

**DYNAMIQUE DE L'EAU ET DES MATIERES DANS
UN ECOSYSTEME REPRESENTATIF DU
NORDESTE BRESILIEN. CONDITIONS D'EXTRAPOLATION
SPATIALE A L'ECHELLE REGIONALE**

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

ORSTOM, CP 4010 - Boa Viagem, 50000 RECIFE, Brésil



159

Fonds	Aménagement
Cote: A*	56707 Ex

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

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 : 1m², 100m², 1ha et 10km². La superficie de 10km² est représentée par le bassin de UMBURANA étudié depuis 1972. L'échelle de 1ha comporte quatre microbassins expérimentaux étudiés depuis 1982. Neuf parcelles de 100m², 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 1m² 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 de profondeur.

3 - LES SOLS

Ce projet a permis de préciser les connaissances antérieures, en particulier par l'étude détaillée réalisée sur une parcelle de 25 x 30m sélectionnée en 1988. Les résultats ainsi acquis 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.

Ce paragraphe donne une présentation synthétique du système qu'ils constituent.

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

3.11 - Le type dominant

Le sol brun non calcique vertique (brun eutrophe tropical vertique de la classification française), présente le profil schématique suivant : un horizon A de 20 cm d'épaisseur, brun-gris, sablo-argileux 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.

3.12 - 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, mais jamais excessifs. 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, 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.

3.21 - Au point de vue morphologique et taxonomique 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 et la géométrie des limites les 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.

3.22 - 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 vertisols.

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 litosoliques, 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, la 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.

Pour conclure, on soulignera que la propre minéralogie des sols 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 (1m², 100m² et hectare), sur sol nu et sous végétation et de déterminer les relations existantes entre la lame ruisselée (LR) et la lame précipitée (P), 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" (IP) qui est lié à l'évolution des stocks d'eau emmagasinés dans le sol. La qualité de cette liaison varie avec l'état de superficie des sols. Ainsi, sur sol nu et sous fortes intensités de pluie, la dégradation de la structure du sol modifie la relation indiquée de pluie/stock d'eau. Ceci est du à la formation d'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.

Malgré l'imperfection de cet indice pour représenter l'état d'humectation préalable des sols, les relations $LR = f(P,IP)$ ont mis en évidence le rôle déterminant de la superficie étudiée (fig.3) et de la couverture végétale (fig.4) sur la lame ruisselée.

5 - DYNAMIQUE INTERNE

Les résultats obtenus sous pluies simulées (microparcelles de $1m^2$) et le schéma de fonctionnement présenté en 3.3 ont permis de mettre en évidence trois types de flux principaux.

5.1 - Infiltration superficielle

On a constaté qu'à toutes les échelles d'études, la couverture végétale apparaît comme un facteur déterminant du ruissellement. 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. Les expériences de terrain ont montré, en outre, 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.

5.2 - Les transferts de A vers B et 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. 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. 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 entraînent, 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.

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. Ces courts-circuits peuvent être interprétés par l'hétérogénéité du sol liée à la structure complexe du substrat rocheux. En effet, depuis l'affleurement de pegmatite 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, avant d'atteindre la saturation du C.

5.3 - 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 d'un 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.

6 - GEOCHIMIE DES 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 de végétation ne s'expriment significativement. On note seulement que les surfaces dénudées donnent naissance à des eaux de ruissellement légèrement plus minéralisées, et surtout avec des valeurs moyennes un peu plus élevées de pH, NH₄, Ca, K, H₄SiO₄. Sans avoir d'explication à proposer, ceci doit-être rapproché d'un résultat antérieur 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 SO₄.

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 1 donne les concentrations exprimées en charge total dissoute (CTD en g/kg) ainsi que l'ordre de grandeur du facteur de concentration.

Au point de vue composition chimique 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 aèdes (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.

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 premier paragraphe.

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 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 dominent 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. Ceci peut expliquer, en partie, l'effet d'échelle constaté. On peut ajouter qu'à une échelle plus ample, on intégrerait des sédiments de l'aval 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 calé 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. Ces deux modules peuvent être ramenés à un seul composé des 3 horizons A, B et C ; le B pouvant être court-circuité dans le cas des sols modaux.

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 de mettre 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. 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. 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 d'une 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% à 15% 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, modelés, 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.

BIBLIOGRAPHIE - LISTE DES PUBLICATIONS

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.

AUDRY(P.), SILVA(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.

BRASIL -1972- Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado da Paraíba. Rio de Janeiro, 683 p. (Boletim técnico, 15) BRASIL-SUDENE. Pedologia, 8.

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.

CADIER(E.), FREITAS(B.J.de) -1983- Bacia experimental de Sumé. Instalação e primeiros resultados. Recife, SUDENE-DRN, Série hidrologia, n°16.

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. Septembre 1989.

GALVÃO DE OLIVEIRA(C.) -1990- Modelização do escoamento e da erosão em pequenas bacias hidrográficas. Thèse de "Mestrado". Université Fédérale de la Paraíba, Campina Grande, Brésil. (A paraître en 1990).

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.

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.

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. São Paulo, 11-14 nov.1985, Vol.3,pp. 405- 418.

MOLINIER(M.), CADIER(E.) - 1985 - Les sécheresses du Nordeste brésilien. Cahier ORSTOM, Sér.Hydrol.,vol.XXI,n°4,1984-85;pp 23-49.

MOLINIER(M.), GALVÃO(C.O.), 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.) - 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.

MOLINIER(M.), AUDRY(P.), DESCONNETS(J.C.), LEPRUN(J.C.) - 1989 - Projet : "Dynamique de l'eau et des matières dans un écosystème représentatif du Nordeste brésilien. Conditions d'extrapolation spatiale à l'échelle régionale". Rapport final. ATP-PIREN, ORSTOM,Recife, 25 p., 6fig., (Annexes, 56p. + tabl. + fig.).

MOLINIER(M.), AUDRY(P.), LEPRUN(J.C.) - 1989 - Modélisation de l'écoulement et de l'infiltration dans un sol brun du Nordeste semi-aride du Brésil. Séminaire "Estúdio de las relaciones água-suelo-vegetación y ganado en la zona árida del norte de México. Orientado en la utilización racional de estos recursos". Gomez Palácio - DGO Mexique, 22-27 octubre 1989.

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, João Pessoa, Brésil. A paraître au début de l'année 1990.

POSS(R.) -1987- BHYSON Logiciel intégré pour le traitement des données d'humidimétrie neutronique. LOGOR, Edition de l'ORSTOM

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.

UFPB-CNPq -1987- Modelo de aproveitamento hidrológico em bacias experimentais na região de Sumé. Campina Grande-PB

UFPB-CNPq-ORSTOM-SUDENE - Dados e resultados obtidos na bacia experimental de Sumé. (à paraître)

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

LISTE DES FIGURES ET TABLEAU

Figure 1 - Répartition des sols en fonction des roches et du modelé.

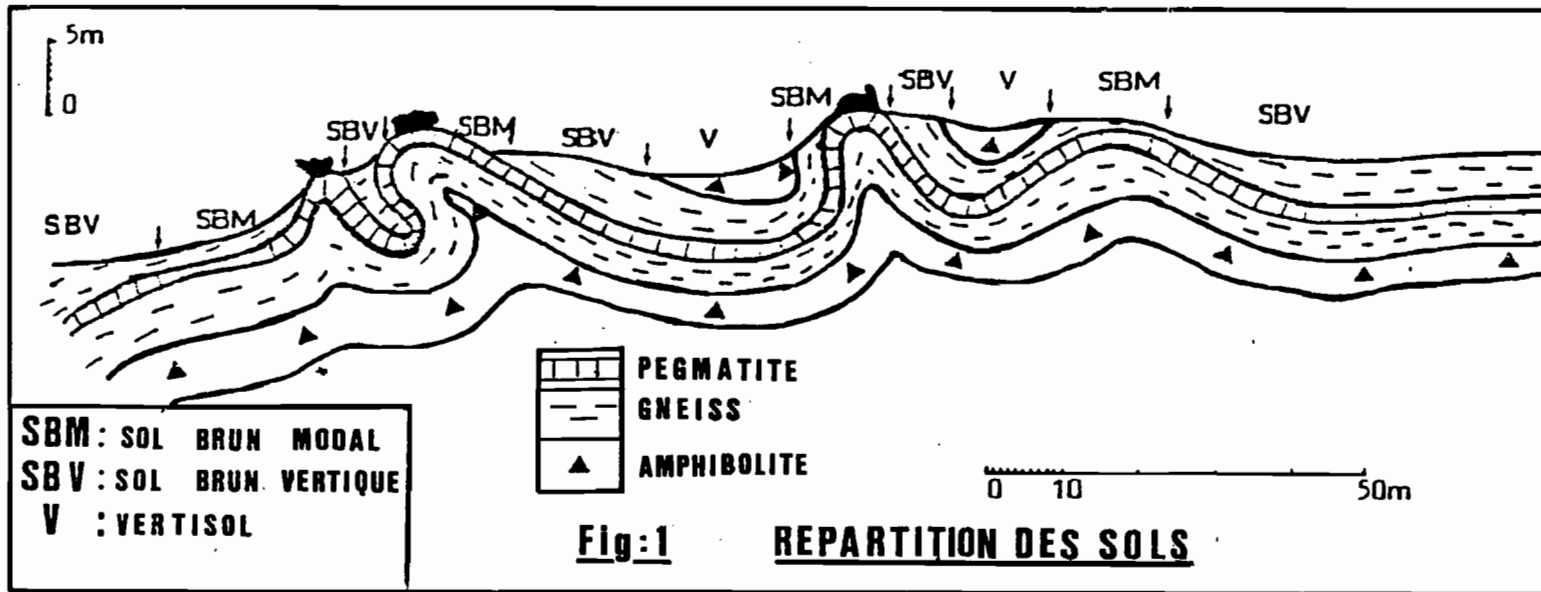
Figure 2 - Schéma de distribution des sols et de circulation des solutions.

Figure 3 - Relations averse-ruissellement.

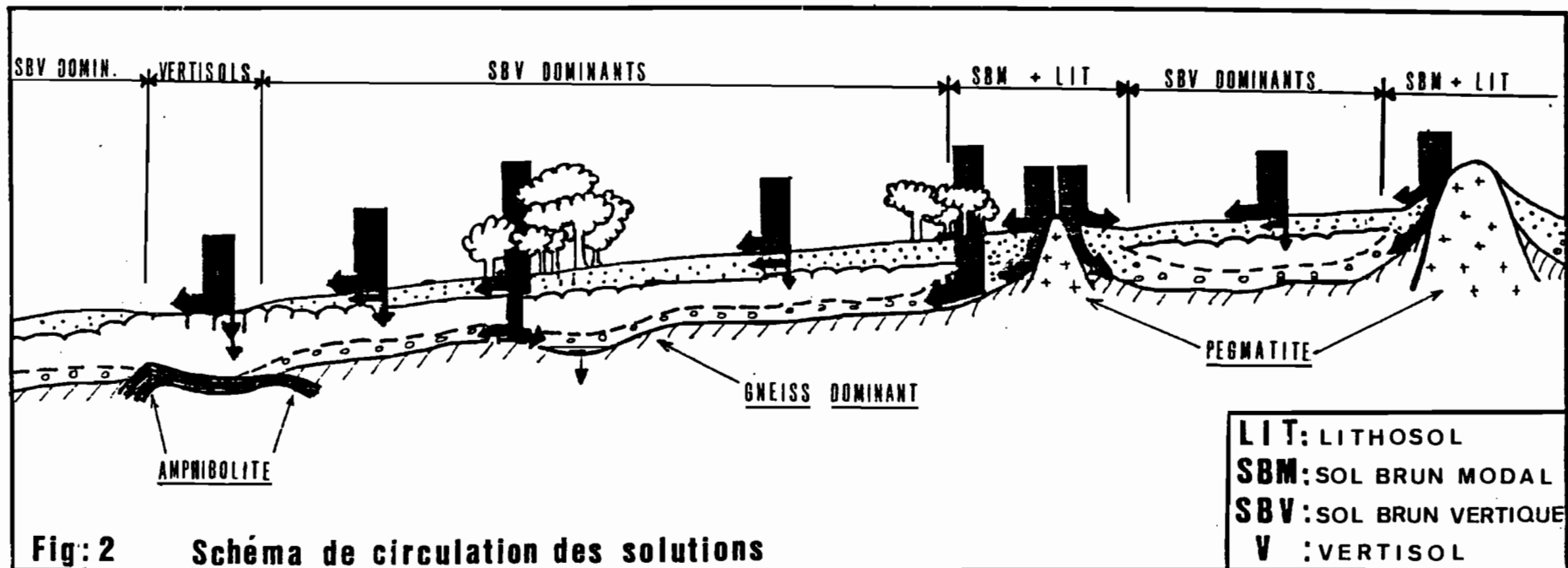
Figure 4 - Rôle de la végétation.

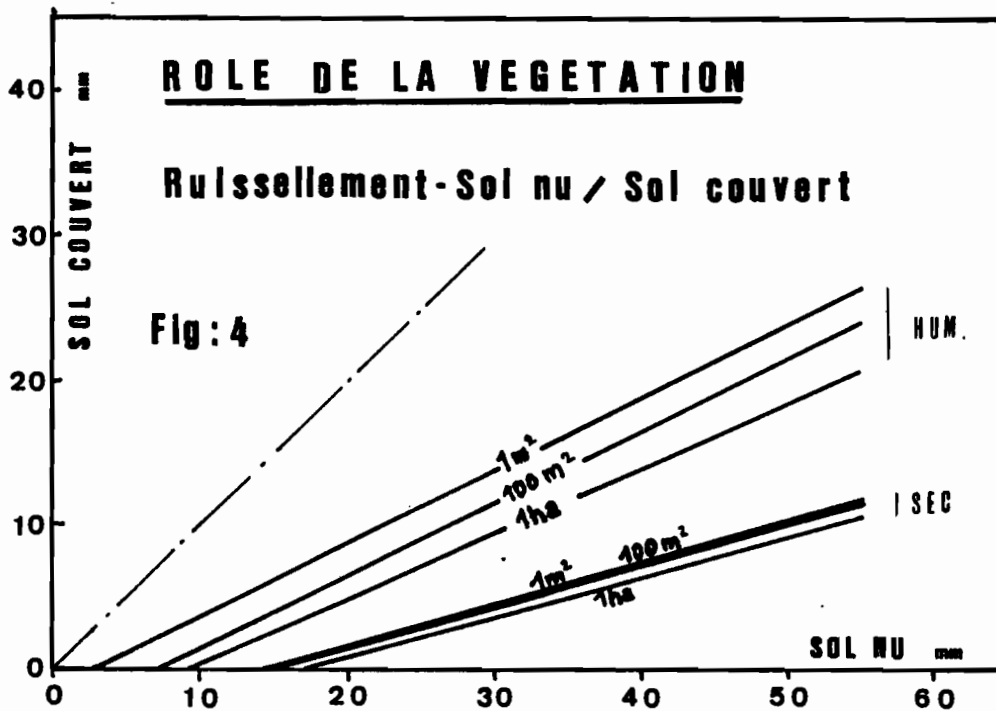
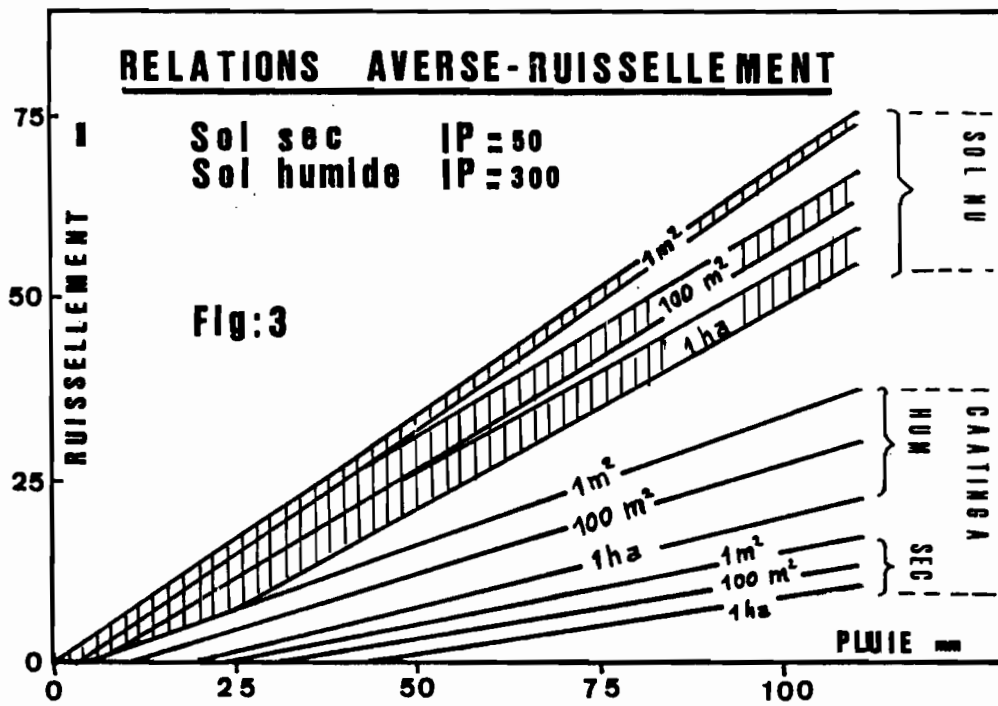
Tableau 1 - Charge totale dissoute (CTD en g/kg) et Facteur de concentration.

Tableau : 1	CTD	Facteur de concentration		
Eaux de pluie	0.017		65	
Eaux de ruissellement	0.067			4
Drainage à la base d'un sol BV	0.87			13
Forage à 8 mètres	1.14			1,3



175







PIREN



CRSTOM



ACTION THEMATIQUE PROGRAMMEE

**INFLUENCE A L'ECHELLE REGIONALE DES COUVERTURES
PEDOLOGIQUES ET VEGETALES SUR LES BILANS
HYDRIQUES ET MINERAUX DES SOLS**

JUIN 1986 - JUIN 1989

RAPPORT FINAL

Edité par G. VACHAUD
Institut de Mécanique de Grenoble
Unité Mixte 101 (CNRS - Université Joseph
Fourier, Institut National Polytechnique de
Grenoble)
BP 53 X - 38041 GRENOBLE CX