SBV-V, paravertisols:
- sur amphibolites : vertisols (exemple du profil A3 et EE)
- sur amphiboles limitées en profondeur par des pegmatites : paravertisols, V peu épais.

La mise en évidence sur le terrain d'horizons différenciés développés à partir de roches différentes est rendu difficile par l'oblitération du aux processus pédologiques d'homogénéisation biologique et de pédoplasation, mais un examen minutieux de la

morphologique et des comportements, de la constitution physico-chimique et minéralogique du sol et des lithoreliques permet, dans bien des cas, de lever les doutes.

#### 4 - CONCLUSIONS SUR L'ETUDE DES SOLS

L'étude des sols réalisée dans le cadre de ce travail a permis de mettre en évidence la lithodépendance étroite des sols de la zone d'études, de leur morphologie, de leurs caractéristiques physico-chimiques, hydrodynamiques, minéralogiques et donc agronomiques avec les roches et peut permettre une extrapolation régionale de leur distribution, de leur comportement et de leur utilisation. Elle contribue à une meilleure compréhension de leur formation, de leur répartition et de leur fonctionnement.

Le tableau B2 ci-dessous résume l'essentiel de nos connaissances.

TABLEAU B2 - RESUME DES PRINCIPAUX RESULTATS DE L'ETUDE PEDOLOGIQUE

	SOL BRUN MODAL	SOL BRUN VERTIQUE	VERTISSOL
Profil	A, (B)C, C	A, (B), (B)C, C	A, (B), (B)C, C
Epaisseur moy. (cm)	50-70	60-90	70-100
Texture	sablo-argil.	argilo-sabl.	argileuse
Structure	polyéd.-cub.	cub. et primat.	prismatique
Porosité du (B)	tubul.fine	fissurale	fissurale
Ruissellement superf.	réduit	moyen	accentué
pH surface, profond.	acide	acide, basique	basique
S (meq). V%	<10: 10	14-25; 80-100	20-30; 100
Type de roche	pegmatites	gneiss amphibol	amphibolites
Nature des argiles	illite	Interstratifiés	Interstr.Verm.
Principaux minéraux (1)Q, MC, Ca		Q, PL, HB,	Q, PL, HB
Position modelé	haute	versants	basse, déprimée

(1)Q = quartz, PL = plagioclase, MC = microcline, Ca = calcite, HB = hornblende

TABLEAU B1

## COMPOSITION MINÉRALOGIQUE DES SOLS DU BASSIN EXPERIMENTAL DE SUME

=====													
FRACTION <----- grossière >2μ-----> <----- argile <0,2μ----->													
-----													
SOL		Q	PL	MC	HB	V	CA	ARG	IL	IL-SM	IL-V	V	HB
SBM (E8)	A	+++	++	+			+		+				
	B	+++	+	++			+		++				
	C	++	++	++			++	+	+				
SBV (B2)	A	++	+	+				t	+				
	B	+++	++	+		+	+	++		++			
	C	++	+	+	+	+++		+++		+++		+++	
SBV (B5)	B	++	++			+		+++		++	+++	+	+
	C	++	+		++			+++		+	+++		+
VERT (A5)	A	++	+	+	+			++		++			
	B	++	+	+	+	+		++		+++		+	
	C	+	+		t	++		++		++	+++		+
VERT (B3)	A	++	+	+				++		++			
	B	++	++		t	++		+		++	++	++	t
	C	++	++		+			++		++	+++		

Q = quartz, PL = plagioclase, MC = microcline, HB = horblende, V = vermiculite, CA = calcite, ARG = argiles, IL = illite, IL-SM et IL-V = interstratifiés illite-smectites et illite-vermiculite, V = vermiculite, HB = hornblende.

SBM = sol brun non calcique, SBV = sol brun non calcique vertique  
 (E8), (B5) ... = profils de sols; A, B, C = horizons A, (B), (B)C ; t = traces; +, ++, +++ = peu, abondant, très abondant.

=====

REGISTRO DA AMOSTRA		14.869	14.870	14.871			
HORIZONTE		-	-	-			
PROFUNDIDADE (cm)		0-10	10-32	32-75			
DENSIDADE NA AMOSTRA SECA (g/cm <sup>3</sup> )	CALHÁU (>20 mm)	2	6	0			
	CASCALHO (20 - 2 mm)	8	41	47			
	TERRA FINA (< 2 mm)	90	53	53			
DENSIDADE REAL (g/cm <sup>3</sup> )	APARENTE	1,40	1,35	1,37			
	REAL	2,63	2,63	2,63			
POROSIDADE TOTAL (%)		47	49	48			
GRANULOMETRIA (%)	AR. GROSSA (2 - 0,2 mm)	32	42	52			
	AR. FINA (0,2 - 0,05 mm)	27	23	25			
	SILTE (0,05 - 0,002 mm)	21	18	11			
	ARGILA (< 0,002 mm)	20	17	12			
ARGILA DISPERSA EM ÁGUA (%)		-	-	-			
GRAU DE FLOCULAÇÃO (%)		-	-	-			
RELAÇÃO SILTE/ARGILA		1,05	1,05	0,92			
CLASSE TEXTURAL		Fr. Ar.	Fr. Ar.	Fr. Ar.			
UMIDADE (%)	RESIDUAL	1,2	1,4	1,4			
	A 15 ATM	9,1	9,7	7,3			
	A 1/3 ATM	-	-	-			
	A 1/10 ATM	20,1	17,0	12,0			
	ÁGUA DISPONÍVEL	11,0	7,3	4,7			
CONDUTIVIDADE HIDRAUL. (cm/h)		-	-	-			
ÁGUA NA PASTA SATURADA (%)		33,9	37,0	38,0			
COND. ELET. EXT. SAT. (mmhos/cm)		0,40	0,70	0,70			
pH (1:2,5)	EM ÁGUA	5,8	5,9	6,3			
	EM KCl IN	4,7	4,4	4,3			
COMPLEXO SORTIVO (meq/100g)	CÁLCIO TROCÁVEL	5,51	5,01	4,16			
	MAGNÉSIO TROCÁVEL	2,39	3,53	4,24			
	POTÁSSIO TROCÁVEL	0,31	0,09	0,06			
	SÓDIO TROCÁVEL	0,20	0,46	0,53			
	VALOR S (SOMA BASES)	8,41	9,09	8,99			
	HIDROGÊNIO TROCÁVEL	5,36	3,60	2,03			
	ALUMÍNIO TROCÁVEL	-	0,15	-			
	VALOR T (CTC)	13,77	12,84	11,02			
VALOR V (% SAT. BASES)		61	71	82			
CARBONO ORGÂNICO (%)		1,25	0,52	0,16			
NITROGÊNIO TOTAL (%)		0,12	0,06	0,03			
RELAÇÃO C/N		10,4	8,7	5,3			
MATERIA ORGÂNICA (%)		2,16	0,90	0,28			
FÓSFORO ASSIMILÁVEL (ppm)		12	3	2			
CaCO <sub>3</sub> EQUIV. (%)		-	-	-			
ENXOFRE (% S NA T.F.S.E.)		-	-	L			
SAT. COM Al (100xAl/S+Al)		-	2	-			
SAT. COM Na (100xNa/T)		1	4	5			
RELAÇÃO TEXTURAL = $\frac{\text{MÉDIA DO \% DE ARGILA NO B (EXCL. B}_3)}{\text{MÉDIA DO \% DE ARGILA NO A}}$					PERFIL Nº <b>E8</b>		
CONVÊNIO SUDENE/ORSTON				ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DE SOLO — COMPLETAS —			
				GEONORD			

REGISTRO DA AMOSTRA		14869	14870	14871			
HORIZONTE		-	-	-			
PROFUNDIDADE (cm)		0-10	10-32	32-75			
GRANULOMETRIA (SISTEMA AMERICANO) %	AR.GROSSA ( 2-0,2mm)	32	42	52			
	AR.FINA ( 0,2- 0,05mm)	27	23	25			
	SILTE (0,5- 0,002 mm)	21	18	11			
	ARGILA (<0,002mm)	20	17	12			
GRANULOMETRIA (SISTEMA INTERNACIONAL) %	AR.GROSSA ( 2-0,2mm)	32	42	52			
	AR.FINA (0,2-0,02mm)	40	28	31			
	SILTE (0,2-0,002 mm)	8	13	5			
	ARGILA (< 0,002 mm)	20	17	12			
GRANULOMETRIA (COM 6 FRAÇÕES) %	AR.GROSSA ( 2- 0,5mm)	21	30	36			
	AR.MÉDIA (0,5-0,25mm)	11	12	16			
	AR.FINA (0,25-0,05 mm)	27	23	25			
	SILTE GROS.(0,05-0,02 mm)	13	5	6			
	SILTE FINO(0,02-0,002mm)	8	13	5			
	ARGILA (< 0,002 mm)	20	17	12			

GEONORD - Engenharia e Geologia Ltda.

*[Assinatura]*  
 Rua ...  
 Química Industrial  
 C.R.Q. 01.201.000 - Reg.

PERFIL  
 Nº 58

CONVÊNIO SUDENE/ORSTON

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO

GEOGRUPO

REGISTRO DA AMOSTRA		14.872	14.873	14.874		
HORIZONTE		-	-	-		
PROFUNDIDADE (cm)		0-15	15-53	53-95		
DENSIDADE NA AMOSTRA SECA (g/cm <sup>3</sup> )	CALHAU (> 20 mm)	-	-	-		
	CASCALHO (20 - 2 mm)	-	-	-		
	TERRA FINA (< 2 mm)	-	-	-		
DENSIDADE REAL (g/cm <sup>3</sup> )	APARENTE	1,32	1,34	1,33		
	REAL	2,63	2,65	2,66		
POROSIDADE TOTAL (%)		50	49	50		
GRANULOMETRIA (%)	AR.GROSSA (2-0,2 mm)	15	18	38		
	AR.FINA (0,2-0,05 mm)	24	17	41		
	SILTE (0,05-0,002 mm)	19	19	10		
	ARGILA (< 0,002 mm)	42	46	11		
ARGILA DISPERSA EM ÁGUA (%)		-	-	-		
GRAU DE FLOCULAÇÃO (%)		-	-	-		
RELAÇÃO SILTE/ARGILA		0,45	0,41	0,91		
CLASSE TEXTURAL		Arg.	Arg.	Fr.Arg.		
UMIDADE (%)	RESIDUAL	4,0	4,5	2,9		
	A 15 ATM	20,4	24,2	12,8		
	A 1/3 ATM	26,1	30,8	-		
	A 1/10 ATM	-	-	20,5		
	ÁGUA DISPONÍVEL	5,7	6,6	7,7		
CONDUTIVIDADE HIDRAUL.(cm/h)		-	-	-		
ÁGUA NA PASTA SATURADA (%)		-	-	-		
COND. ELET. EXT. SAT. (mmhos/cm)		-	-	-		
pH (1:2,5)	EM ÁGUA	-	-	-		
	EM KCl 1N	-	-	-		
COMPLEXO SORTIVO (meq/100g)	CÁLCIO TROCÁVEL	-	-	-		
	MAGNÉSIO TROCÁVEL	-	-	-		
	POTÁSSIO TROCÁVEL	-	-	-		
	SÓDIO TROCÁVEL	-	-	-		
	VALOR S (SOMA BASES)	-	-	-		
	HIDROGÊNIO TROCÁVEL	-	-	-		
	ALUMÍNIO TROCÁVEL	-	-	-		
	VALOR T (CTC)	-	-	-		
VALOR V (% SAT. BASES)		-	-	-		
CARBONO ORGÂNICO (%)		-	-	-		
NITROGÊNIO TOTAL (%)		-	-	-		
RELAÇÃO C/N		-	-	-		
MATERIA ORGÂNICA (%)		-	-	-		
FÓSFORO ASSIMILÁVEL (ppm)		-	-	-		
CaCO <sub>3</sub> EQUIV. (%)		-	-	-		
ENXOFRE (% S NA T.F.S.E.)		-	-	-		
SAT. COM Al (100xAl/S+Al)		-	-	-		
SAT. COM Na (100xNa/T)		-	-	-		
RELAÇÃO TEXTURAL = $\frac{\text{MÉDIA DO \% DE ARGILA NO B (EXCL.B}_3)}{\text{MÉDIA DO \% DE ARGILA NO A}}$					PERFIL Nº A-3	
CONVÊNIO SUDENE/ORSTON				ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DE SOLO — COMPLETAS —		
				GEONORD		

REGISTRO DA AMOSTRA		14872	14873	14874			
HORIZONTE		-	-	-			
PROFUNDIDADE (cm)		0-15	15-53	53-95			
GRANULOMETRIA (SISTEMA AMERICANO) %	AR. GROSSA (2-0,2mm)	15	18	38			
	AR. FINA (0,2-0,05mm)	24	17	41			
	SILTE (0,5-0,002mm)	19	19	10			
	ARGILA (<0,002mm)	42	46	11			
GRANULOMETRIA (SISTEMA INTERNACIONAL) %	AR. GROSSA (2-0,2mm)	15	18	38			
	AR. FINA (0,2-0,02mm)	34	27	43			
	SILTE (0,2-0,002mm)	9	9	8			
	ARGILA (<0,002mm)	42	46	11			
GRANULOMETRIA (COM 6 FRAÇÕES) %	AR. GROSSA (2-0,5mm)	13	9	16			
	AR. MÉDIA (0,5-0,25mm)	2	9	22			
	AR. FINA (0,25-0,05mm)	24	17	41			
	SILTE GROS. (0,05-0,02mm)	10	10	2			
	SILTE FINO (0,02-0,002mm)	9	9	8			
	ARGILA (<0,002mm)	42	46	11			

GUARDIOD - Engenharia e Geologia Ltda.

Ed. Regina E. de Oliveira  
Química Industrial  
C.R.Q. 01.201.100 - 1ª Reg.

PERFIL

NR A-3

CONVÊNIO SUDENE/ORSTON

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO

GEOGRUPO

REGISTRO DA AMOSTRA		14.875	14.876	14.877			
HORIZONTE		-	-	-			
PROFUNDIDADE (cm)		0-20	20-68	68-95			
DENSIDADE NA AMOSTRA SECA (g/cm <sup>3</sup> ) / 100 AR (%)	CALHÁU (> 20 mm)	-	-	-			
	CASCALHO (20 - 2 mm)	-	-	-			
	TERRA FINA (< 2 mm)	-	-	-			
	APARENTE	1,41	1,31	1,30			
	REAL	2,66	2,65	2,65			
POROSIDADE TOTAL (%)		47	51	51			
GRANULOMETRIA (%)	AR.GROSSA (2-0,2 mm)	26	20	58			
	AR.FINA (0,2-0,05 mm)	20	28	22			
	SILTE (0,05-0,002 mm)	32	8	8			
	ARGILA (< 0,002 mm)	22	44	12			
ARGILA DISPERSA EM ÁGUA (%)		-	-	-			
GRAU DE FLOCULAÇÃO (%)		-	-	-			
RELAÇÃO SILTE/ARGILA		1,45	0,18	0,67			
CLASSE TEXTURAL		Fr.	Arg.Ar.	Fr.Ar.			
UMIDADE (%)	RESIDUAL	1,4	4,7	2,0			
	A 15 ATM	10,5	26,6	11,3			
	A 1/3 ATM	14,9	35,2	-			
	A 1/10 ATM	-	-	16,3			
	ÁGUA DISPONÍVEL	4,4	8,6	5,0			
CONDUTIVIDADE HIDRAUL.(cm/h)		-	-	-			
ÁGUA NA PASTA SATURADA (%)		-	-	-			
COND. ELET. EXT. SAT. (mmhos/cm)		-	-	-			
pH (1:2,5)	EM ÁGUA	-	-	-			
	EM KCl 1N	-	-	-			
COMPLEXO SORTIVO (meq/100g)	CÁLCIO TROCÁVEL	-	-	-			
	MAGNÉSIO TROCÁVEL	-	-	-			
	POTÁSSIO TROCÁVEL	-	-	-			
	SÓDIO TROCÁVEL	-	-	-			
	VALOR S (SOMA BASES)	-	-	-			
	HIDROGÊNIO TROCÁVEL	-	-	-			
	ALUMÍNIO TROCÁVEL	-	-	-			
	VALOR T (CTC)	-	-	-			
VALOR V (% SAT. BASES)		-	-	-			
CARBONO ORGÂNICO (%)		-	-	-			
NITROGÊNIO TOTAL (%)		-	-	-			
RELAÇÃO C/N		-	-	-			
MATERIA ORGÂNICA (%)		-	-	-			
FÓSFORO ASSIMILÁVEL (ppm)		-	-	-			
CaCO <sub>3</sub> EQUIV. (%)		-	-	-			
ENXOFRE (% S NA T.F.S.E.)		-	-	-			
SAT. COM Al (100xAl/S+Al)		-	-	-			
SAT. COM Na (100xNa/T)		-	-	-			
RELAÇÃO TEXTURAL = $\frac{\text{MÉDIA DO \% DE ARGILA NO B (EXCL.B}_3\text{)}}{\text{MÉDIA DO \% DE ARGILA NO A}}$					PERFIL Nº	A-5	
CONVÊNIO SUDENE/ORSTON				ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DE SOLO — COMPLETAS —			
				GEONORD			

Dr. Néstor  
 Química Inorgânica  
 C.R. 01.201100 - L. 4.º.

REGISTRO DA AMOSTRA		14875	14876	14877			
HORIZONTE		-	-	-			
PROFUNDIDADE (cm)		0-20	20-68	68-95			
GRANULOMETRIA (SISTEMA AMERICANO) %	AR. GROSSA ( 2-0,2mm)	26	20	58			
	AR. FINA ( 0,2- 0,05mm)	20	28	22			
	SILTE (0,5- 0,002 mm)	32	8	8			
	ARGILA (<0,002mm)	22	44	12			
GRANULOMETRIA (SISTEMA INTERNACIONAL) %	AR. GROSSA ( 2-0,2mm)	26	20	58			
	AR. FINA (0,2-0,02mm)	43	28	23			
	SILTE (0,2-0,002 mm)	9	8	7			
	ARGILA (< 0,002 mm)	22	44	12			
GRANULOMETRIA (COM 6 FRAÇÕES) %	AR. GROSSA ( 2- 0,5mm)	16	13	43			
	AR. MÉDIA (0,5-0,25mm)	10	7	15			
	AR. FINA (0,25-0,05 mm)	20	20	22			
	SILTE GROS.(0,05-0,02 mm)	23	0	1			
	SILTE FINO(0,02-0,002mm)	9	8	7			
	ARGILA (< 0,002 mm)	22	44	12			

GEONORD - Engenharia e Geologia Ltda.

*M. N. P.*  
 Mo. Nélson F. de Oliveira  
 Química Industrial  
 O.B.Q. 01.201.300 - A Reg

PERFIL

NR

A-5

CONVÊNIO SUDENE/ORSTON

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO


GEOGRUPO

UNIDADE EM ATM

Nº DA AMOSTRA	15 ATM (%)	1/3 ATM (%)	1/10 ATM (%)	ÁGUA DISPONÍVEL (%)
14869	9,1	14,0	20,1	11
14870	9,7	13,2	17,0	7,3
14871	7,3	9,6	12,0	4,7
14872	20,4	26,1	34,1	5,7
14873	24,2	30,8	39,6	6,6
14874	12,8	16,0	20,5	7,7
14875	10,5	14,9	19,4	4,4
14876	26,6	35,2	41,2	8,6
14877	11,3	13,4	16,3	5,0

OBS: A água disponível foi calculada em função da umidade a 15 ATM e 1/10 ATM, para amostras com até 20% de argila e em função da umidade a 15 ATM e 1/3 ATM, para amostra com teor de argila acima de 20%.

GEONORD - Engenharia e Geologia Ltda.

  
Ed. Nelson B. de Oliveira  
Química Industrial  
C.R.Q. 01.201.100 - 1ª Reg.

## A N N E X E - C

=====

## RESULTATS DES SIMULATIONS DE PLUIE DE 1989

-----  
(2 pluies simulées à 12-18 heures d'intervalle)

## 1 - COMMENTAIRES GENERAUX

1.1 - Dans l'examen des résultats présentés, il faut garder présent à l'esprit les limites propres aux techniques de mesures (sonde à neutrons - tensiomètres) dans le milieu considéré :

- a la base des sols, on passe très rapidement à la roche qu'il est impossible de perforer pour y faire pénétrer le tube d'accès de sonde à neutrons. Compte tenu de la position de la source radioactive dans l'étui qui la contient et pénètre dans le tube, la dernière mesure se situe à environ 20 cm au dessus de cette limite. On ne possède donc que des mesures tensiométriques à la base de l'arène d'altération. Toutefois, lorsque nous signalons une nappe dans l'arène de quelques centimètres d'épaisseur (comme dans le cas de la microparcelle E7, et que n'accuse pas du tout la dernière mesure neutronique), c'est que nous avons vérifié par sondage que la nappe existait bien à la base du profil et qu'il ne s'agissait pas d'un accident propre au tensiomètre.
- dans le milieu étudié, très hétérogène, où l'on observe des horizons conducteurs obliques, ondulés, parfois quasi-filoniens, la différence d'échelle de mesure entre la sonde à neutrons qui intègre une épaisseur de quelques 20 cm et les tensiomètres dont l'échelle est centimétrique, peut conduire à des divergences, à première vue choquantes. La plus fréquente est le tensiomètre qui chute sans que la mesure neutronique ne montre une quelconque augmentation de l'humidité. Mais tous les cas de figure sont possibles et on verra, par exemple, sur la microparcelle E9 que les mesures neutroniques à 50 et 60 cm de profondeur - surtout à 60 cm - montrent une succession d'augmentation et de diminution des stocks d'eau: dans ce cas précis, rien ne permet d'incriminer le fonctionnement de l'appareil, et nous n'avons pas éliminé les données récoltées : l'arrivée de l'eau à ce niveau paraît ce faire par un système de siphons, et c'est le tensiomètre correspondant qui ne montre pas de réaction.

1.2 - Il faut signaler deux phénomènes qui ont été observés d'une façon très générale à travers le comportement des tensiomètres :

- l'existence d'une composante mécanique dans la mesure des potentiels (VAUCLIN, 1987) : cette composante crée une surpression qui peut être de l'ordre du cm de mercure, et plus au voisinage de la saturation. Ceci est en parfait accord avec la présence de smectite dans les horizons B argileux;
- cette constatation doit être également corrélée avec la présence d'air prisonnier dans la porosité du sol, qui se manifeste de deux manières :

- 1) avant de chuter sous l'effet de l'arrivée d'un front d'humectation au niveau d'une capsule de tensiomètre, la colonne de mercure commence pratiquement toujours à monter, (suivant les cas de 0.2cm. mais couramment de 0.7 et même 1 cm):
- 2) entre les deux pluies appliquées avec un intervalle de 12 à 18 heures suivant les microparcelles, à même situation de charge, la teneur en eau est sensiblement plus élevée sous la deuxième pluie que sous la première. Nous interprétons ce comportement en rapport avec l'échappement d'une partie de l'air retenu entre les deux pluies: d'une partie seulement, car en condition de charge hydraulique correspondant à la saturation, on reste très sensiblement en-dessous des valeurs qui correspondraient au remplissage de la porosité totale, même dans les horizons peu ou pas gonflants.

## 2 - COMMENTAIRES RAPIDES SUR LES DIFFERENTES MICROPARCELLES ETUDIEES

Remarque préalable : en ce qui concerne la phase de redistribution seule la microparcelle E10 à été l'objet durant les premiers jours, d'une protection de l'évaporation efficace. Sur les autres microparcelles (E7 et E9) cette protection à été ôtée intempestivement durant quelques heures chaque jour au cours de la première semaine.

### 2.1 - Microparcelle E7 - Sol brun non vertique - Dénudé [Fig. C1 : C11. C12. C13]

Première pluie - Infiltration limitée par la pellicule superficielle correspondant à la dégradation de la structure (cf Rapport final §5). Ceci entraîne une augmentation lente de l'humidité dans l'horizon A mais plus rapide que pour la microparcelle E9 : le taux d'infiltration se stabilise à environ 25 mm/H sur E7 contre 19 mm/H sur E9.

A la fin de cette première pluie, l'humectation est pratiquement limitée à 15-20 cm de profondeur au sommet du profil tandis que le tensiomètre de 65 cm chute également (cf fig. C13). La partie intermédiaire du profil est dans son état initial.

Au cours de la redistribution consecutive à cette première pluie le front d'humectation progresse sensiblement mais les mouvements sont lents.

Deuxième pluie - Le même processus continue, avec le même taux d'infiltration stabilisé.

Cette microparcelle est intéressante par le fait qu'elle montre combien peuvent être trompeuses les mesures neutroniques quand il ne s'agit pas d'un bilan global (fig.C11). Par une intégration de l'humidité sur une épaisseur excessive eu égard à la profondeur du profil, elles donnent en effet à conclure (fig. C12 et C13) que l'humectation à progressée régulièrement du sommet à la base du profil. Les données tensiométriques montrent, au contraire, qu'en fin de pluie l'eau est accumulée au sommet et à la base du profil

avec une nappe perchée au sommet du B peu perméable, et une autre dans l'arène, au dessus de la roche.

C'est au cours de la redistribution consécutive à cette pluie que la partie intermédiaire du profil, c'est-à-dire le B, va s'humecter. Ce processus est particulièrement lent : au bout d'un jour on observe encore quelques 20 cm de B sec.

En conclusion - C'est un exemple typique d'infiltration contrôlée par la dégradation superficielle de la structure du sol, entraînant un ruissellement important. Exemple typique, également, d'une circulation A-->C court-circuitant le B.

## 2.2 - Microparcelle E9 - Sol brun vertique - Dénudé

[Fig. C2 : C21, C22, C23]

Le contrôle de l'infiltration obéit aux mêmes mécaniques que sur E7, mais plus limitants encore; ce qui entraîne une part de ruissellement réellement excessive au niveau du bilan.

Au point de vue dynamique interne, la grande différence avec E7 est l'absence de court-circuit A-->C aussi net que sur E7. Ces courts-circuits ne sont pourtant pas absents. C'est le cas, cité plus haut, des arrivées d'eau par saccades successives en profondeur comme si on avait à faire à un système de siphons.

Durant la deuxième pluie et au cours du ressuyage consécutif, la progression de l'humectation en profondeur est légèrement plus rapide que sur E7.

## 2.3 - Microparcelle E10 - Sol brun vertique - Sous caatinga + mulch

[Fig. C3 : C31, C32, C33]

Deux remarques préalables :

- les données d'humidités paraissent sous-estimées de 10 à 15% (problème de calibrage neutronique?).
- le sol dans son état initial est sensiblement plus humide que sur E9, profil comparable mais dénudé. Ceci donne à penser que durant la précédente saison des pluies, la présence de la caatinga a nettement favorisée l'infiltration, sans augmenter sensiblement l'évapotranspiration postérieure, du fait de la dégradation de la couverture végétale par la propre expérimentation.

La dynamique de l'infiltration est totalement différente des deux autres parcelles, en rapport avec la protection de la structure du sol (cf Rapport final 95) : pratiquement pas de ruissellement pendant la première pluie, augmentation rapide de l'humidité dans les horizons superficiels du sol, progression relativement rapide de l'humectation en profondeur.

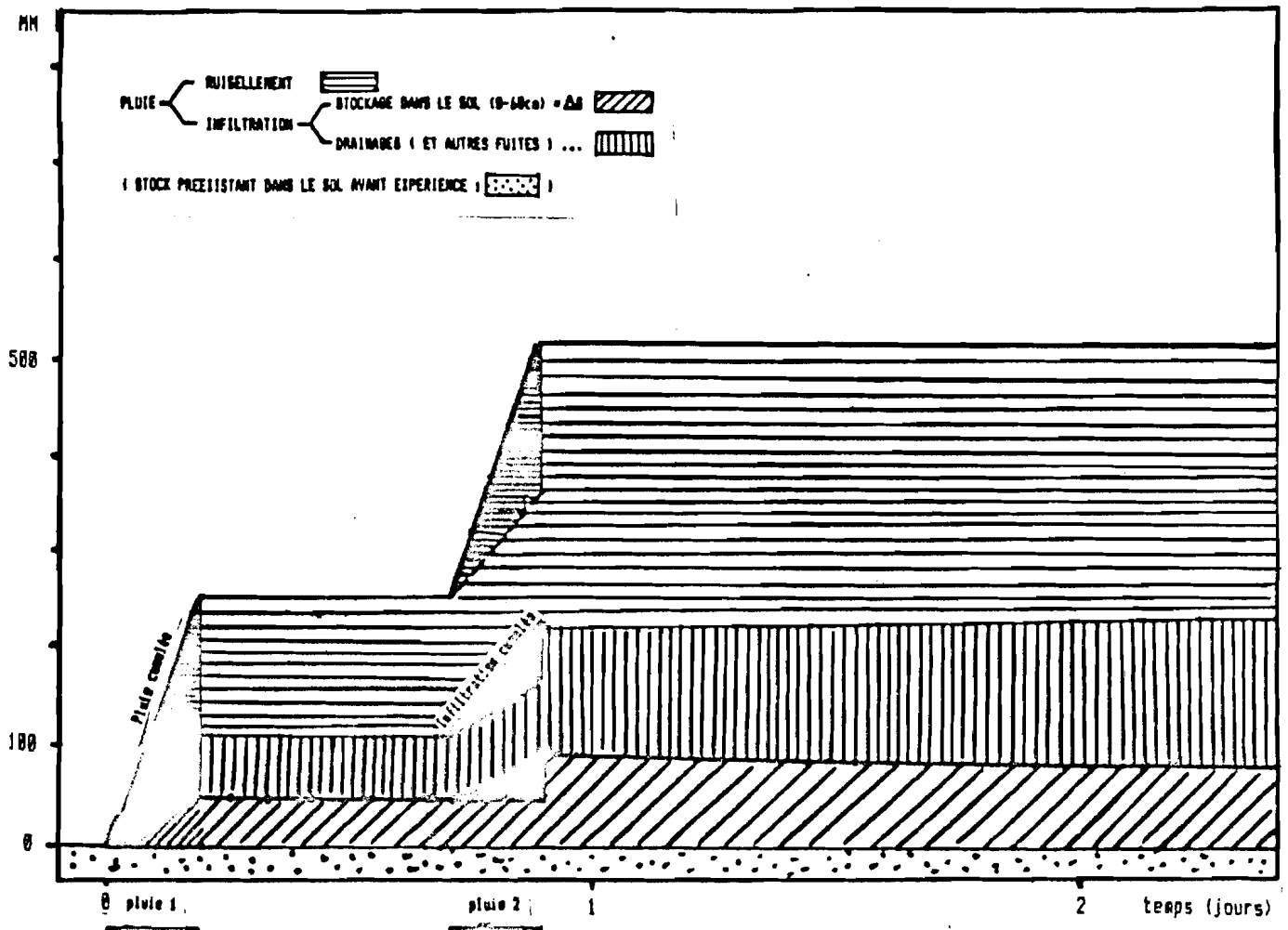
On n'observe pas, à proprement parler, de courts-circuits A-->C, mais la présence de l'horizon B moins perméable est sensible à l'examen des profils de charge en fin de pluie : on observe la saturation et de l'eau en charge en fin de 2ème pluie en surface et à la base du profil, c'est-à-dire dans le A et le C tandis que le B reste

seulement voisin de la droite  $H=Z$ .

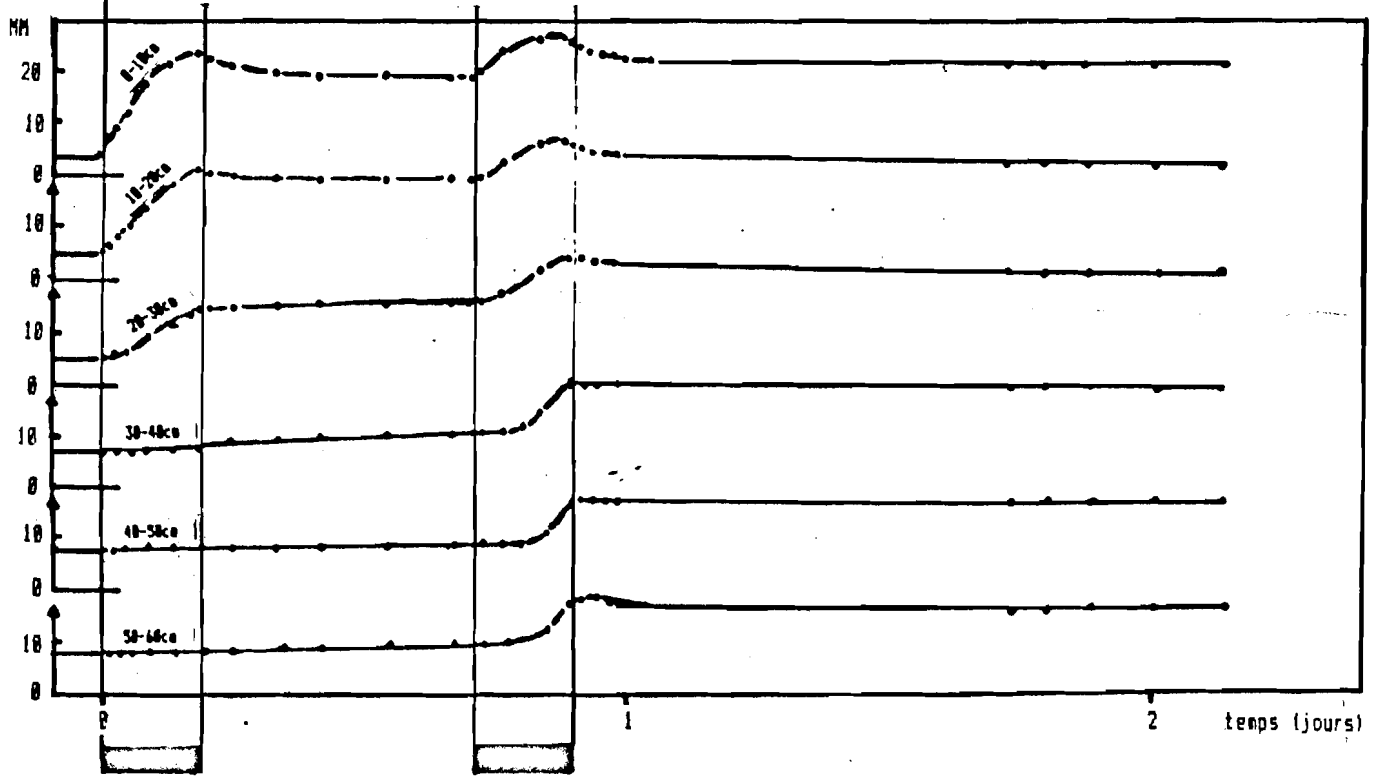
On notera la dynamique lente de ressuyage, et on remarquera que l'intervalle de quelques 18 heures entre les deux pluies ne se manifeste pratiquement pas à la base du profil où se poursuit une espèce de régime permanent, qui n'exclut évidemment pas la présence de transferts.

( 2 pluies prolongées à 12-18 heures d'intervalle )

C1.1 . EVOLUTION DE L'INFILTRATION ET TERMES DU BILAN



C1.2 . EVOLUTION DES STOCKS D'EAU DANS LES COUCHES SUCCESSIVES DE SOL DE 10cm D'EPAISSEUR



( 2 pluies prolongées à 12-18 heures d'intervalle )

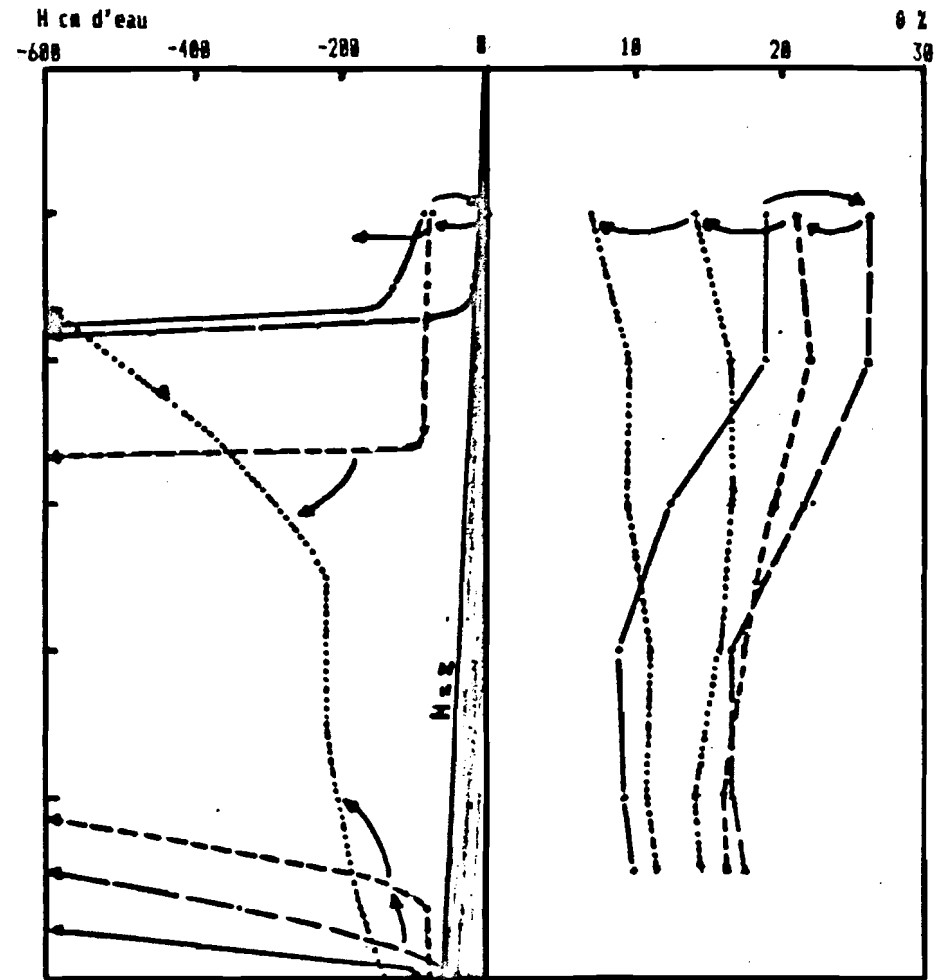
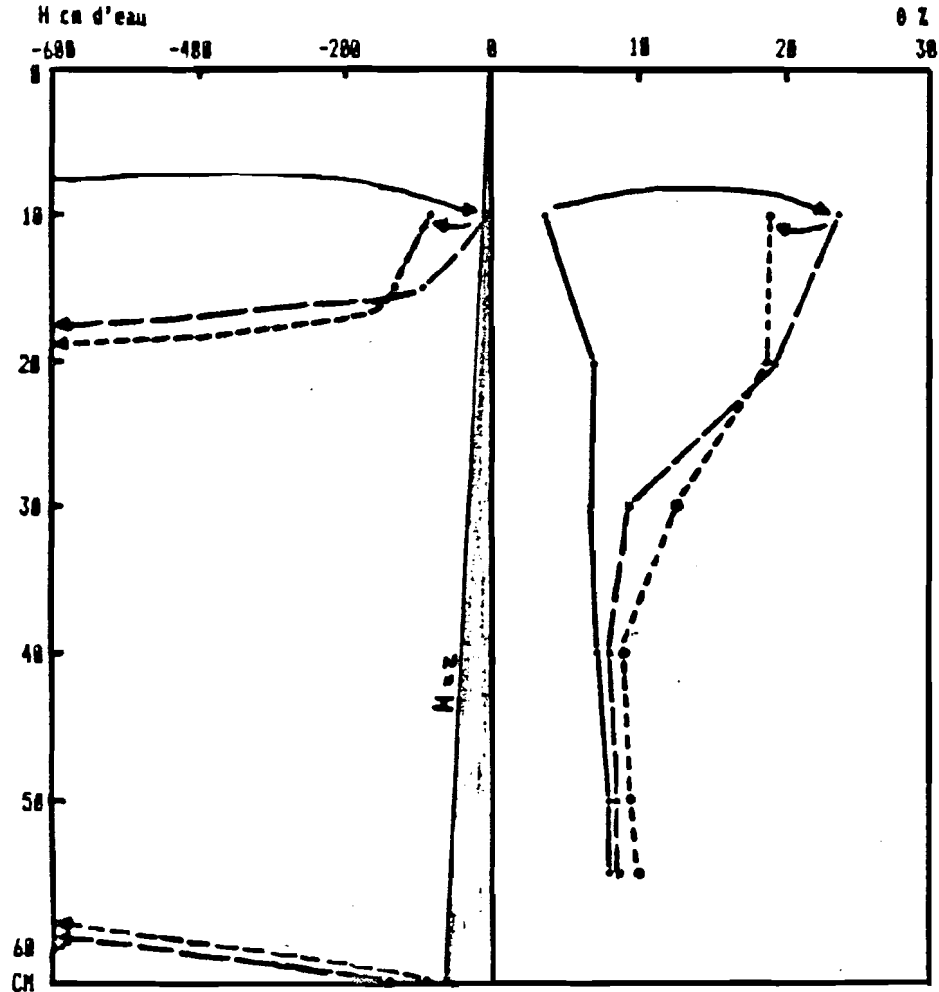
C1.3 . EVOLUTION DES PROFILS D HUMIDITE ET DE CHARGE

A. PLUIE 1

—— : état inicial (debut P1)  
 ——— : fin P1  
 - - - - : juste avant P2

B. PLUIE 2

—— : état inicial (debut P2)  
 ——— : fin P2  
 - - - - : après 1 jour de redistribution  
 ..... : après 6 jours de redistribution  
 ..... : après 20 jours de redistribution





( 2 pluies prolongées à 12-18 heures d'intervalle )

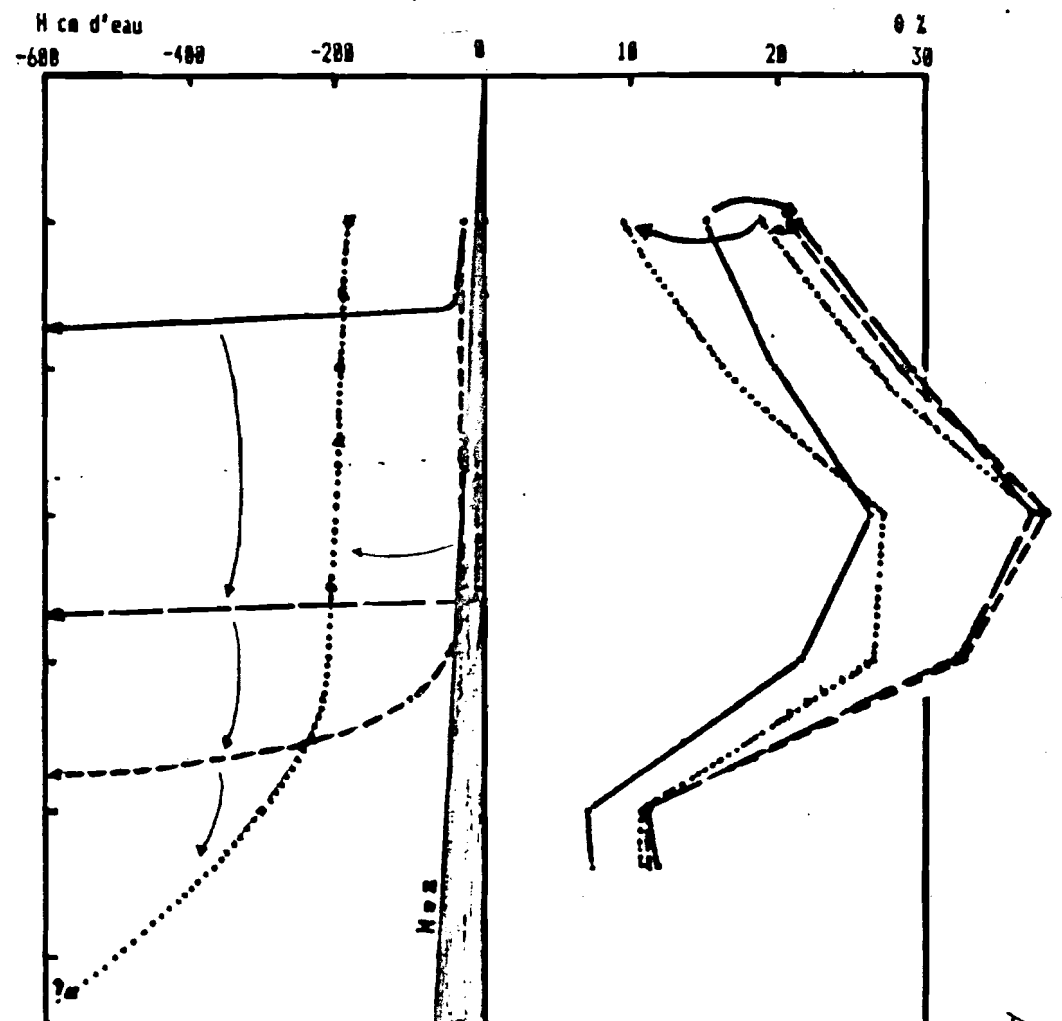
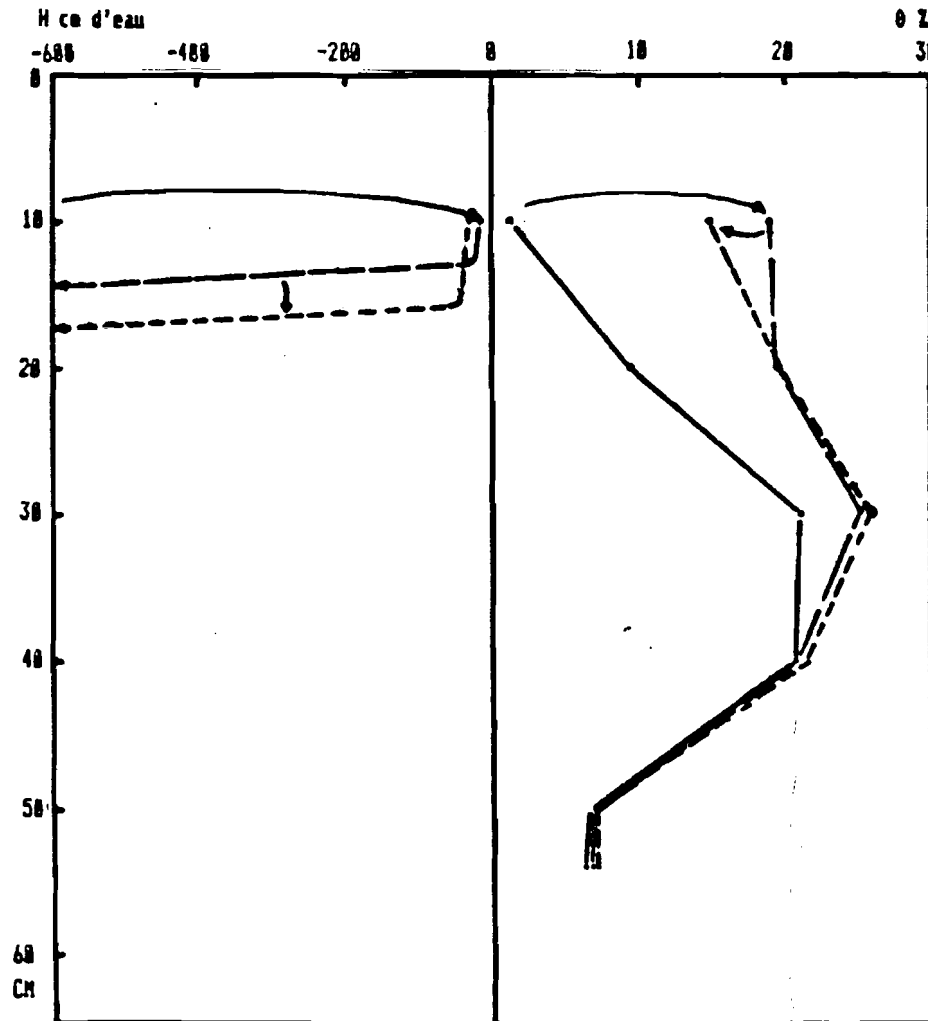
C2.3 . EVOLUTION DES PROFILS D HUMIDITE ET DE CHARGE

A. PLUIE 1

- : état initial (debut P1)
- : fin P1
- - - : juste avant P2

B. PLUIE 2

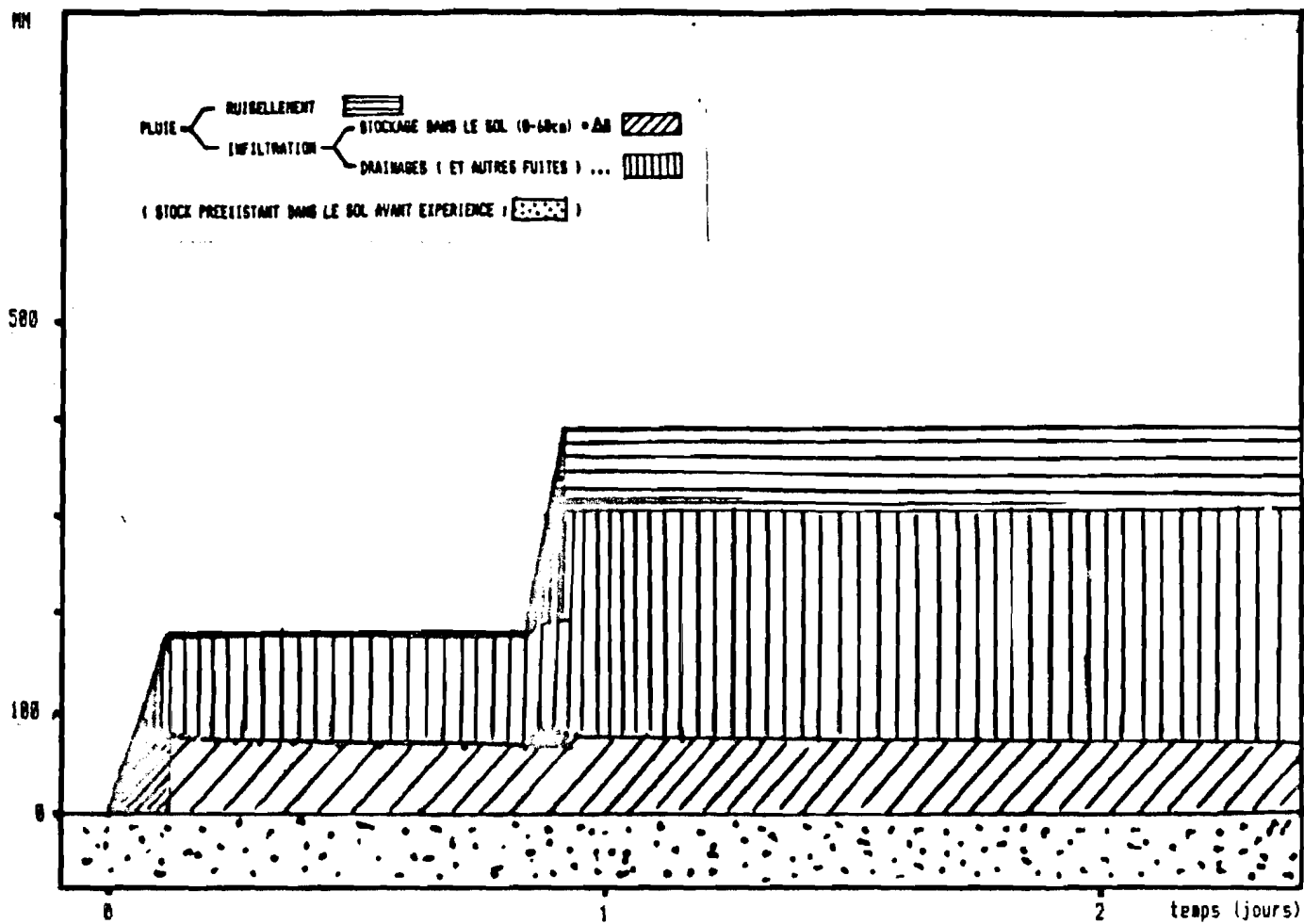
- : état initial (debut P2)
- : fin P2
- - - : après 1 jour de redistribution
- ..... : après 6 jours de redistribution
- ..... : après 20 jours de redistribution



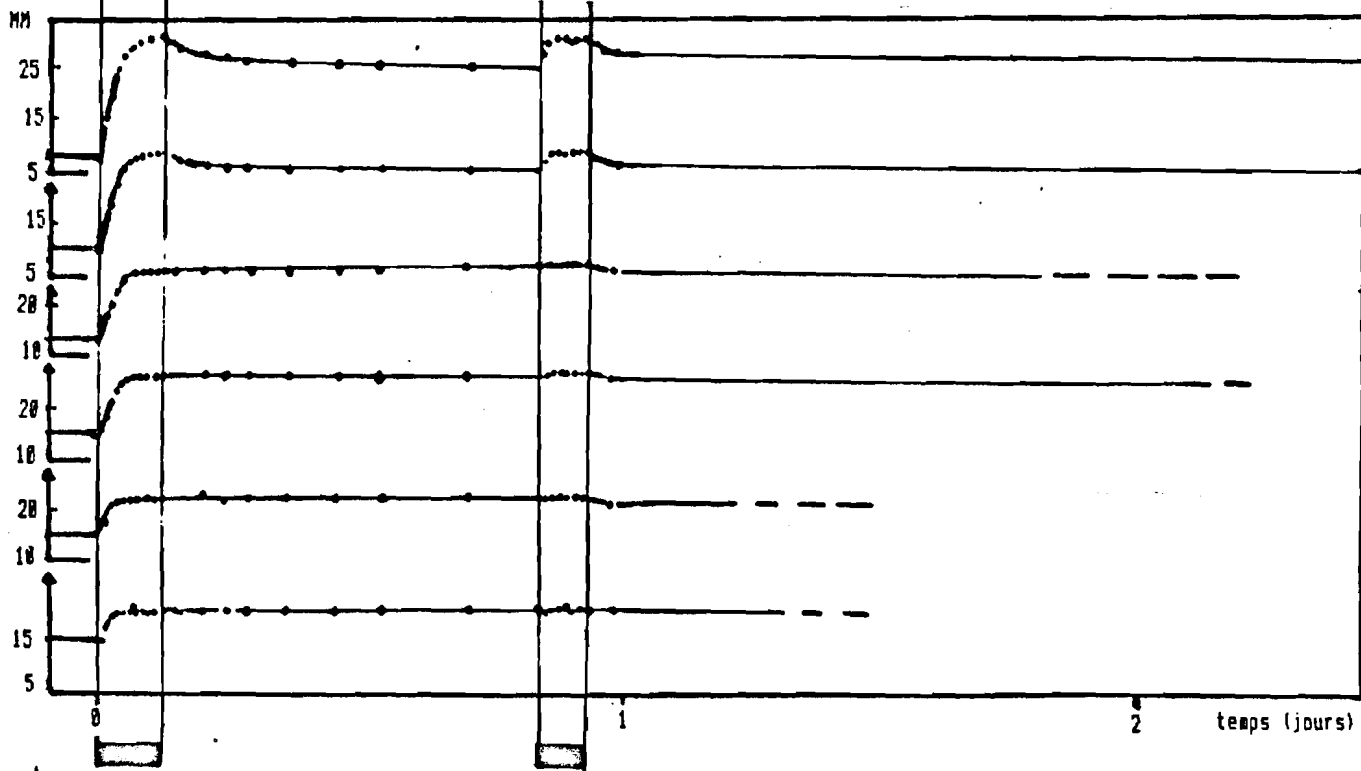
( 2 pluies prolongées à 12-18 heures d'intervalle )

PARCELLE E10 : SOL BRUN n.c. VERTIQUE - SOUS CAATINGA

C3.1 . EVOLUTION DE L'INFILTRATION ET TERMES DU BILAN



C3.2 . EVOLUTION DES STOCKS D'EAU DANS LES COUCHES SUCCESSIVES DE SOL DE 10cm D'EPAISSEUR



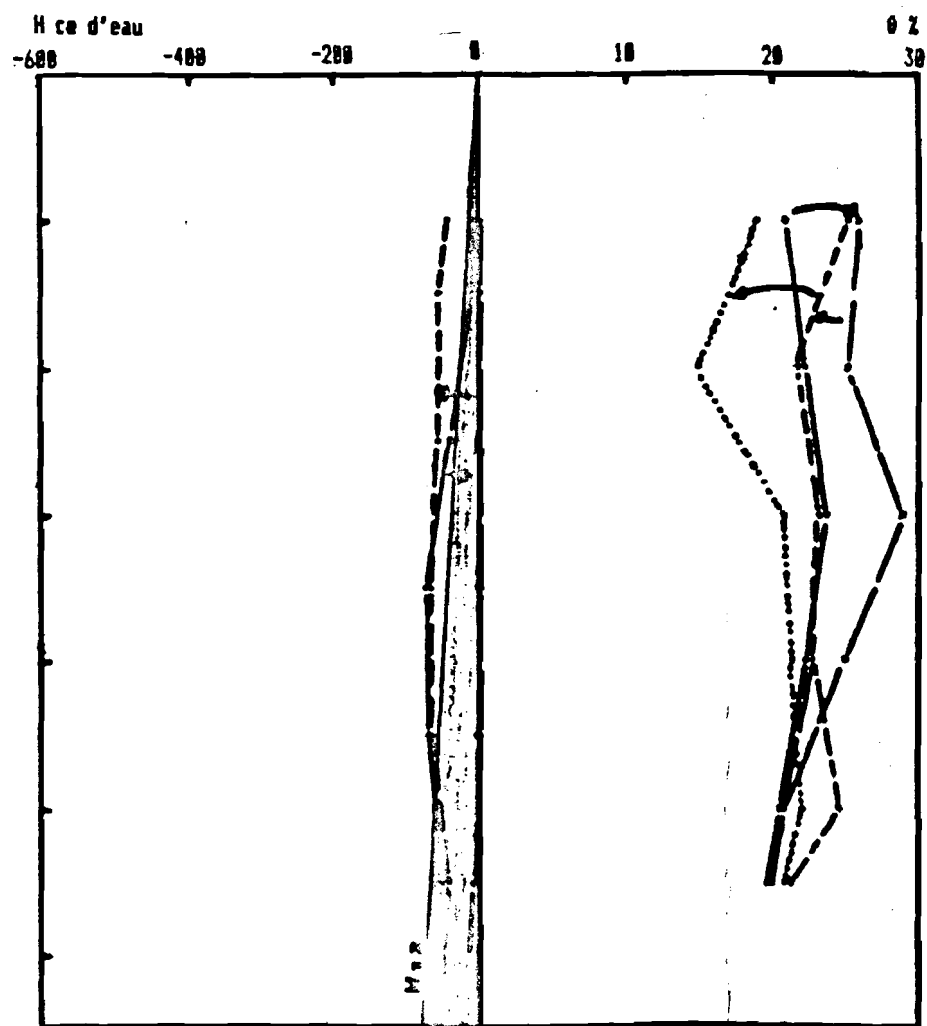
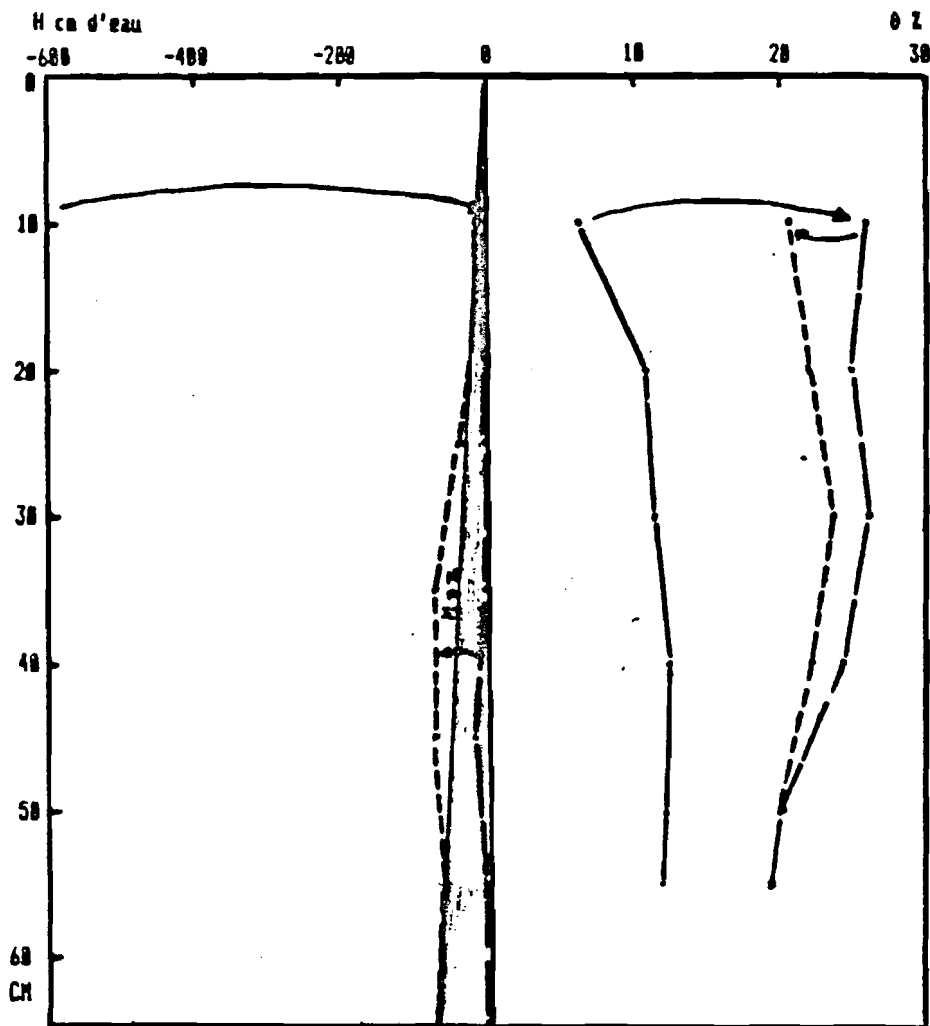
C3.3 . EVOLUTION DES PROFILS D HUMIDITE ET DE CHARGE

A. PLUIE 1

- : état inicial (debut P1)
- : fin P1
- - - : juste avant P2

B. PLUIE 2

- : état inicial (debut P2)
- : fin P2
- - - : après 1 jour de redistribution
- ..... : après 6 jours de redistribution



## A N N E X E - D ■ GEOCHIMIE DES EAUX

=====

### 1 - Introduction

L'un des objectifs de ce projet étant l'étude de la dynamique de l'eau et des matières dans l'écosystème et les conditions d'extrapolation spatiale, une étude géochimique sur le devenir des eaux de pluie après leur arrivée sur le sol (ruissellement sur différentes superficies nues et sous végétation, infiltration) a été entreprise dès 1987.

La qualité des différentes eaux superficielles du Nordeste et leurs relations avec les sols a fait l'objet d'un travail mené à la SUDENE (LEPRUN, 1983), mais l'étude du bilan minéral dissous entrée/sorties n'avait pas été abordée.

### 2 - Matériel et méthode d'étude

Durant l'année 1988, 11 des 24 eaux de pluie enregistrées sur la station météorologique qui est située sur la zone d'étude ont été recueillies dans un pluviomètre muni d'un sac de plastique. Les eaux récoltées ont été immédiatement filtrées (millipore 0.4 $\mu$ ) et stockées pour analyse. Les 11 pluies recueillies sont > 1mm et s'étalent tout le long de la saison pluvieuse entre le 12/01 et le 10/07/88. La hauteur des pluies prélevées correspond à 379 des 745.6 mm tombées en 1988. Pour chacun des épisodes pluvieux étudiés ont été prélevés :

- 2 échantillons des eaux de ruissellement issues de 2 parcelles de 1 m<sup>2</sup> : une parcelle (EA) nue sur sol brun non calcique vertique et une parcelle sur même sol sous jachère de 6 ans (E4) :

- 2 échantillons d'eaux de ruissellement issues de 2 parcelles de 100 m<sup>2</sup> sur même sol brun vertique (W8) maintenue nue selon la méthodologie de WISCHMEIR (1960), l'autre sous végétation de jachère de 6 ans (W9) :

- 2 échantillons d'eau de ruissellement provenant de 2 microbassins sur association de sols où le sol brun vertique domine à près de 80% : l'un de 0.5 ha en sol maintenu nu, l'autre de 1 ha sous "caatinga" naturelle.

De plus, un monolithe sur sol brun vertique de 85 cm et 24 cm de diamètre atteignant la roche a été taillé, séparé de sa base, soulevé et rendu imperméable latéralement par enserrage par de la gaze imbibée de résine. Ce monolithe a reçu 30 l d'eau permutée versée goutte à goutte durant 3 jours. Ont été prélevés, filtrés et analysés un premier prélèvement de 0,32 l, puis un second de 0,45 l et enfin un aliquot du volume total exudé, soit 1,45 l.

Les différentes eaux de ruissellement ont été prélevées avant contact avec les fosses d'Eternit de manière à réduire les pollutions. 70 échantillons d'eaux ont ainsi été analysés au Centre de Sédimentologie et de Géochimie de la Surface de Strasbourg (B. FRITZ). Les principales déterminations sont les suivantes : pH, conductivité, NH<sub>4</sub>, Na, K, Mg, Ca, S, Cl, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, H<sub>4</sub>SiO<sub>2</sub>.

Le traitement informatique de ces résultats analytiques inclue les tests de saturation à l'équilibre à 25°C. Pour certaines analyses d'eaux sous végétation le bouclage cations-anions n'est pas obtenu et une alcalinité organique (coloration brune) non dosée est alors

perçue. Les tests sont alors effectués sans corriger l'alcalinité (anions organiques pris en compte sous forme de  $\text{Cl}^-$  dans les calculs). Les tests de saturation sont obtenus par différence entre le produit de solubilité ( $\text{Log K}$ ) et le produit ionique ( $\text{Log Q}$ ). La saturation est atteinte lorsque cette différence est négative.

## 2 - Principaux résultats obtenus et leur interprétation

### 2.1 - Composition chimique.

Avant de commenter les résultats obtenus un avertissement et une hypothèse doivent être formulés quant à l'obtention de ces résultats et bilans annuels intrapolés à partir de données qui ne concernent que la moitié des événements pluvieux et de leurs corrolaires. L'avertissement est une mise en garde sur la portée de résultats de données partielles et annuelles dans une région à pluviométrie très irrégulière. L'hypothèse est que la méthodologie utilisée permet de résoudre le problème posé et d'atteindre les objectifs proposés.

Les feuilles d'analyses d'eaux sont placées en annexe. Les tableaux D1, D2, D3 et D4 fournissent la composition des eaux de pluie, de certains ruissellements et de drainage profond du sol. La composition des eaux de pluie est pratiquement la même que celle rencontrée par RIBEIRO et TANURE (1978) dans la zone semi-aride de la Bahia.

Les diagrammes de PIFER (Fig D1 et D2) montrent la composition chimique des différentes eaux et comment, par le biais des % de leur charge, les cations et anions contribuent à la charge ionique totale. L'examen de ces diagrammes appellent les commentaires suivants :

- une certaine dispersion affecte toutes les analyses (cf. également les tableaux d'analyses);
- les eaux de pluies se distribuent suivant un relatif équilibre de la charge cationique entre Ca et  $\text{Na} + \text{K}$  alors que la charge anionique est dominée par les carbonates et les sulfates;
- les eaux de ruissellement sont relativement groupées, quelque soit leur origine, leurs charges accusant une domination des cations Ca et  $\text{Na} + \text{K}$  sur Mg et des anions alcalins  $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$ ;
- les eaux d'infiltration ont des charges cationiques équilibrées et des charges anioniques centrées sur celles des eaux de ruissellement;
- la composition des eaux de ruissellement et des eaux d'infiltration sont donc très proches et accusent un déplacement vers le calcium et le magnésium et les carbonates.

On remarque donc que l'influence de l'origine des eaux et celles des différentes surfaces (effet d'échelle) et de la végétation sur la charge ionique est ténue. Les données d'analyses d'eaux de ruissellement du tableau D2 permettent seulement de mettre en évidence des valeurs moyennes un peu plus élevées de pH,  $\text{NH}_4$ , Ca, K,  $\text{H}_4\text{SiO}_2$  dans les eaux issues de surfaces nues. Sans que l'on puisse fournir d'explications plausibles, sinon qu'une étude antérieure (LEPRUN, 1983) avait déjà mis en évidence des charges élevées en Cl et Na dans les eaux de pluvio-lessivage, ici les eaux issues de surfaces couvertes par la végétation sont plus riches en ces éléments et en  $\text{SO}_4$ .

La charge ionique de l'échantillon total de l'infiltration du

monolithe qui peut sembler élevée peut être comparée avec celle d'une eau de forage d'origine fissurale prélevée à 8 m de profondeur à quelques centaines de mètres de la zone d'étude dans les mêmes sols et roches. Leur composition est très semblable avec cependant un enrichissement légèrement supérieur des différents éléments pour l'eau de forage (tableau D4).

## 2.2 - Tests de saturation

Les résultats des tests de saturation pour la calcite et le quartz sont consignés dans le tableau D5.

Les cas de saturation qui apparaissent en valeurs négatives (différence entre le produit de solubilité Log K et le produit ionique Log Q) concernent la calcite et le quartz pour quelques eaux de ruissellement de microbassin en sol nu et une eau de ruissellement de parcelle de 100 m<sup>2</sup> sous végétation pour le quartz. En revanche, la charge ionique élevée des eaux d'infiltration présentent la saturation de la calcite, de la dolomite et du quartz. Ce résultat est à rapprocher de la présence de calcite rencontrée par les analyses chimiques à la base des profils de sols bruns vertiques et de vertissols et par celle de cette même calcite par les déterminations diffractométriques (tableau A1 de l'annexe A).

## 2.3 - Bilan des matières dissoutes.

Les pertes par ruissellement sur les différentes superficies en sol nu et sous couvert végétal ont été calculées en kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> et sont consignées dans le tableau D6 ci-dessous.

**TABLEAU D6 - PERTES PAR RUISSELLEMENT SUR DIFFERENTES SUPERFICIES NUES ET SOUS VEGETATION**

Surface	Lame (mm)	Cations					Cl	C.T.D
		Ca	Mg	K	Na	kg ha <sup>-1</sup> an <sup>-1</sup>		
1 M2 NU	192.5	6.91	2.48	6.66	1.92	18.02	2.37	58.30
1 M2 COUV	80.4	3.90	1.36	4.59	2.42	13.53	3.27	43.40
Réduction en % (1)								25.60
100 M2 NU	315.45	10.31	14.79	8.61	11.98	45.70	15.67	119.84
100 M2 COUV	7.25	0.79	0.29	1.22	0.65	2.95	0.49	10.15
Réduction en % (1)								91.53
1 Ha NU	101.69	7.24	2.42	4.60	1.41	15.18	3.25	71.18
1 Ha COUV	2.09	0.13	0.04	0.19	0.04	0.41	0.02	1.46
Réduction en % (1)								97.95

C.T.D = charge totale dissoute

(1) valeur du pourcentage par rapport au sol nu

On peut constater que le sol couvert donne naissance à des eaux de ruissellement moins minéralisées que celles sur sol nu et ceci quelque soit la surface drainée et que la réduction de la charge totale dissoute due à la végétation augmente de manière considérable entre les deux états de surface et atteint 98% pour les microbassins de l'ordre de l'hectare. La charge minérale dissoute devenant insignifiante du fait du ruissellement très réduit sous végétation naturelle.

Le bilan géochimique calculée pour les différentes surfaces testées en nu et sous végétation en soustrayant les quantités apportées par la pluie de celles exportées par le ruissellement est consigné dans le tableau D7.

**TABLEAU D7 - BILAN GEOCHIMIQUE AU NIVEAU DU SOL POUR DIFFERENTES SUPERFICIES EN NU ET SOUS VEGETATION (Différence entrées/sorties)**

SURFACE	Ca	Mg	K	Na	Cations	Cl	C.T.D
	<----- kg ha <sup>-1</sup> an <sup>-1</sup> ----->						
1 M2 NU	-4.69	-1.85	-4.69	+0.94	-10.33	+2.27	+51.00
1 M2 COUV	-1.68	-0.73	-2.62	+0.44	-5.84	+1.37	+65.90
100 M2 NUS	-8.09	-14.16	-6.64	-9.12	-38.01	-11.03	-10.57
100 M2 COUV	+1.43	+0.34	+0.75	+2.21	+5.14	+4.15	+99.15
0.5 ha NU	-5.02	-1.79	-2.63	+1.45	-7.49	+1.39	+38.12
1 ha COUV	+2.09	+0.59	+1.78	+2.82	+7.28	+4.62	+107.84

C.T.D. = charge totale dissoute

+ = bilan positif, il y a accumulation de matière sur et dans le sol

- = bilan négatif, il y a exportation de matière du sol

Le bilan pour les cations est le plus souvent négatif en sol nu et le bilan sous couvert végétal est positif pour tous les éléments analysés quelqu'ils soient et pour la charge totale dissoute sous végétation sur les surfaces de l'ordre de 100 m<sup>2</sup> et de l'hectare. Ceci signifie que au delà du m<sup>2</sup>, sous végétation naturelle, il y a accumulation de matière et en particulier accumulation de Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup> et Cl<sup>-</sup> au niveau du sol. Le ruissellement des microbassins de l'ordre de l'hectare ne permet pas l'élimination du Na<sup>+</sup> et du Cl<sup>-</sup> et ceci peut expliquer la richesse du complexe absorbant de ces sols en sodium et calcium, en particulier en profondeur (cf. annexe B) et pourquoi ces sols constituent un réel danger en cas d'irrigation par les eaux le plus souvent fortement minéralisées de ces régions. En revanche, la salinisation souvent élevée des açudes installés sur ces sols et recevant les eaux de ruissellement semblables à celles étudiées dans le cadre de ce travail et issues de bassins le plus souvent couverts par la "caatinga" reste énigmatique si l'on ne fait intervenir de manière plus intense le rôle de l'évaporation et de l'infero-flux de solutions très minéralisées provenant des horizons (B)C et C des sols vertiques et provenant de l'infiltration (solutions de drainage profond prélevées à la sortie du monolithe). L'enrichissement de ces

solutions est présentée dans un des tableaux de la fig6. L'eau permutée introduite en surface du monolithe nu se charge en effet de 339,5 kg de matière dissoute par ha et par an dont 30,75 de Na<sup>+</sup>, 56,86 de Cl<sup>-</sup> et 22.47 de Ca<sup>++</sup>, ce qui est considérable.

### 3 - Conclusions sur la géochimie des eaux

Les tableaux D8 à D11 regroupent le bilan géochimique sur sol nu et permet de visualiser d'une manière synthétique et globale les flux d'entrée, de stagnation ou de transit et de sortie de l'écosystème semi-aride nordestin étudié. Les enseignements les plus importants de l'étude géochimique des eaux concernent l'accumulation par ruissellement dans les horizons supérieurs des sols des parcelles et des microbassins sous végétation naturelle de la plupart des éléments chimiques dissous. accumulation qui permettent d'expliquer :

- la présence de certains sels et de complexes argileux et argilo-humiques saturés dans les sols de cette région;
- la composition et la qualité des eaux superficielles et les processus d'acquisition de leur minéralisation;
- le danger d'irrigations inconsidérées et mal pratiquées ainsi que les risques de salinisation des eaux stoquées à partir de surfaces défrichées et dénudées pour favoriser le ruissellement comme cela a été parfois préconisé.

TABLEAU D1 - ENTREE PAR LA PLUIE

Hauteur (mm)	Ca	Mg	K	Na	Cations	Cl	Total dissous
	-----kg ha-1 an-1-----						
635.7	2.22	0.63	1.97	2.86	7.69	4.64	109.30

TABLEAU D2

DIFFERENCES GEOCHIMIQUES DES RUISSELLEMENTS DES MICROBASSINS NUS ET  
SOUS VEGETATION

	Ph	NH4	Ca	Mg	K	Na	Cl	NO3	SO4	H4SiO2	C.T.D	Alcal	
	-----mg l-1-----										g kg-1		
NU (1)	x	7.70	2.19	7.72	2.60	4.72	1.40	1.39	6.37	3.93	10.15	0.070	3.65
		0.49	2.67	11.4	3.94	3.89	0.93	1.09	6.86	2.81	7.62	0.08	3.70
VEG (2)	x	7.56	1.78	6.19	1.84	7.08	1.89	1.72	3.41	4.98	2.84	0.063	5.44
		0.16	2.73	3.34	0.96	5.02	1.77	0.89	3.13	2.49	0.59	0.027	5.86

(1) x et = moyenne et écart type de 9 données (2) moyenne et écart typ  
de 7 données

TABLEAU D3

GEOCHIMIE DES EAUX D'INFILTRATION A LA BASE DU SOL BRUN VERTIQUE

	ph	Ca	Mg	K	Na	Cl	NO3	SO4	HCO3	C.T.D
		-----mg l-1-----								g kg-1
1er ruis	6.89	198.01	92.87	5.73	169.10	350.08	0.12	120.49	662.73	1.92
2ème ruis	7.53	139.29	66.52	4.84	140.05	297.26	0.12	61.37	486.08	1.33
Ruis tot.	7.11	73.68	36.92	2.53	100.83	186.42	0.12	31.38	300.20	0.87

C.T.D = charge totale dissoute

**TABLEAU D4**  
-----  
**COMPOSITION DES EAUX DE DRAINAGE PROFOND**

Profondeur (m)	pH	Ca	Mg	K	Na	Cl	SO4	HCO3
		<-----mg l-1----->						
0,80 (1)	7.1	73.7	36.9	2.5	100.8	186.4	31.4	300.2
8,00 (2)	7.5	104.0	72.9	7.6	96.0	180.0	69.5	531.9

(1) eau de drainage du monolithe de sol brun vertique

(2) eau d'un puits forré proche

C.T.D = charge totale dissoute

=====

**TABLEAU D5**  
-----

TEST DE SATURATION DE QUELQUES ECHANTILLONS D'EAUX DE PLUIE ET DE  
RUISSELLEMENT SUR DIFFERENTES SUPERFICIES NUES ET SOUS COUVERT VEGETAL

LOG K - LOG Q

	PLUIE	SURFACES NUES			SURFACES SOUS VEGETATION		
		1M2	100 M2	½ Ha	1M2	100 M2	1 Ha
CALCITE	5.884	2.024	1.991	1.665		0.695	0.992
QUARTZ	1.524	0.177	-0.073	-0.022		0.075	0.500
CALCITE	4.669	2.526	1.143	-0.700	2.864	1.592	2.157
QUARTZ	1.700	0.359	0.178	-0.464	0.269	0.605	0.526
CALCITE	5.362	2.959	3.253	2.397	1.630	1.983	1.872
QUARTZ	2.001	0.369	0.223	-0.035	0.177	0.164	0.423
CALCITE	5.244	2.546	2.453	3.044	3.175	0.551	1.503
QUARTZ	2.001	0.458	0.203	0.303	0.182	-0.243	0.485

=====

**BILAN HYDROGEOCHIMIQUE SUR SOL NU A SUME**

**TABLEAU D8 - ENTREE PAR LA PLUIE**

Hauteur (mm)	Ca	Mg	K	Na	Cations	Cl	Total dissous
	<-----kg ha-1 an-1----->						
635.7	2.22	0.63	1.97	2.86	7.69	4.64	109.30

**TABLEAU D9 - PERTES PAR RUISSELLEMENT SUPERFICIEL**

Surface	Lame (mm)	Ca	Mg	K	Na	Cations	Cl	C.T.D
		<-----kg ha-1 an-1----->						
1 M2	192.50	6.91	2.48	6.66	1.92	18.02	2.37	58.3
100 M2	315.45	10.31	14.79	8.61	11.98	45.70	15.67	119.84
1 Ha	101.69	7.24	2.42	4.60	1.41	15.18	3.25	71.18

C.T.D = charge totale dissoute

**TABLEAU D10 - ENRICHISSEMENT PAR DRAINAGE PROFOND**

SURFACE	LAME (mm)	CA	MG	K	NA	CATIONS	CL	C.T.D
		<-----kg ha-1 an-1----->						
1 M2	18.92	22.47	11.26	0.77	30.75	65.26	56.86	339.50

C.T.D = charge totale dissoute

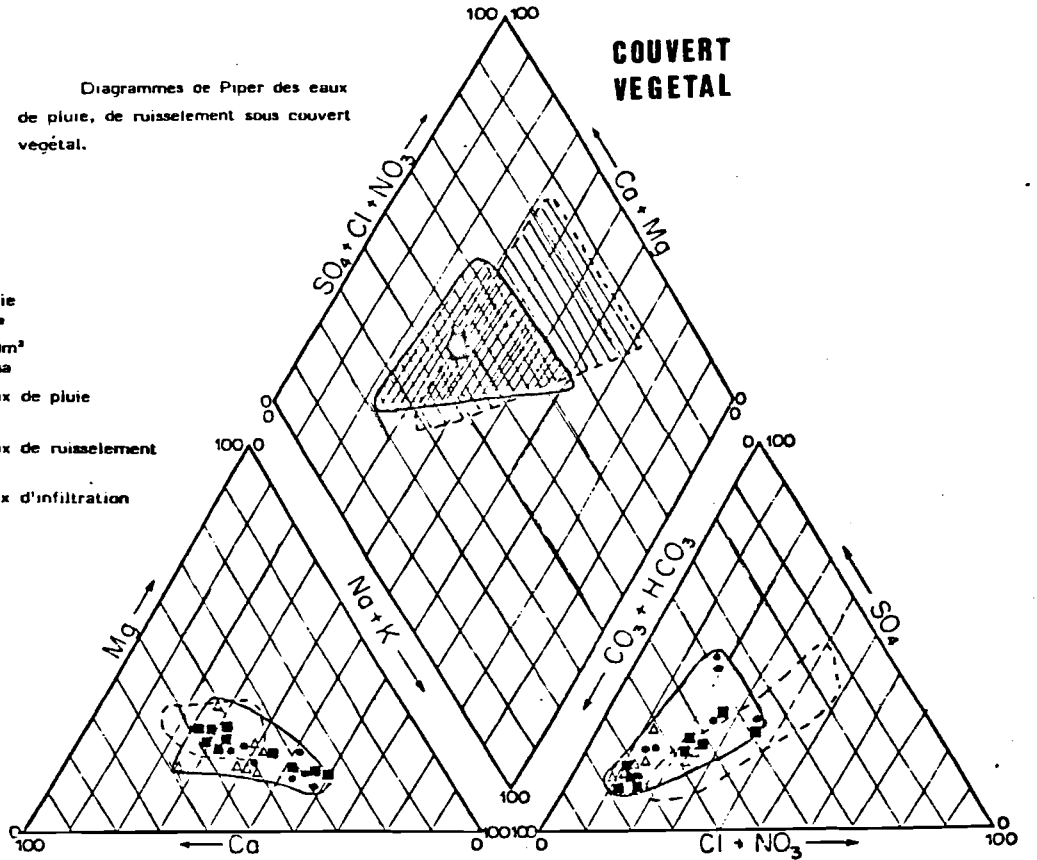
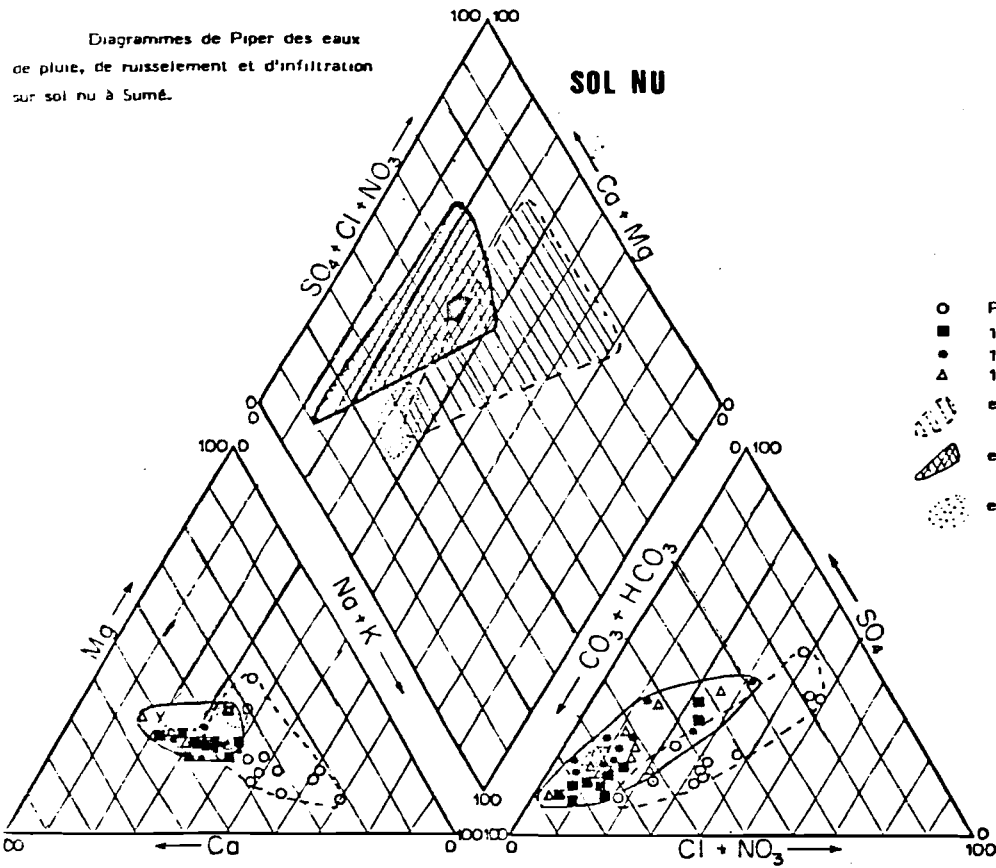
**TABLEAU D11**

**BILAN GEOCHIMIQUE AU NIVEAU DU SOL (Différence entrées/sorties)**

SURFACE	Ca	Mg	K	Na	Cations	Cl	C.T.D.
	<-----kg ha-1 an-1----->						
1 M2	-4.69	-1.85	-4.69	+0.94	-10.33	+2.27	+51.00
100 M2	-8.09	-14.16	-6.64	-9.12	-38.01	-11.03	-10.57
1 Ha	-5.02	-1.79	-2.63	+1.45	-7.49	+1.39	+38.12

C.T.D = charge totale dissoute

## DIAGRAMMES DE PIPER



- Pluie
- 1m<sup>2</sup>
- 100m<sup>2</sup>
- △ 1 ha
- eaux de pluie
- eaux de ruissellement
- eaux d'infiltration

CENTRE DE SEDIMENTOLOGIE  
ET DE GEOCHIMIE DE LA SURFACE

1, rue Blessig  
67084 STRASBOURG Cedex  
Tél. 35.66.03

ANNEXE D

pour le compte de :  
FRITZ MOLINIER

ANALYSE D'EAU

référence : CHUVA

(24,2mm)

12.1.88 20.1.88 20.1.88 20.1.88 20.1.88 20.1.88 20.1.88 BRESIL

échantillon très coloré

Echant. n°		Pluie 1	Pluie 2	FF Vallée de la	MPB	MP9 Casilvasa	MB2	MB3		
pH	terrain	—	—	6,87	6,48	7,56	6,43	6,45		
	labo	6,68	5,86	7,12	7,10	7,75	7,74	7,53		
conductivité à 20°C µS/cm		15,5	10,3	45,7	45,0	357	132	60,7		
CATIONS m moles/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,007	<0,001	0,013	0,018	0,004	0,086	0,023		
	Na <sup>+</sup>	0,037	0,027	0,066	0,046	0,895	0,134	0,060		
	K <sup>+</sup>	0,028	0,011	0,080	0,075	1,05	0,388	0,138		
	Mg <sup>2+</sup>	0,011	0,007	0,057	0,061	0,427	0,125	0,076		
	Ca <sup>2+</sup>	0,024	0,014	0,111	0,117	0,500	0,295	0,144		
	Ecations (meq/l)		0,142	0,080	0,415	0,495	3,803	1,448	0,661	

ANIONS m moles/l		Alcalinité	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>				
		0,070	0,011	0,041	0,066	0,712	0,179			
		0,043	0,032	0,058	0,033	0,923	0,309	0,064		
		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,497	0,001	<0,001		
		0,001	0,018	<0,001	<0,001	0,059	0,001	0,001		
		0,013	0,010	0,032	0,038	0,431	0,108	0,048		
anions (meq/l)		0,139	0,061	0,463	0,475	—	1,269	0,639		

MOLECULES NEUTRES m moles/l	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>									
	0,003	0,003	0,067	0,119	0,085	0,032	0,106			
écart moyen	1,1%	0,6%	3,3%	2,1%		6,6%	1,2%			

remarques :

Dosage par  
impédance  
pH plat

Dosage par  
titrimétrie  
pH plat

CENTRE DE SEDIMENTOLOGIE  
ET DE GEOCHIMIE DE LA SURFACE

1, rue Blessig  
67084 STRASBOURG Cedex  
Tél. 35.66.03

pour le compte de :  
FRITZ-MOLNIER

ANALYSE D'EAU

référence : CHUVI  
BRÉSIL

(72,0/mm)

14.2.88 14.2.88 14.2.88 14.2.88 14.2.88 14.2.88 14.2.88

		Pluie 3	E4	MP8	MP9	MB2	MB3	E4		
Echant. n°		88371	88372	88373	88374	88375	88376	88377		
pH	terrain									
	labo	6,59	7,33	7,68	7,51	7,43	8,50	7,09		
conductivité à 20°C µS/cm		9,4	25,6	91,4	77,3	49,5	280	25,7		
CATIONS m moles/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,001	0,023	0,026	0,050	0,050	0,105	0,006		
	Na <sup>+</sup>	0,040	0,016	0,084	0,046	0,058	0,157	0,030		
	K <sup>+</sup>	0,008	0,040	0,229	0,291	0,116	0,357	0,045		
	Mg <sup>2+</sup>	0,006	0,033	0,101	0,075	0,052	0,565	0,033		
	Ca <sup>2+</sup>	0,010	0,065	0,231	0,155	0,080	0,875	0,059		
Ecations (meq/l)		0,080	0,275	1,001	0,855	0,518	3,379	0,265		

ANIONS m moles/l	Alcalinité	0,052	0,216	0,740	0,562	0,340	2,776	0,189		
	Cl <sup>-</sup>	0,019	0,013	0,051	0,111	0,063	0,144	0,028		
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	<0,001	<0,001	<0,001	0,004	0,001	0,001	<0,001		
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<0,001	0,008	<0,001	0,038	0,011	<0,001	<0,001		
	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	0,002	0,011	0,091	0,057	0,038	0,123	0,018		
Eanions (meq/l)		0,083	0,259	0,973	0,829	0,491	3,167	0,253		

MOLECULES NEUTRES m moles/l	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	0,002	0,014	0,067	0,025	0,030	0,307	0,054		
	écart m.y.c.	1,8%	3%	1,1%	1,5%	2,7%	3,2%	2,3%		

Remarques :

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Strasbourg, le 26-5-88

CENTRE DE SEDIMENTOLOGIE  
ET DE GEOCHIMIE DE LA SURFACE

1, rue Blessig

67084 STRASBOURG Cedex

Tél. 35.66.03

pour le compte de :

FRITZ MOLINIER

## ANALYSE D'EAU

référence : CHUV<sup>19</sup>

(30,6mm)

16.2.88 16.2.88 16.2.88 16.2.88 16.2.88 16.2.88 16.2.88 16.2.88 BRÉSIL

		Pivie H	EP	MPB	MP9	MB2	MB3	E4		
Echant. n°		88378	88379	88380	88381	88382	88383	88384		
pH	terrain									
	labo	6,30	7,16	6,99	7,07	7,07	7,22	7,40		
conductivité à 20°C µS/cm		7,1	21,0	24,3	64,9	62,5	50,7	68,2		
CATIONS m moles/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,005	0,014	0,004	0,012	0,004	0,001	0,090		
	Na <sup>+</sup>	0,015	0,025	0,030	0,133	0,033	0,056	0,050		
	K <sup>+</sup>	0,005	0,041	0,048	0,125	0,270	0,094	0,121		
	Mg <sup>2+</sup>	0,005	0,025	0,030	0,080	0,062	0,063	0,093		
	Ca <sup>2+</sup>	0,008	0,046	0,055	0,131	0,142	0,123	0,156		
Ecations (meq/l)		0,051	0,222	0,252	0,692	0,715	0,522	0,759		

ANIONS m moles/l	Alcalinité	0,025	0,164	0,104	0,366	0,197	0,207	0,542		
	Cl <sup>-</sup>	0,015	0,018	0,040	0,074	0,090	0,040	0,074		
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,001	0,024	<0,001		
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,005	<0,001	0,023	0,083	0,038	0,115	0,025		
	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	0,004	0,009	0,023	0,059	0,056	0,040	0,038		
Eanions (meq/l)		0,054	0,200	0,214	0,641	0,678	0,166	0,717		

MOLECULES NEUTRES m moles/l	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	0,001	0,013	0,060	0,069	0,038	0,109	0,067		
	écort moyen	2,9%	5,2%	5,1%	3,8%	2,7%	5,7%	2,5%		

Remarques :

CENTRE DE SEDIMENTOLOGIE  
ET DE GEOCHIMIE DE LA SURFACE

1, rue Blessig

67084 STRASBOURG Cedex

Tél. 35.66.03

pour le compte de :

FRIEZ-MOLINIER

(52,4 mm)  
ANALYSE D'EAU

référence : CHUMH

		24.2.88			25.2.88						
		Ploie 5	EA	E4	Ploie 6	EA	MP8	MP9	MB2	MB3	E4
Echant. n°		88385	88386	88387	88388	88389	88390	88391	88392	88393	88394
pH	terrain										
	labo	5,96	7,58	7,46	6,37	7,25	7,24	7,95	7,53	7,13	6,83
conductivité à 20°C µS/cm		10,5	73,6	112	7,0	32,7	41,9	170	70,8	25,1	41,5
CATIONS m moles/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,023	0,038	0,004	0,018	0,057	0,050	0,032	0,079	0,032	0,001
	Na <sup>+</sup>	0,027	0,126	0,150	0,012	0,051	0,063	0,075	0,051	0,040	0,064
	K <sup>+</sup>	0,004	0,079	0,198	0,007	0,052	0,062	0,277	0,127	0,050	0,070
	Mg <sup>2+</sup>	0,005	0,100	0,145	0,003	0,028	0,043	0,205	0,063	0,024	0,053
	Ca <sup>2+</sup>	0,009	0,187	0,276	0,009	0,066	0,083	0,393	0,192	0,042	0,087
Ecations (meq/l)		0,082	0,817	1,194	0,061	0,328	0,427	1,880	0,767	0,254	0,415

ANIONS m moles/l	Alcalinité	0,010	0,578	0,475	0,025	0,246	0,253	~1,005	0,528	0,159	0,117
	Cl <sup>-</sup>	0,033	0,102	0,209	0,017	0,029	0,051	0,222	0,068	0,023	0,044
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	<0,001	<0,001	0,221	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	0,031
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,026	<0,001	0,049	0,007	0,019	0,037	0,232	0,057	0,031	0,123
	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	0,008	0,046	0,102	0,006	0,016	0,035	0,173	0,047	0,016	0,027
Eanions (meq/l)		0,085	0,772	1,158	0,061	0,326	0,411	1,805	0,749	0,245	0,369

MOLECULES NEUTRES m moles/l	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	0,001	0,100	0,062	0,001	0,035	0,063	0,178	0,033	0,050	0,066
	écart moyen	1,0%	2,8%	1,5%	0%	0,3%	1,9%	2%	1,2%	1,8%	5,9%

Remarques :

Dosage H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>  
d'H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> par trip pt

CENTRE DE SEDIMENTOLOGIE  
ET DE GEOCHIMIE DE LA SURFACE1, rue Blessig  
67084 STRASBOURG Cedex  
TÉL. 35.66.03pour le compte de :  
FRITZ-MULINIER

## ANALYSE D'EAU

référence : CHUVA  
BRESIL

(16mm)

26.2.88 26.2.88 26.2.88 26.2.88 26.2.88 26.2.88

		PLVIC 7	EA	MP8	MP9	MB3	E4			
Echant. n°		88395	88396	88397	88398	88399	88400			
pH	terrain									
	labo	6,63	6,52	7,10	7,61	7,25	7,37			
conductivité à 20°C µS/cm		12,7	22,1	27,1	168	314	49,5			
CATIONS m moles/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,036	0,032	0,033	0,089	0,034	0,032			
	Na <sup>+</sup>	0,020	0,029	0,033	0,583	0,031	0,069			
	K <sup>+</sup>	0,013	0,039	0,046	0,344	0,062	0,094			
	Mg <sup>2+</sup>	0,005	0,024	0,027	0,131	0,032	0,067			
	Ca <sup>2+</sup>	0,013	0,042	0,050	0,240	0,060	0,104			
Σcations (meq/l)		0,105	0,232	0,266	1,758	0,311	0,537			

ANIONS m moles/l	Alcalinité	0,050	0,030	0,150	0,625	0,179	0,350			
	Cl <sup>-</sup>	0,029	0,017	0,032	0,276	0,025	0,059			
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	<0,001	0,001	<0,001	0,009	<0,001	0,004			
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,016	0,057	0,031	0,056	0,047	0,035			
	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,007	0,010	0,020	0,343	0,024	0,037			
Σanions (meq/l)		0,109	0,125	0,253	1,652	0,299	0,522			

MOLECULES NEUTRES m moles/l	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	0,003	0,042	0,056	0,085	0,066	0,065			
	écart moyen	1,9%	30%*	2,5%	3,1%	2%	1,4%			

Remarques :

Pb!

CENTRE DE SEDIMENTOLOGIE  
ET DE GEOCHIMIE DE LA SURFACE

1, rue Blessig  
67084 STRASBOURG Cedex  
Tél. 35.66.03

pour le compte de :  
FRITZ-MOLINIER

ANALYSE D'EAU

référence : CHUYA  
9.3.88 - BRÉSIL

(20,2mm)

2.3.88

(14,8mm)

		Pluie 8	E9	MP8	MB3	E4	Pluie 9	E9	MP8	MB3	E4
Echant. n°		88401	88402	88403	88404	88405	88406	88407	88408	88409	88410
pH	terrain	4,85	7,52	8,08	7,85	8,20	—	7,65	8,04	8,09	8,11
	labo	6,50	6,77	6,99	6,92	7,85	6,36	6,37	7,27	6,93	7,09
conductivité à 20°C µS/cm		7,4	21,6	27,5	27,2	167	6,5	26,4	43,8	51,5	71,6
CATIONS m moles/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,023	0,017	0,051	0,001	0,078	0,018	0,002	0,075	0,001	0,001
	Na <sup>+</sup>	0,020	0,039	0,045	0,036	0,640	0,016	0,046	0,053	0,047	0,207
	K <sup>+</sup>	0,007	0,041	0,046	0,061	0,348	0,005	0,044	0,066	0,104	0,198
	Mg <sup>2+</sup>	0,002	0,023	0,023	0,031	0,120	0,002	0,028	0,046	0,063	0,052
	Ca <sup>2+</sup>	0,004	0,040	0,041	0,057	0,204	0,006	0,045	0,078	0,120	0,089
Ecations (meq/l)		0,062	0,223	0,270	0,273	1,714	0,055	0,238	0,442	0,517	0,687

		Pluie 8	E9	MP8	MB3	E4	Pluie 9	E9	MP8	MB3	E4
ANIONS m moles/l	Alcalinité	0,026	0,083	0,171	0,106	0,707	0,019	0,045	0,219	0,138	0,180
	Cl <sup>-</sup>	0,017	0,018	0,029	0,026	0,398	0,017	0,025	0,032	0,039	0,160
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	<0,001	<0,001	<0,001	0,023	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,012	0,024
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,009	0,030	0,022	0,047	0,055	0,008	0,101	0,085	0,217	0,171
	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	0,005	0,010	0,020	0,017	0,257	0,005	0,019	0,039	0,042	0,065
Eanions (meq/l)		0,064	0,151	0,262	0,236	1,674	0,054	0,209	0,414	0,490	0,665

MOLECULES NEUTRES m moles/l	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	Pluie 8	E9	MP8	MB3	E4	Pluie 9	E9	MP8	MB3	E4
	écart moyen		1,6%	19,2%*	1,5%	7,3%	1,2%	0,9%	6,5%	3,2%	2,7%

Remarques :

Pl !

CENTRE DE SEDIMENTOLOGIE  
ET DE GEOCHIMIE DE LA SURFACE

1, rue Blessig  
67084 STRASBOURG Cedex  
TÉL. 35.66.03

pour le compte de :  
FRITZ-MOLINIER

ANALYSE D'EAU

référence : CHUVA  
BRASIL

(47,0 mm)

M-3-88

		Pluic10	EA	MP8	MP9	MB2	MB3	E <sub>1</sub>			
Echant. n°		88411	88412	88413	88414	88415	88416	88417			
pH	terrain	—	7,51	7,96	7,96	7,79	7,99	7,57			
	labo	5,61	7,02	7,02	7,35	7,06	6,66	6,83			
conductivité à 20°C μS/cm		2,7	22,3	21,5	71,8	31,6	56,6	22,7			
CATIONS m moles/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,004	0,059	0,046	0,001	0,010	20,001	20,001			
	Na <sup>+</sup>	0,006	0,030	0,032	0,193	0,019	0,066	0,028			
	K <sup>+</sup>	0,003	0,037	0,041	0,223	0,112	0,104	0,068			
	Mg <sup>2+</sup>	20,001	0,017	0,022	0,048	0,029	0,065	0,022			
	Ca <sup>2+</sup>	0,002	0,030	0,040	0,100	0,066	0,124	0,038			
	H <sup>+</sup>	0,002									
Cations (meq/l)		0,019	0,220	0,243	0,713	0,331	0,548	0,216			

Al<sub>3</sub>+H<sup>+</sup>

		Al <sub>3</sub> +H <sup>+</sup>									
ANIONS m moles/l	Alcalinité	0,002	0,157	0,124	0,232	0,133	0,075	0,083			
	Cl <sup>-</sup>	0,007	0,020	0,024	0,097	0,028	0,052	0,033			
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	20,001	20,001	20,001	0,030	0,018	0,020	0,050			
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,002	0,009	0,038	0,051	0,061	0,281	0,018			
	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	0,003	0,011	0,020	0,132	0,030	0,040	0,015			
Anions (meq/l)		0,017	0,208	0,226	0,674	0,300	0,508	0,214			

MOLECULES NEUTRES m moles/l	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>										
	écart moyen	5,6%	2,8%	3,6%	2,8%	4,9%	3,8%	0,5%			

Remarques :

CENTRE DE SEDIMENTOLOGIE  
ET DE GEOCHIMIE DE LA SURFACE

1, rue Blessig  
67084 STRASBOURG Cedex  
TÉL. 35.66.03

pour le compte de :  
FRITZ - MOLINIER

ANALYSE D'EAU

référence : CHUYA  
BRESIL

24-6-88

		Pluic 11	EA	MPB	MB2	MB3	E4			
Echant. n°		88548	88549	88550	88551	88552	88553			
pH	terrain									
	labo	6,96	7,38	6,19	7,35	7,14	7,49			
conductivité à 20°C µS/cm		21,8	169	25,6	115	40,0	68,3			
CATIONS m moles/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,048	0,001	0,043	0,002	10,001	0,015			
	Na <sup>+</sup>	0,027	0,060	0,045	0,046	0,051	0,035			
	K <sup>+</sup>	0,022	0,480	0,045	0,440	0,094	0,200			
	Mg <sup>2+</sup>	0,010	0,239	0,028	0,123	0,046	0,086			
	Ca <sup>2+</sup>	0,017	0,297	0,048	0,205	0,087	0,157			
Cations (meq/l)		0,201	1,613	0,285	1,144	0,411	0,736			

		Alcalinité								
ANIONS m moles/l	Alcalinité	0,153	0,406	0,030	0,458	0,156	0,508			
	Cl <sup>-</sup>	0,035	0,061	0,032	0,202	0,039	0,101			
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	0,001			
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,002	0,218	0,028	0,457	0,122	0,028			
	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	0,009	0,050	0,022	0,080	0,030	0,043			
anions (meq/l)		0,208	1,588	0,134	1,077	0,377	0,724			

		H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>								
MOLECULES NEUTRES m moles/l	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	0,002	0,033	0,076	0,029	0,078	0,071			
	écart moyen	1,7%	0,8%	36%*	3%	4,3%	0,8%			

remarques :

↑ 13 !  
?

CENTRE DE SEDIMENTOLOGIE  
ET DE GEOCHIMIE DE LA SURFACE

1, rue Blessig  
67084 STRASBOURG Cedex  
Tél. 35.66.03

pour le compte de  
FIRMA MOULINIER

ANALYSE D'EAU

référence : CHUYA  
BRESIL

10-7-88

		Pluic 12	E9	MP8	MP9	M132	M133	E4		
Echant. n°		88554	88555	88556	88557	88558	88559	88560		
pH	terrain									
	labo	6,14	7,01	6,82	7,83	7,53	7,32	7,21		
conductivité à 20°C µS/cm		3,2	15,2	30,6	244	72,8	62,4	31,5		
CATIONS m moles/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,001	0,014	0,028	0,015	0,013	0,013	0,013		
	Na <sup>+</sup>	0,006	0,010	0,037	0,510	0,036	0,061	0,037		
	K <sup>+</sup>	0,002	0,043	0,041	0,798	0,172	0,097	0,120		
	Mg <sup>2+</sup>	0,003	0,015	0,038	0,198	0,124	0,078	0,028		
	Ca <sup>2+</sup>	0,005	0,027	0,075	0,390	0,152	0,153	0,045		
Ecations (meq/l)		0,024	0,151	0,332	2,499	0,773	0,633	0,316		

ANIONS m moles/l	Alcalinité	0,014	0,106	0,099	~0,951	0,172	0,283	0,209		
	Cl <sup>-</sup>	0,006	0,020	0,023	0,495	0,065	0,093	0,042		
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,074	0,001	<0,001		
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<0,001	0,008	0,031	0,203	0,066	0,161	0,024		
	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	0,003	0,007	0,030	0,304	0,045	0,033	0,021		
Eanions (meq/l)		0,026	0,148	0,213	2,259	0,767	0,604	0,317		

MOLECULES NEUTRES mmoles/l	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	0,001	0,018	0,057	0,094	0,020	0,105	0,018		
	écart moyen	4%	1%	21,8%*	5%	0,14%	2,3%	0,2%		

Remarques :

↑↑! D'après AL  
différent pic à pic