

La conservation et la gestion des sols dans le Nordeste brésilien. Particularités, bilan et perspectives

Jean-Claude LEPRUN

Pédologue ORSTOM — EMBRAPA SNLCS, rua Jardim botânico, 1024, 22460 Rio de Janeiro, Brésil

RÉSUMÉ

Ce travail présente la situation actuelle de la recherche sur la conservation des sols et de l'eau dans la région Nordeste, du Brésil. Après près de quatre années à la SUDENE comme responsable d'une convention sur l'étude de la gestion et de l'érosion des sols, il est possible de dresser un inventaire des études réalisées et en cours d'exécution et d'examiner les différents facteurs de dégradation des sols dans les conditions climatiques, pédologiques, biologiques, hydrologiques et socio-économiques particulières de la région. Une comparaison avec la situation en Afrique de l'Ouest et un essai d'explication des différences rencontrées sont tentés. La région Nordeste, malgré son cadre écologique difficile paraît moins dégradée que son homologue africain, en particulier le Sahel, et possède des facteurs de conservation et un potentiel de ressources naturelles bien plus favorables. L'exposé des résultats obtenus et du bilan établi permet de juger de la quantité de données recueillies, de leur application et d'aborder les lacunes et les points faibles de la recherche sur la conservation des sols dans cette région. Enfin, les perspectives sont dressées en fonction des études en cours et des orientations nouvelles.

MOTS-CLÉS : Conservation-sols — Erosions — Eau — Inventaire — Semi-aride — Brésil.

RESUMO

A CONSERVAÇÃO E O MANEJO DOS SOLOS NO NORDESTE BRASILEIRO. PARTICULARIDADES, BALANÇO E PERSPECTIVAS

O presente trabalho apresenta a situação atual da conservação do solo e da água na região Nordeste do Brasil. Após de ter passado quatro anos na SUDENE como responsável de um convênio sobre o estudo do manejo e da erosão dos solos, é possível estabelecer um inventário dos estudos realizados e em andamento e examinar os diferentes fatores da degradação dos solos nas condições climáticas, pedológicas, biológicas, hidrológicas e socio-econômicas específicas da região. Uma comparação com a África de l'Oeste e um ensaio da explicação das diferenças encontradas estão tentados. A região Nordeste apesar das suas condições ecológicas difíceis, aparece como pouco degradada em relação com a sua homóloga africana, notadamente o « Sahel », e possui fatores de conservação e um potencial de recursos naturais bem mais favoráveis. O exposto dos resultados obtidos e do balanço estabelecido permite julgar da quantidade dos dados recolhidos, das suas utilizações e tentar uma abordagem dos setores carentes e dos pontos fracos da pesquisa sobre a conservação dos solos na região considerada. Enfim, as perspectivas estão levantadas em função dos estudos em andamento e das novas diretrizes.

PALAVRAS CHAVES : Conservação solos — Erosão — Água — Inventário — Semi-árido — Nordeste Brasil.

ABSTRACT

SOIL CONSERVATION AND SOIL MANAGEMENT IN THE NORTHEAST REGION OF BRAZIL.
PARTICULARITIES, BALANCE AND PERSPECTIVES

This work presents the current situation of soil and water conservation in the Northeast of Brazil. After spending four years at SUDENE, to carry out a study on soil management and soil erosion, it is possible to establish an inventory of the surveys carried out and in progress, and to examine the different factors of soil degradation, according to climatic, pedological, biological, hydrologic and socio-economic conditions pertaining to the region. A comparison with West Africa situation and an essay of the explanation for the differences found are tried. It is shown that the Northeast region, in spite of its difficult ecological conditions, does not seem so degraded as African « Sahel », and has conservation factors and natural resources potential more favorable. The results obtained and the balance established permit to judge the quantity of data collected, their utilization and to try an approach of gaps and weak points of the research on soil conservation in the studied region. In short, the perspectives are brought up in accordance with the studies being carried out and of the new line of action.

KEYWORDS : Conservation soils — Water — Inventory — Northeast Brazil.

INTRODUCTION

Le Nordeste du Brésil, qui est une région de près de 1,6 millions de km² à milieu naturel difficile et économique problématique, constitue le Brésil « pauvre », par rapport au Brésil du Sud, dont la production agricole et le développement industriel forment l'assise économique du pays tout entier, et ne peut compter que sur ses ressources agricoles pour nourrir ses 30 millions d'habitants. Le premier bond économique de l'histoire brésilienne est pourtant parti de sa zone littorale, de la culture de la canne à sucre, dont elle n'a plus, aujourd'hui, le monopole. Mais moins de 12 % de la région sont cultivés, et l'espace agricole, constitué en grande partie par les immenses étendues vides des zones centrales et occidentales des Etats du Maranhão, du Piauí et de la Bahia, domaines de sols profonds à fertilité naturelle assez faible mais facilement corrigible, et à caractéristiques physiques excellentes et modelé favorable à une agriculture industrielle mécanisée, est disponible. Le soja, dont le Brésil est le second exportateur mondial et qui a envahi les Etats du sud est d'ailleurs en train de prendre possession de ces terres vierges. Le défrichement brutal et la mécanisation lourde qui conduisent plus rapidement que l'on ne pouvait le penser à la compactation et au ravinement font apparaître déjà de sérieux problèmes de conservation des sols. La gamme des problèmes de dégradation à laquelle se trouve confrontée la région du Nordeste est étendue, en raison de la diversité de ses climats, de ses sols, de ses produits agricoles, des niveaux technologiques de son agriculture et des priorités socio-économiques. La prise de conscience de ces réalités a motivé un effort de recherche important ces quinze dernières années dans le domaine de la conservation et de la gestion des

sols et de l'eau. C'est cet effort qu'il est entrepris de relater et d'analyser ici, grâce à une connaissance accumulée durant quatre années passées à la SUDENE, comme responsable d'une convention conclue entre cet organisme et l'ORSTOM chargé de dresser un bilan des études de conservation, d'établir un diagnostic de la situation et de proposer de nouvelles lignes de recherches. La matière de cet article est tirée de deux rapports issus de cette convention (LEPRUN, 1981 et 1983).

LE CADRE PHYSIQUE ET HUMAIN

La région Nordeste du Brésil qui est constituée de neuf Etats, Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, s'étend sur une surface de 1 548 673 kilomètres carrés, soit 18,2 % du Brésil. Le plus grand, l'Etat de Bahia, avec ses 561 000 km², est plus grand que la France. Le plus petit, l'Etat du Sergipe couvre seulement 21 994 km². La superficie du Nordeste sous juridiction de la SUDENE, « Surintendance du développement du Nordeste », organisme fédéral créé en 1958, est un peu plus élevée, car elle inclut une partie du nord de l'état du Minas Gerais. Le « Polygone des Sécheresses » délimité par une loi de 1936, après la sévère sécheresse de 1932, occupe aujourd'hui 936 993 km², soit la plus grande partie du Nordeste à l'exception des bandes littorales orientales et continentales occidentales plus humides. Tous les « municipes », les équivalents de nos départements, situés à l'intérieur de ce polygone, peuvent recevoir une aide financière fédérale en cas de nécessité. Le Nordeste comptait un peu plus de 29 millions d'habitants en 1970, soit près de 31 % de la population brésilienne. Ces 29 millions comprenaient

17 millions de ruraux, soit 41,5 % de toute la population rurale du pays. La densité moyenne est de 22,8 habitants au km² contre 14,1 dans l'ensemble du Brésil.

Le Nordeste peut être subdivisé en plusieurs zones physiographiques et climatiques très différentes.

La zone littorale étroite et humide, ou « Mata » (1), s'étend du nord de l'Etat du Rio Grande do Norte au sud de l'Etat de Bahia. Elle était autrefois couverte de forêts sempervirentes, aujourd'hui remplacées par la monoculture de la canne à sucre introduite il y a plus de quatre siècles, et par des formations végétales secondaires de type « cerrados » ou savanes arborées et taillis de jachères. La formation géologique principale est constitué de grès et argiles gréseuses d'origine continentale appelée formation « Barreiras » très semblable au Continental terminal africain, à ceci près qu'elle n'est pas surmontée de cuirasses et carapaces ferrugineuses. Le modelé plat à faiblement ondulé sur la côte, devient ondulé convexe de type « demi-orange » lorsqu'on s'éloigne vers l'intérieur des terres. La pluviométrie, dont le gradient diminue vers le nord et vers l'ouest, varie de 1200 à plus de 2500 mm par an en moyenne, et se manifeste surtout de novembre à mai. Aucune réelle saison sèche ne peut être mise en évidence, et l'humidité relative dépasse 85 % toute l'année. La température moyenne annuelle tourne autour de 26° C avec une amplitude annuelle de 2 à 3° C seulement. C'est un climat tropical chaud et humide d'alizé. Les sols dominants sont les « latosols » et des sols « podzoliques jaune-rouge », c'est-à-dire de type ferrallitique, profonds, perméables, mais chimiquement pauvres. C'est la zone de la canne à sucre, qui domine à plus de 80 % l'agriculture. La population a une densité qui dépasse largement 25 habitants au km² et est en majorité urbanisée.

La zone de l'« Agreste » ourle la zone précédente à l'ouest. Les forêts et « cerrados » passent rapidement à des formations herbeuses et arbustives qui font déjà jonction avec la « caatinga » plus xérophyle du domaine semi-aride. Le climat se caractérise par des précipitations moyennes annuelles de 1200 à 700 mm qui diminuent très rapidement vers l'intérieur. Le modelé convexo-concave est plus accentué que le précédent et peut même devenir accidenté dans les « serras » d'altitude où les pentes varient de 5 à 80 %. Le sédimentaire continental précédent s'amincit vers l'ouest, disparaît et laisse alors affleurer les roches cristallines du socle précambrien. Les sols, de type « podzolique », kaoliniques moyennement épais sur le sédimentaire, pas-

sent à des sols peu épais, peu différenciés, kaoliniques et/ou montmorillonitiques, riches en minéraux primaires peu altérés et donc à complexe absorbant bien pourvu ou saturé sur le socle cristallin. L'activité principale est de loin l'élevage bovin, et dans une moindre mesure la fructiculture et la culture du manioc. Les surfaces cultivées ne dépassent pas 25 % et la densité de la population varie entre 10 et 25 habitants au km².

La zone intérieure ou « Sertão » représente à elle seule près des trois-quarts de la superficie du Nordeste. La formation végétale dominante est une sorte de forêt basse très dense, originale, la « caatinga », constituée de nombreuses espèces arborées et arbustives xérophyles et épineuses, à strate herbacée graminéenne rare ou absente. Le modelé, peu ondulé, à pentes variant de 3 à 15 % ou plus, qui est constitué de collines, inselbergs et rares plaines intérieures sur le socle précambrien, se tend pour former de grands plateaux élevés ou « chapadas » sur les formations sédimentaires, « chapadas » dont les rebords sont des cuestas accentuées. Certaines localisations privilégiées, plus humides, les « brejos », favorables à l'agriculture, sont situées le plus souvent en altitude, sur les flancs hauts des « serras ». Le climat, qui est qualifié de semi-aride, est caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle qui varie de 800 à 400 mm et moins dans le centre de l'Etat de la Paraíba et au niveau de la boucle du rio São Francisco. Cette pluviométrie présente un coefficient de variation interannuel pouvant atteindre 50 %, l'un des plus élevés du monde (NIMER, 1979). Cette forte irrégularité des précipitations prédispose de la zone du Sertão à des sécheresses catastrophiques dont la « pseudo-périodicité » moyenne, déjà observée dès le début du siècle par l'écrivain E. DA CUNHA (1902), est de 9 à 12 ans et a donné lieu à de nombreux travaux. Les sols développés sur les roches du socle cristallin sont le plus souvent peu épais, de l'ordre d'un demi à un mètre, partiellement montmorillonitiques, chimiquement riches, mais à caractéristiques physiques souvent défavorables. Il s'agit des sols « bruns non calciques » en tous points semblables aux sols bruns eutrophes tropicaux de l'Afrique sèche, des vertisols, des « planosols » souvent solodisés, des solonetz solodisés, des sols « lithologiques » équivalents des lithosols et sols peu évolués, des « regosolos » et « brunizems » peu étendus et des sols « podzoliques » rouge-jaune eutrophes ou dystrophes plus épais, kaoliniques, rappelant d'assez loin les sols ferrugineux peu lessivés argileux africains. Sur les formations sédimentaires se développent des rendzines ou des « Cambisolos »

(1) Cf. glossaire des termes en fin d'article.

lorsque la roche est calcaire, divers « latossolos » profonds, acides et très pauvres lorsque la roche gréseuse est constituée par les épaisses couvertures sablo-argileuses d'origine indéterminée des « chapadas », ou par les formations alluvio-colluviales. L'agriculture est peu développée, du type agriculture de subsistance non itinérante, car contrairement à ce qui se produit en Afrique de l'Ouest, ici la terre appartient toujours à quelqu'un et les propriétés, même non exploitées, sont les plus souvent clôturées. 5 % seulement de la surface du Sertão est cultivée, la préparation du sol se faisant de manière assez primitive, soit à la houe, soit en utilisant la traction animale (CHEZE et GROS, 1978). L'élevage extensif des bovins mais surtout, depuis peu, des caprins, se pratique en association avec l'agriculture et, comme cette dernière, n'est pas itinérante. La population, d'origine mixte indienne et portugaise est essentiellement rurale. Sa densité est rarement supérieure à 10 habitants au km².

Enfin, une dernière zone peut être présentée. Il s'agit de celle du « Meio Norte » qui fait transition avec l'Amazonie, qui s'étend à l'ouest et au nord-ouest et comprend une grande partie des Etats du Maranhão, du Piauí et de la Bahia. Elle est recouverte de forêts caducifoliées ou semi-caducifoliées et sempervirentes lorsqu'on s'approche du domaine amazonien et ailleurs de « cerrados » ou savanes arborées plus ou moins denses. Le modelé plat et monotone est constitué de larges plaines et de buttes témoins aplaniées souvent cuirassées. Le climat, que l'on peut qualifier de « préamazonien », est caractérisé par d'abondantes chutes de pluies qui tombent surtout de novembre à mai. Les formations géologiques sont dominées par des formations sédimentaires paléozoïques et mésozoïques sur lesquelles se développent des « latossolos », des sols « podzoliques », des « areias quartzosas » très sableux et de nombreux sols gravillonnaires et plinthitiques. L'agriculture est très primitive, de mode extensif après déforestation et brûlis ; mais depuis ces dernières années on assiste à une mise en culture mécanisée intense des « latosols » des « cerrados » par des groupes privés du sud du pays et par des sociétés multinationales, pour le soja en particulier. L'importance économique de l'élevage est faible. La population, en majorité rurale, a une densité inférieure à 10 habitants au km².

Pour résumer la présentation succincte des conditions naturelles et humaines qui précèdent, on peut schématiser la région Nordeste de la manière suivante : trois sous-régions climatiques bien arrosées à sols profonds mais pauvres, entourant une sous-région sèche à sols peu épais mais riches ; des irrégularités climatiques interannuelles très importantes, les sécheresses succédant aux inondations catastrophiques ; une agriculture assez primitive mais une pression récente et forte sur certaines

terres fragiles ; une population en majorité rurale, en grande partie analphabète, à faible revenu brut annuel. On a donc affaire à une région « défavorisée » dont la moitié de la surface reçoit moins de 750 mm de pluies par an et qui, avec 31 % de la population, soit près de 42 % de la population rurale totale, occupe 18,2 % du territoire de l'Union et ne perçoit que 13,3 % du produit intérieur brut. Les problèmes socio-économiques aigus de cette région ont été largement abordés par de nombreux auteurs (CUNHA da, 1902 ; CASTRO de, 1964, 1965, 1966 ; FURTADO, 1972 ; FREYRE, 1974 ; BRET, 1975 ; etc.).

LES PARTICULARITÉS DE LA CONSERVATION DU SOL DANS LE NORDESTE BRÉSILIEN

Pour pouvoir dégager ces particularités, les différents facteurs de l'érosion hydrique et les spécificités de l'écologie et de l'agriculture nordestine seront passés en revue et comparés à ceux des autres régions du Brésil et du monde et en particulier à ceux de l'Afrique de l'Ouest.

1. Le facteur climatique

Dans ce qui précède, il a été question de la très grande variabilité interannuelle des précipitations qui peut atteindre 50 % dans la zone semi-aride ce qui a pour effet de rendre inutilisables toutes statistiques climatiques dans cette région et en particulier de rendre difficile et hasardeux l'établissement de modèles pour l'agriculture ou la planification. Selon les données de NIMER (1979) ces coefficients de variation diminuent lorsque l'on passe à la zone de l'« Agreste » puis à la zone de la « Mata », où ils restent tout de même proches de 20 %.

On peut citer l'exemple classique de la station de Quixeramobim dans l'Etat du Ceará (VIERS in BRET, 1975) : la moyenne des précipitations, calculée entre 1896-1920 s'élève à 637 mm, mais en 1915 il n'a plus que 208 mm, alors que deux ans plus tard, en 1917, il tombait 1452 mm. Si l'on calcule pour cette station le pourcentage des précipitations maximales et minimales par rapport à la moyenne on trouve respectivement 227,9 et 32,6 %, ce qui donne un rapport maxima/minima = 6,99 alors que pour une station de pluviométrie comparable comme Thiés au Sénégal, ce rapport n'est que de 3,23. De même, on peut constater que rares sont les stations du Nordeste qui présentent un seul mois sec par année sur 10 années consécutives de relevés, alors qu'il est facile de vérifier que pour des périodes comparables, les postes du Sahel ont, durant plusieurs mois, des totaux pluviométriques inférieurs à 1 mm.

Ces variabilités interannuelles et saisonnières importantes rendent nécessaires l'obtention de séries de don-

nées expérimentales sous pluies naturelles d'au moins 10 ans. Ainsi, la détermination du facteur d'érosivité des pluies R de WISCHMEIER et SMITH (1958) à partir des données de 7 pluviographes installés sur le bassin hydrologique du Riacho do Navio dans le Sertão du Pernambuco (NOUVELOT *et al.*, 1979), bassin de 468 km² de superficie, à relief peu mouvementé, a donné pour l'année 1977 les moyennes, écarts types et coefficients de variations respectifs suivants : 550,2 mm ; 71,9 et 13,1 % pour la pluviographie annuelle, et 270,4 ; 80,1 et 26,6 % pour le facteur R annuel. Lorsque l'on sait que les valeurs moyennes annuelles de R sont censées représenter l'érosivité des pluies de zones de plusieurs dizaines voire centaines de kilomètres de rayon autour des quelques stations dotées de pluviographes et

que, comme nous le verrons plus loin, à chacune des zones climatiques du Nordeste correspondent des érosivités différentes, on mesure la difficulté de la confection de cartes d'isovaleurs et les dangers de la représentativité que l'on attribue généralement à ces moyennes.

Le tableau 1 regroupe les valeurs comparatives des intensités maximales des pluies en fonction de la durée et du temps de récurrence pour quelques stations du Nordeste et d'Afrique de l'Ouest dont les régimes pluviométriques sont comparables.

On peut constater, à l'examen de ce tableau, que les gammes d'intensités-durées pour les mêmes temps de récurrence sont très semblables entre stations comparables des deux continents. Cependant, la comparaison

TABLEAU I

Valeurs des intensités — durées des pluies pour quelques stations du Nordeste et d'Afrique occidentale.

Climat et nombre de mois secs/an	Stations	Pluviométrie moy. an. (mm)	Temps de recurren.	Durée (mm)	Intensité (mmh-1)
TROPICAL CHAUD A SECHERESSE ACCENTUEE (7-8)	QUIXERAMOBIM (Ceará)	660	annuel	15	-
				30	53
	RIACHO DO NAVIO (Pernambuco) **	545	biannuel	15	106
				30	90
				10	98
				18	90
30				83	
60				71	
décennal	100	55			
	10	112			
	18	102			
	30	94			
60	83				
100	68				
SAHELIEN (6-7)	KONGOUSSI (Burkina Faso) ***	665	annuel	10	100
				12	90
				28	60
				73	30
			décennal	15	120
				25	90
55	60				
150	30				
TROPICAL CHAUD A SECHERESSE MODEREE (5-6)	OEIRAS (Piauí) ****	865	annuel	10	75
				30	68
				60	40
			décennal	10	110
				30	64
				60	56
SOUDANIEN (5-6)	OUAGADOUGOU (Burkina Faso) ***	860	annuel	10	100
				30	59
				60	40
				60	40
				180	18

Sources : * PFAFSTETER, 1957 ; ** NOUVELOT *et al.*, 1977 ; *** BRUNET-MORET, 1963 ; **** LEPRUN, 1982.

des courbes d'intensités-durées d'averses unitaires exceptionnelles qui ont eu lieu entre 1966 et 1972 en Afrique de l'Ouest et entre 1967 et 1978 au Brésil pour des stations à pluviométrie comparable, montre que les averses exceptionnelles africaines ont tendance à être plus intenses que celles du Nordeste. Des séries d'autres postes ont été examinées et confirment ce fait. D'autre part, l'examen minutieux de quelques pluviogrammes et des données de la littérature laissent

moyenne de 0,33 pour 30 postes du Nordeste semi-aride.

Les autres composantes du climat : la température, l'humidité relative de l'air et l'évaporation permettent également de dégager la particularité de la zone semi-aride du Nordeste par rapport à celle de l'Afrique de l'Ouest. Il suffit pour cela de comparer les moyennes annuelles de la période 1931-1960 de ces paramètres pour les stations de Quixeramobim au Ceará, de Matam au Sénégal et de Dori au Burkina Faso (Haute-Volta) :

TABLEAU II

Valeurs du facteur R d'érosivité des pluies pour des stations de pluviométries moyennes annuelles comparables du Nordeste brésilien et de l'Afrique de l'Ouest.

STATIONS	PLUVIOMETRIE MOY. ANNUELLE (mm)	R U.S.A	NOMBRE DE PLUIES EROSIVES ANNUELLES
TAPEROA (N.E.)	515	168	16
LAGES (N.E.)	500	160	15
DORI (B.F.)	510	260	13
OURICOURI (N.E.)	607	185	17
OUAHIGOUYA (B.F.)	600	301	16
PAU DE FERROS (N.E.)	751	266	29
MOGTEDO (B.F.)	753	378	20
ITAEIERA (N.E.)	862	382	24
FADA N'GOURMA (B.F.)	857	428	24
OEIRAS (N.E.)	865	288	26
IPAUMEXIM (N.E.)	873	347	28
OUAGADOUGOU (B.F.)	865	466	30

N.E. : Nordeste brésilien

B.F. : Burkina Faso

Sources : Burkina Faso : ROOSE, 1977. Nordeste : Banque de données DHM/SUDENE, Conventions SUDENE/ORSTOM et SUDENE/UFPP/CCA Areia

à penser que les intensités instantanées des pluies africaines, c'est-à-dire celles qui sont enregistrées durant un laps de temps inférieur ou égal à 5 mm, pourraient être supérieures à leurs correspondantes du Nordeste. Toujours est-il que, comme en font preuve les données du tableau II, pour des pluviométries et un nombre de pluies érosives comparables (dans le sens de la méthode de WISCHMEIER, c'est-à-dire pluies supérieures à 12,7 mm ou inférieures à ce chiffre, mais dont l'intensité en 15 mm est supérieure ou égale à 6,4 mmh-1), les pluies du Nordeste sont bien moins agressives que leurs homologues africaines. Le rapport $R(u.s.a.)/Pluviométrie$ moyenne annuelle en mm qui oscille peu autour de 0,50 en Afrique de l'Ouest (ROOSE, 1977), varie entre 0,20 et 0,50 avec une

— Température en ° C :

Quixeramobim : moy. = 24,7 ; max. = 25,8 ; min. = 23,4

Matam : moy. = 37,0 ; max. = 42,6 ; min. = 33,0

Dori : moy. = 36,4 ; max. = 41,4 ; min. = 32,0

— Humidité air en % :

Quixeramobim : moy. = 59,5 ; max. = 73,2 ; min. = 50,8

Matam : moy. = 47,0 ; max. = 71,0 ; min. = 26,0

Dori : moy. = 45,0 ; max. = 77,0 ; min. = 22,0

— Evaporation en mm :

Quixeramobim : moy. = 1764,2 ; max. mensuelle = 198,8

Matam : moy. = 3291,4 ; max. mensuelle = 144,8

Dori : moy. = 3817,6 ; max. mensuelle = 460,6

L'examen de ces chiffres met en évidence des conditions climatiques moins contrastées et moins rudes dans le Nordeste brésilien sec que dans le Sahel africain. Les

régimes pluviométriques et thermiques du semi-aride nordestin déterminent des taux d'humidité et d'évaporation de l'air bien moins rigoureux qu'en zone sahélienne et qui vont conditionner son écologie et son aspect physiographique particulier, notamment en ce qui concerne sa végétation naturelle caractéristique, la « caatinga », et ses sols.

2. Le facteur sol

La susceptibilité du sol à l'érosion peut être estimée par l'obtention du coefficient K de WISCHMEIER et SMITH (1960) qui est déterminé expérimentalement à partir de la mesure de la perte en terre maximale

d'une parcelle de référence maintenue sans végétation et labourée dans le sens de la pente. La valeur de ce coefficient est obtenue en divisant la perte en terre exprimée en t ha⁻¹ an⁻¹ par le facteur climatique R exprimé en tm ha⁻¹ mm h⁻¹ an⁻¹. Le coefficient K peut également être évalué rapidement à l'aide d'une abaque ou normographe (WISCHMEIER *et al.*, 1971), ou déterminé à partir des données obtenues sous pluies simulées. Les différentes valeurs de K à notre disposition ont été regroupées dans le tableau III et permettent de comparer la résistance à l'érosion de sols africains et brésiliens dont les caractéristiques sont proches.

TABLEAU III

Valeurs du coefficient d'érodibilité de sols comparables obtenues par différentes méthodes.

	Valeurs de K		
	Pluies naturelles	Simulateur Swanson	Nomographe
Latosols	0,01	0,01 - 0,05	0,05 - 0,22
Sols ferrallitiques	0,01 - 0,17	0,01 - 0,10	0,05 - 0,18
Sols "podzoliques"	0,10	0,10 - 0,25	0,03 - 0,23
Sols ferrugineux	0,05 - 0,32	0,10	0,20 - 0,30
Sols "bruns non calciques"	0,05 - 0,10	-	0,10 - 0,20
Sols bruns eutrophes	0,15	0,08	0,20 - 0,40
Solonetz (Nordeste)	-	0,12	0,50
Solonetz (Afrique)	-	-	0,40 - 0,60

Sources : données africaines : ROOSE (1977) ; COLLINET et LAFFORGUE (1979) ; données brésiliennes : les diverses conventions liées à la SUDENE.

TABLEAU IV

Quelques caractéristiques moyennes des horizons supérieurs des sols du Nordeste et d'Afrique de l'Ouest

	Nordeste	Afrique de l'Ouest
Granulométrie	Argilo-sableux	Sablo-argileux
Matière organique (%)	0,5 - 4,0 (2,0) *	0,5 - 1,5 (0,7) *
Calcium échangeable (mé/100g)	5,0 - 10,0	0,5 - 2,0
Perméabilité (mm/h) (Muntz)	élevée 50 - 400	faible 15 - 25
Structure	fragmentaire	massive
Etat de surface	non pelliculaire	pelliculaire

* Le chiffre entre parenthèses indique la valeur la plus communément rencontrée.

Sources : LEPRUN (inédit).

Il apparaît immédiatement que les sols du Nordeste sont plus résistants à l'érosion que leurs correspondants d'Afrique occidentale, et on est en droit de se demander pourquoi. Pour cela il semble opportun de comparer les paramètres morphologiques, physiques et chimiques qui ont une influence sur le comportement des sols vis-à-vis de l'eau. L'examen des données des horizons supérieurs d'une cinquantaine de sols d'Afrique occidentale sèche constituée de sols ferrugineux tropicaux peu lessivés et lessivés, de sols peu évolués, de sols bruns eutrophes tropicaux, de vertisols et solonetz du Burkina Faso et du Sénégal et de plus d'une centaine de sols « podzoliques » eutrophes et dystrophes, de sols « lito-liques », de sols « bruns non calciques » et de vertisols, « planosols » et solonetz du Nordeste et l'observation des profils de ces sols sur le terrain, permettent de dresser le tableau IV.

Ces quelques données renforcent l'impression du pédologue du terrain à qui il est donné la possibilité de décrire, tester et ainsi comparer les sols de ces deux régions sèches : les sols du Nordeste, moins sableux, plus riches chimiquement car moins profonds et situés de ce fait plus près de la roche mère, mieux drainants et structurés, sont bien moins susceptibles à l'érosion que leurs homologues africains. Nous verrons plus loin que l'évaluation de certaines caractéristiques hydrodynamiques des sols de bassins versants confirme ce jugement.

3. Le facteur topographique

Les versants des paysages de l'Afrique de l'Ouest sèche sont longs et uniformes, de l'ordre du kilomètre ou de la dizaine de kilomètres et présentent des pentes faibles, de l'ordre de 1 % et souvent moins. Les régions montagneuses escarpées sont rares et peu cultivées. En revanche, le modèle développé sur le socle précambrien qui couvre près de la moitié de la surface totale du Nordeste est constitué de versants convexes courts et pentus de l'ordre de la centaine de mètres et de 5 à 20 % de pente ou plus. Les « serras » montagneuses ont un relief accidenté avec des pentes de 20 à 80 % qui sont très cultivées.

4. Le facteur végétation

Selon les données de l'Institut brésilien des forêts (I.B.D.F.), les formations végétales arborées, forêts, savanes « cerrados » et « caatinga » couvraient 47 % de la surface du Nordeste en 1975. D'un autre côté, des données extraites du rapport FAO/PNUE (FAO, 1975) estiment à 320 000 km² la surface des forêts denses, claires et des formations buissonneuses dans les trois pays suivants : Sénégal, Mali et Burkina Faso qui totalisent une superficie de 1 710 000 km², soit une couver-

ture de seulement 5,3 %. On vérifie donc que pour des superficies, des climats et des densités de population rurale (16 hab. au km²) équivalents, les formations arborées et arbustives du Nordeste sont près de 9 fois plus étendues que celles des régions sahélo-soudaniennes.

Il est intéressant de comparer le nombre d'individus et la biomasse des savanes arborées sahéliennes à ceux de la « caatinga ». Les données brésiliennes sont rares dans ce domaine, mais on peut citer les chiffres de 17 200 arbres et arbustes fournissant une biomasse de 23 t ha⁻¹ pour une « caatinga » hyperxérophylle de Patos dans la Paraíba (HAUASHI, 1981), et les comparer aux 133 arbres et arbustes par hectare de la savane arborée de Peté Olé situé dans le sahel sénégalais et dont la biomasse est évaluée à 1,8 t ha⁻¹ (LAMOTTE et BOURLIÈRE, 1978). Ici encore, l'impression de l'observateur naturaliste est confirmée : la couverture végétale naturelle du semi-aride brésilien présente des qualités de densité, de recouvrement et de régénération exceptionnelles pour les conditions écologiques difficiles dans laquelle elle se développe, qualités qui la différencient de la « brousse » sahélienne ouverte et herbeuse. La « caatinga », terme indien qui signifie « forêt blanche » en raison de sa couleur grise quand elle perd ses feuilles, est une véritable forêt sèche climacique basse adaptée à la sécheresse, épineuse, de densité variable mais souvent très touffue, de hauteur pouvant varier entre 2 et 5 m, dont la strate arborée et arbustive est riche en légumineuses et la strate herbacée peu développée est pauvre en graminées. Son action protectrice du sol est importante et sera mise en évidence plus loin. De même, les valeurs du facteur C de couverture végétale de WISCHMEIER et SMITH (1960) qui est défini par le rapport entre la perte en terre maximale de la parcelle de référence sans végétation, utilisée pour le calcul du facteur K précédent, et la perte en terre d'une même parcelle, mais supportant la culture d'une plante déterminée, permettent de vérifier la plus grande protection au sol des cultures pratiquées dans le Nordeste (tableau V). Si l'on veut bien supposer que les variétés des espèces végétales cultivées des deux régions sont les mêmes, il faut admettre l'influence bénéfique des techniques culturales, des propriétés des sols et de la plus faible agressivité des pluies brésiliennes sur l'effet antiérosif.

5. Le facteur hydrologique

Dans un tel contexte écologique, il est important de se préoccuper du sort des eaux pluviales. On sait, depuis les travaux réalisés par le Groupe d'Etudes franco-brésilien de la Vallée du Jaguaribe (G.E.V.J./SUDENE, 1965), fleuve situé dans l'Etat du Cearà et qui représente le plus long cours d'eau temporaire du monde, que dans la partie semi-aride du bassin, en grande

TABLEAU V

Valeurs du facteur C de couverture végétale pour différentes plantes cultivées

	NE du Brésil	Sud du Brésil	Afrique de l'Ouest
Maïs	0,2 - 0,3	0,02 - 0,3	0,4 - 0,9
Manioc	0,2	-	0,2 - 0,8
Coton	0,1 - 0,2	0,7	0,6 - 0,9
Soja	0,1	0,2	-
Sol nu labouré	1	1	1

Sources : Brésil : divers rapports de convention et annales de congrès ; Afrique : ROOSE (1977).

partie sédimentaire, où il pleut moins de 800 mm par an, 92 % du total pluviométrique annuel est soustrait de la surface du sol, soit par l'évapotranspiration, soit par le drainage profond qui alimente les nappes phréatiques. Seulement 8 % de la pluie peuvent donc ruisseler et être stockés dans les retenus collinaires ou « açudes » qui constituent les seuls réservoirs possibles de l'eau dans les régions de roches cristallines où il n'y a pas de nappes importantes. Comme pour diverses raisons, dont en particulier la très faible superficie irriguée et la mauvaise répartition des terres, seulement 25 % de cette eau stockée est utilisée, il en résulte que 98 % de la pluviométrie sont perdus pour l'agriculture et l'élevage.

Comme les trois-quarts de la région semi-aride sont situés sur le socle cristallin et que l'étude précédente concernait surtout la zone sédimentaire, il convient de vérifier ce qui se passe dans les bassins développés sur les roches magmatiques précambriennes. Des études menées par le secteur de Bassins représentatifs de la Division d'hydrologie et météorologie de la SUDENE peuvent nous y aider. On dispose en effet aujourd'hui de nombreuses données concernant les caractéristiques hydrodynamiques d'une quinzaine de bassins disséminés dans tout le Nordeste en fonction des sols, de la couverture végétale et des cultures, du relief et de la pluviométrie (CADIER *et al.*, 1982 ; VIEIRA *et al.*, 1983 ; LEPRUN *et al.*, 1983...). Ces données mettent en évidence des coefficients de ruissellement moyens annuels faibles en zone semi-aride, non seulement sur sols perméables comme les latosols et les sols « podzoliques », mais également sur les sols moins perméables et peu profonds comme les sols « bruns non calciques » et les « planosols ». La moyenne du ruissellement obtenue pour 10 bassins et une trentaine de sous-bassins situés en zone semi-aride est de 4,56 % de la pluviométrie moyenne annuelle. C'est seulement dans le cas de relief accidenté que ce coefficient approche 14 %.

Le ruissellement devient rapidement important lorsque l'on passe aux zones humides et il croît alors en fonction de la pluviométrie annuelle où il peut atteindre 48 % sous 1900 mm près de Recife. Ces résultats et ceux obtenus sous pluies simulées indiquent que les sols de la zone semi-aride du Nordeste ont des taux d'infiltration bien supérieurs à ceux de la zone climatique correspondante africaine dont de très nombreuses données ont été publiées par des chercheurs de l'ORSTOM (Entre autres, ROOSE, 1977 ; COLLINET et LAFFORGUE, 1979 ; COLLINET et VALENTIN, 1979 ; CASENAVE *et al.*, 1982 ; etc.).

La présence de sols peu épais, riches en minéraux altérables et suffisamment perméables, de conditions climatiques semi-arides à pluies peu abondantes et à forte évaporation et de taux de ruissellement faibles conduit à l'obtention d'eaux superficielles très minéralisées dans toute la zone sèche du socle cristallin où nous avons déjà vu que les « açudes » ou retenus collinaires sont les seules possibilités de stockage de l'eau. Il s'ensuit que le danger de salinisation est réel et que sa prise de considération est malheureusement récente. Et pourtant, nombreux sont les exemples d'échecs de grands projets d'irrigation par salinisation rapide des sols. Une étude statistique par ordinateur de plus de 500 analyses d'eaux superficielles d'« açudes », rivières et puits peu profonds de toute la zone du Nordeste située sur socle précambrien sous une pluviométrie moyenne annuelle de 1000 mm, fournit les résultats suivants (LEPRUN, 1983). Les eaux les plus fréquentes sont du type chloruré sodique, ont une réaction alcaline, peuvent être considérées comme dures ou très dures selon la classification de KLUT-OLZEWSKI, ont une salinité totale élevée avec une valeur moyenne du résidu sec supérieure à 500 mg/l et une conductivité moyenne égale à 623,1 micro-mho cm⁻¹ à 20°C, qui les situent dans les classes d'eaux d'irrigation égales ou supérieures aux classes C2S2, ce qui signifie que la majorité des eaux superficielles des sols nordestins, à l'exception des « latosols » et des « areias quartzosas » très perméables, présente de sérieuses restrictions d'usage. Le calcul du S.A.R. ou « Sodium absorption ratio » pour 161 eaux d'« açudes » prélevées dans des aires du Projet Sertanejo destiné à l'installation de petits agriculteurs et à l'irrigation de leurs terres, et leur classification, ont donné la distribution suivante : 69 eaux se localisent en C1S1, 76 en C2S1, 14 en C3S1 et 2 en C4S2. Ceci indique que le risque dû à la salinité est bien supérieur à celui dû au sodium, que 16 eaux sur 161, soit 10 %, sont des eaux de forte salinité qui ne peuvent être utilisées que pour des cultures résistantes et des sols très drainants, et que même pour les 76 eaux classées en C2S1 il faut prévoir un drainage efficace et donc des volumes d'eau suffisants et dans le cas, le plus fréquent,

de sols à complexe bien pourvu et proche de la saturation comme celui des sols bruns, des solonetz, des vertisols et des « planosols », savoir que la salinisation, même ralentie se fera, et que les rendements, surtout pour des cultures sensibles comme le haricot, base de l'alimentation, seront diminués. Généralement, ce sont les « açudes » de petite taille et peu profonds qui ont les eaux les plus minéralisées, en raison notamment du taux de prélèvement de l'évaporation due au rapport élevé de la surface sur le volume, mais il a été montré (LEPRUN, 1983), que le facteur déterminant de la qualité de l'eau pour des petits bassins inférieurs à la centaine de km² est le sol. Certains réservoirs dont le bassin versant est constitué de solonetz solodisés et de planosols, dans l'Etat de l'Alagoas, ont des eaux dont la teneur en sodium et en chlore dépasse le millier de mg/l et la conductivité électrique est supérieure à 10 000 micro-mhos cm-1. Il en est de même pour l'« açude » Choro situé dans le Ceará sur des « planosols », l'un des plus grands du Nordeste avec un volume en eau de plus de 100 millions de m³, et dont les eaux accusent des

l'efficacité accrue obtenue dans le Nordeste lorsque la préparation du sol et la plantation se font suivant les courbes de niveau.

La pratique culturale généralisée du Nordeste est la préparation du sol et la plantation effectuées dans le sens de la plus grande pente, et ce, même dans le cas de dénivellations supérieures à 45 %. La seule raison invoquée est une plus grande facilité et une moindre fatigue à travailler manuellement la terre de cette façon que perpendiculairement à la pente. Quelque soit la zone climatique ou la plante cultivée, c'est cette méthode qui est utilisée. A une exception près, celle de la culture de la canne à sucre. Celle-ci, introduite il y a plus de 400 ans dans la zone littorale de la « Mata » par les Portugais, se pratique en sillons profonds préparés selon les courbes de niveau et est complétée par un effeuillage un ou deux fois l'an. Les feuilles étant laissées sur le sol et constituant un mulch très efficace comme nous le verrons plus loin.

Selon les données du Service Brésilien de Statistiques de la production citées par DUQUE (1980), seulement 11,75 % de la superficie totale des Etats de Pernam-

TABLEAU VI
Valeurs P de différentes pratiques anti-érosives dans différents pays

Pratiques anti-érosives	NE du Brésil	Sud du Brésil	U.S.A.
Labour dans le sens de la pente	1,0	1,0	1,0
Labour isohypse sur même pente	0,3	0,5	0,75
Labour et bandes enherbées isohypses	0,3	0,4	0,25

Sources : Nordeste du Brésil : valeurs calculées à partir des données de l'IPA ; Sud du Brésil : BERTONI *et al.* (1975) ; U.S.A. : WISCHMEIER et SMITH (1978) *in* ROOSE (1977).

teneurs en résidu sec de 1.015 mg/l et en sodium de 12,6 mé, et sont classées C3S2.

6. Le facteur humain

Seront abordés successivement l'effet des pratiques culturales et pratiques anti-érosives (facteur P de WISCHMEIER) et les aspects socio-économiques particuliers de l'agriculture nordestine.

Le facteur P de WISCHMEIER est un coefficient obtenu en faisant le rapport de la perte en terre d'une parcelle cultivée selon une pratique culturale déterminée et la perte d'une parcelle préparée dans le sens de la pente et qui produit l'érosion maximale. Les valeurs compilées du tableau VI permettent de se rendre compte que les mêmes pratiques utilisées dans différentes situations géographiques et climatiques donnent des résultats très proches. On peut toutefois noter

buco, de la Paraíba et de l'Alagoas sont cultivés et la densité moyenne dans le « Sertão » de ces Etats atteint 2,15 habitants par hectare cultivé. D'autre part, à peine 6,9 % de la superficie du Nordeste sont labourés (Sources : PNUD/FAO/IBDF/BRA 45, 1975 *in* MESQUITA, 1980) contre 22,8 % dans le sud du pays. Ces labours sont par ailleurs effectués surtout à la main ou avec l'aide de la traction animale, alors que dans les Etats du sud c'est la mécanisation qui domine. Contrairement à ce qui se passe en Afrique de l'Ouest sèche, l'agriculture n'est pas itinérante, et les effets néfastes tant décriés de cette agriculture extensive sur les sols et l'écologie (entre autres publications, FAO 1974) ne se feront donc pas sentir. En effet, la terre dans le Nord-Est a toujours un propriétaire, même si, souvent, cette terre n'est pas mise en valeur. La pratique du brûlis après défrichement est utilisée au cours de la colonisation de

terres neuves ou de vieilles jachères, mais n'est généralement pas une pratique annuelle commune sauf avant la récolte de la canne à sucre, mais dans ce cas elle constitue une opération culturale contrôlée facilitant la coupe. Le régime foncier, en 1960, se caractérisait par un nombre élevé de travailleurs ruraux sans terre (48,8 %), alors que seulement 1 % des familles détenait 50,6 % des terres, et que les familles des minifundias qui représentent 3 % de la surface passaient de 18,1 % en 1950 à 30,4 % en 1960, ce qui signifie que sur des terres déjà exiguës et insuffisamment productives la densité de la population a presque doublé en 10 ans (ANDRADE de, 1980). Les grandes propriétés se localisent en général dans les plaines et les terres fertiles et le lopin (« roça »), concédé au paysan en échange de son travail, se situe sur les pentes pierreuses des « ser-

en et particulier la zone semi-aride, est dotée, en ce qui concerne les facteurs de l'érosion, de caractéristiques écologiques spécifiques qui la favorisent et la distinguent des autres régions sèches tropicales et notamment de la zone sahélo-soudanienne de l'Afrique de l'Ouest. Qu'il s'agisse du climat plus clément, des pluies moins agressives, des sols plus riches, mieux structurés et perméables ; de la couverture végétale beaucoup plus étendue, dense, à pouvoir régénératif plus puissant ; du type d'agriculture non itinérante, c'est le Nordeste qui l'emporte. Les points négatifs sont cependant la très grande variabilité pluviométrique, l'accentuation et la mise en culture des reliefs et la pratique rituelle du travail du sol selon la ligne de plus grande pente.

Pour pouvoir juger, comparer et résumer l'importance de chacun des facteurs de l'érosion analysés précédem-

TABLEAU VII
Rendements annuels moyens de quelques produits agricoles au Brésil

	Rendements moyens (kg/ha)					
	Nordeste				Brésil	
	1960	1970	1975	1979	1975	1979
Coton	230	323	214	159	451	449
Riz	1286	1173	1453	1190	1465	1395
Haricots	296	269	395	381	550	519
Maïs	552	400	646	524	1504	1442
Canne à sucre	33473	37766	44680	48469	46477	54650
Nombre en milliers de têtes						
Elevage bovin	11556	13806	17890	20005*	100834	106943*

* donnée de 1978

Sources : IBGE.

ras ». Ces « roças » ou les terrains attribués aux métayers sont de dimensions réduites, entre un tiers et un demi hectare, sont cultivés chaque année sans rotation, sans amendements et sont l'objet d'une dégradation et d'un appauvrissement souvent intenses et rapides. Le tableau suivant, qui fournit les rendements annuels de quelques cultures vivrières pour l'ensemble du Nordeste et du Brésil, permet de juger de la stagnation de la production des différentes denrées. Ne croissent durant la décade considérée que les rendements de la canne à sucre, culture industrielle, et l'élevage de bovins aux mains des grands propriétaires. On dit que dans l'« Agreste », zone à potentiel agricole certain, le bœuf chasse le paysan.

7. Conclusions

Ce qui précède montre à l'évidence que le Nordeste,

ment, on a établi le tableau synthétique VIII suivant, en utilisant toutes les données à notre disposition.

L'examen de ce tableau traduit la situation potentielle favorable des conditions de conservation des sols dans le Nordeste dans la situation actuelle de son agriculture, et indique que, pour cette région, la valeur des différents facteurs varie approximativement de la manière suivante :

- R ou agressivité climatique de 1 à 5
- K ou susceptibilité des sols à l'érosion de 1 à 10
- facteur topographique de 1 à 80
- C ou couverture végétale de 1 à 1000
- P ou pratiques anti-érosives de 1 à plus de 10

On peut remarquer le rôle important que peut jouer la végétation et donc les pratiques biologiques liées à elle dans la lutte contre l'érosion.

TABLEAU VIII
Valeurs comparées des différents facteurs de l'érosion

	Nordeste sec	Ouest africain sec	Nordeste humide	Ouest africain humide	USA
Rusa (Climat)	90 - 450	220 - 700	400 - 1000	500 - 2000	50 - 650
K (Sol)	0,02- 0,30	0,10- 0,30	0,01- 0,20	0,02- 0,20	0,05- 0,6
SL (Topogr.)	0,1 - 8	0,1 - 1	0,1 - 10	0,1 - 2,5	0,1 - 6
C (Végétation)	1 - 0,001	1 - 0,01	1 - 0,001	1 - 0,001	1 - 0,01
P (Pratiques anti-érosives)	1 - 0,05	1 - 0,1	1 - 0,1	1 - 0,1	1 - 0,1

Sources : données africaines : ROOSE (1977) ; données américaines : WISCHMEIER et SMITH (1978) ; brésiliennes, Sud : BERTONI *et al.* (1975), Nordeste : diverses in LEPRUN (1981 et 1983).

LE BILAN DES ETUDES DE CONSERVATION ET DE GESTION DES SOLS DANS LE NORDESTE

1. Historique

On peut considérer le Nordeste comme une région pionnière en ce qui concerne la recherche et la pratique de la conservation des sols au Brésil. En effet, dès 1928, l'ingénieur agronome M.B. de FREITAS, propriétaire d'une usine de conserves de fruits et légumes à Pesqueira, dans la zone de transition « Agreste — Sertão » du Pernambuco, introduisait les premières pratiques anti-érosives dans ses plantations. De 1946 à 1968 sans interruption, il réalise, à ses frais, des études sur parcelles de l'influence du travail du sol et de la durée de la rotation culturale sur les pertes en terre et en eau et les rendements de tomates. Simultanément à l'installation des premières parcelles expérimentales d'érosion dans l'Etat du Minas Gerais et dans le sud du pays, se montent à Alagoinha, dans l'« Agreste » de l'Etat de la Paraíba, 15 parcelles cimentées avec cuves à système d'évacuation souterrain et partiteur en aluminium qui fonctionnent encore parfaitement à l'heure actuelle (Convention SUDENE/UFPB-CCA Areia). En 1949 est élaboré, pour le Pernambuco, un programme de conservation des sols et un manuel est rédigé (DIAS, 1949). Le département de défense du sol (DDS) est créé en 1954 et réalise quelques études, mais c'est effectivement à partir de 1976 que commence la phase productive des études de conservation et de gestion des sols dans le Nordeste. En effet, cette date marque le début des grandes conventions de la SUDENE avec l'Institut de Recherche Agronomique du Pernambuco (IPA) et avec le Centre de Sciences Agraires de l'Université de la Paraíba de Areia (CCA/UFPB/CNPq), et correspond également à la tournée de la mission française de conservation des sols dans le Nordeste (DELWAULLE, 1976), tournée à partir de laquelle a été établie la convention

SUDENE/ORSTOM qui a donné lieu à ce travail. Même s'il est vrai que ce sont les Etats du sud du pays et en particulier le Rio Grande do Sul, le Paraná et l'Etat de São Paulo qui mènent la recherche et dispensent l'enseignement de la conservation des sols au Brésil, les universités nordestines comme celles de Fortaleza dans le Ceará et surtout celle de Areia dans la Paraíba, ont pris conscience de la spécificité des problèmes de leur région. Trois organismes principaux financent ces recherches, par ordre d'importance de l'aide actuelle fournie : le Centre National de la Recherche scientifique (CNPq), la SUDENE et l'Entreprise brésilienne de recherches agropastorales (EMBRAPA).

2. Inventaire et localisation des études

Inventaire et situation seront présentés, pour plus de commodité, par Etat puis par organisme chargé des études.

ETAT DU PERNAMBUCO

Le projet de recherche en convention entre la SUDENE, l'IPA et l'Université rurale du Pernambuco (UFRPE) a constitué le projet le plus ambitieux jamais établi dans le domaine de la conservation des sols dans le Nordeste. Six sites sont choisis de manière à se disposer grossièrement le long du huitième degré de parallèle sud et donc s'échelonnent perpendiculairement à la côte et aux isohyètes dans chacune des sous-régions climatiques. Chaque site est constitué d'une station agronomique de l'IPA qui sert de pivot opérationnel et de la région alentour. La station expérimentale de Gloria de Goita est située dans l'« Agreste », les stations de Caruaru, São Bento de Una, Serra talhada, Floresta et Araripina font partie des divers types de « Sertão » plus ou moins secs et élevés en altitude (fig.1). Les pluviométries annuelles varient de 1200 à 400 mm. Cinq classes de sols sont concernées. Les pentes des parcelles

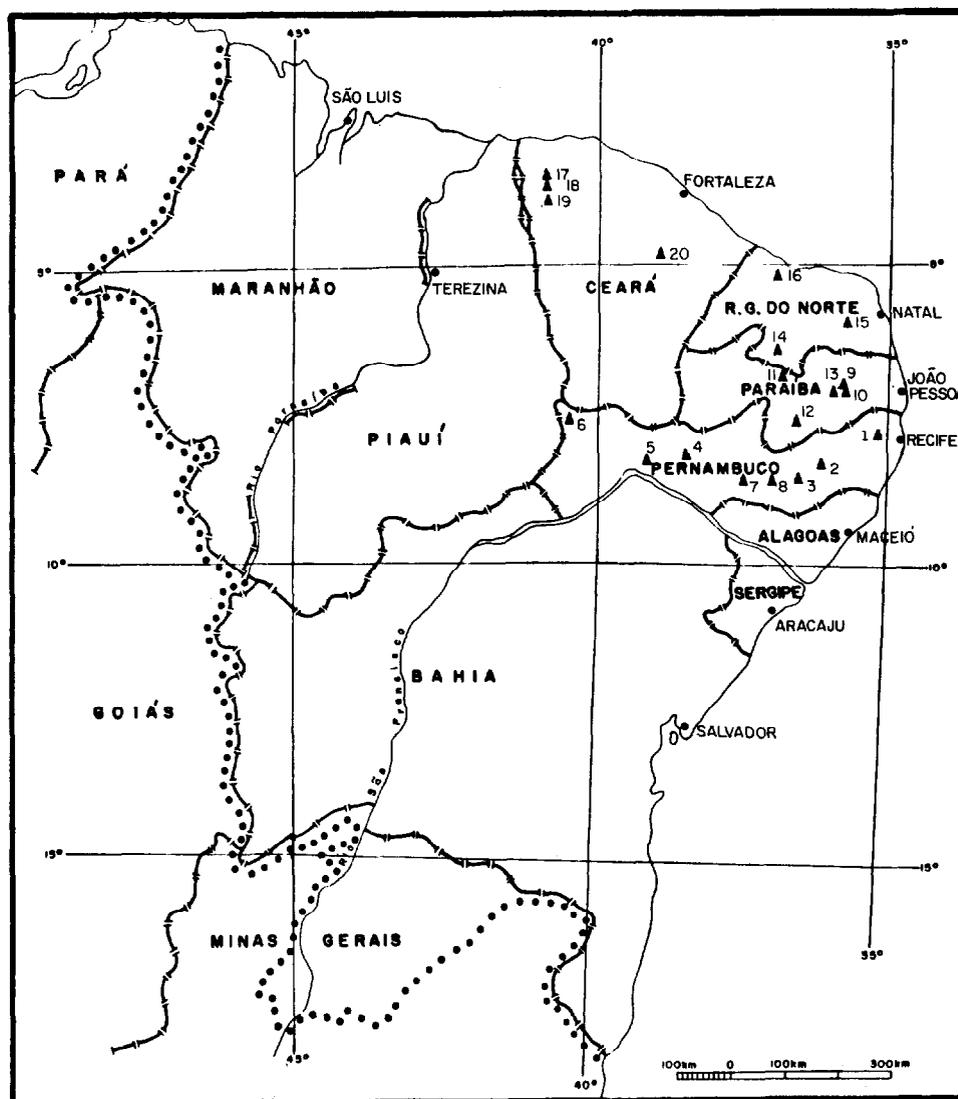


Fig. 1. — Localisation des principaux points d'études de conservation des sols et des eaux dans le Nordeste brésilien.

Le pointillé par gros points figure le périmètre d'action de la SUDENE.

Points d'études : Etat du Pernambuco : 1 — Gloria do Goitá ; 2 — Caruaru ; 3 — São Bento de Una ; 4 — Serra talhada ; 5 — Floresta ; 6 — Araripina ; 7 — Riacho do Navio ; 8 — Pesqueira. Etat de la Paraíba : 9 — Areia ; 10 — Alagoinha ; 11 — Catolé da Rocha ; 12 — Sumé ; 13 — Campina Grande. Etat du Rio Grande do Norte : 14 — Serido ; 15 — diverses localités ; 16 — Mossoro. Etat du Ceará : 17 — Tianguá ; 18 — Ubajara ; 19 — Guaraciaba do Norte ; 20 — Quixadá.

varient entre 3-16 %. Le nombre total de parcelles atteint le chiffre élevé de 220 et celui de l'équipe technique dépasse 16 personnes dont la majorité à plein temps. Le projet dispose d'un simulateur de pluies du type Swanson et de laboratoires d'analyses d'échantillons de sols et d'eaux.

Les études de pertes par érosion hydrique comprennent les déterminations des facteurs d'érosivité des pluies R., érodibilité des sols K, pente et longueur de pente SL, couverture végétale C et pratiques anti-érosives P de l'équation de WISCHMEIER. Les pertes en terre et en eau sont mesurées. On évalue l'effet des pratiques

culturales, du recouvrement végétal et de la longueur de la pente sur les pertes. Les principales plantes testées sont les suivantes : coton annuel et arbustif, divers types de haricots les plus cultivés, maïs, ricin, manioc, soja, et divers plantes fourragères. En ce qui concerne l'influence des facteurs sur la production, sont déterminées les effets des pratiques anti-érosives comme le labour et la plantation selon les courbes de niveau, les billons et les buttes isohipses. Les bandes d'arrêt de végétation permanente, les « mulchs », la rotation culturale, les engrais verts, et les effets de différentes préparations du sol.

L'EMBRAPA poursuit dans son Centre de recherches du Tropique semi-aride de Petrolina (CPATSA) divers programmes visant à la captation et à la gestion de l'eau dans les zones arides, à la connaissance du ruissellement superficiel sur micro-bassins, à l'utilisation des terrains et des eaux salés. L'UFRPE de Recife réalise des recherches sur les pertes en terre et en eau de sols sous pluies simulées en zone semi-aride sur le bassin du Riacho do Navio géré par la SUDENE. La convention SUDENE/ORSTOM dont les objectifs étaient un diagnostic de la recherche sur la gestion et la conservation des sols dans le Nordeste et la proposition de nouvelles lignes de recherche s'est déroulée de 1980 à 1983. Outre les objectifs précédents, cette convention a été étroitement liée au programme de l'autre convention SUDENE/ORSTOM sur les bassins hydrologiques représentatifs du Nordeste et sur le projet de recherche SUDENE/DRN/CNPq/UFPB du bassin expérimental de Sumé qui sera examiné plus loin. Cette convention hydrologique des bassins versants représentatifs, par ses études sur les caractéristiques hydrodynamiques des sols, contribue à une meilleure connaissance des conditions de ruissellement et d'infiltration et par conséquent des conditions d'érosion. Les nombreux résultats obtenus sur le facteur d'érosivité des pluies des différents climats du Nordeste ont bénéficié de l'infrastructure puissante de la banque de données pluviométriques créée dans le cadre de la première convention de coopération de l'ORSTOM auprès de la SUDENE qui a nécessité plus de huit années de travail pour être édiflée (JACCON et SÉCHET, 1980). Le calcul du facteur R d'érosivité des pluies pour 40 postes totalisant 412 années de données a fait l'objet d'un programme spécial sur ordinateur. Le traitement des données depuis le découpage des pluviogrammes à l'aide du lecteur de courbes jusqu'à leur stockage sur bande magnétique a été réalisé grâce à une convention avec le CCA de l'UFPB de Areia.

Enfin, la Commission de Conservation du sol et de l'eau de l'Etat du Pernambuco (CESSOL-PE), a entrepris des études de lutte contre l'érosion dans une zone accidentée de l'« Agreste ».

L'ÉTAT DE LA PARAÍBA

Commencés en 1977, les travaux de la convention SUDENE/UFPB-CCA Areia concernent les zones de l'« Agreste » (Station expérimentale d'Alagoinha et de Areia) et du « Sertão » (Station de Catolé da Rocha). L'équipe dispose d'un simulateur de pluies du type Swanson. Le nombre de parcelles fixes est de 15 à Alagoinha et il est prévu l'installation de 6 à Catolé et de 2 à Areia. L'étude de l'érosion sous pluies naturelles comprend l'évaluation des pertes en terre et en eau sous l'effet de différentes pratiques culturales et de couverture végétales et la détermination des facteurs R, K, SL, C et P. Est testée l'incidence sur la production : des rotations et associations culturales comme maïs-haricot ou coton-haricot, des engrais verts et du billonnage. Les plantes utilisées sont le coton, les haricots, la canne à sucre, le maïs et une graminée fourragère. Les éléments nutritifs exportés dans les eaux de ruissellement sont analysés. Une campagne de déterminations de paramètres physiques des sols comme la perméabilité a été entreprise de manière à compléter les évaluations du facteur érodibilité K. Sous pluies simulées sont déterminés les effets du type de sol, de sa préparation, de sa pente et de différentes pratiques anti-érosives. Cette convention a la charge de la détermination de l'érosivité des pluies de la Paraíba et de tout le Nordeste.

Une autre convention SUDENE/CNPq/UFPB, dans laquelle sont inclus des chercheurs de l'ORSTOM, concerne l'étude du bassin hydrologique expérimental de Sumé, dans le « Sertão » sec. L'étude, en exécution depuis 1982, est située sur un sous-bassin déjà connu hydrologiquement depuis plusieurs années, et comprend plusieurs micro-bassins sur un même sol « brun non calcique verticale » très fréquent dans la zone semi-aride. Les comportements hydrodynamiques différents en fonction de la pente et de la couverture végétale de paires de micro-bassins semblables sont analysés. L'influence de la taille ou « effet d'échelle » est obtenue en comparant les données de 4 micro-bassins de un hectare environ à celles de 7 parcelles de 100 m² dont la pente et le traitement sont similaires. Une station météorologique complète est jointe au dispositif de mesures. Les premiers essais de pluies simulées réalisés avec un infiltromètre à aspersion du type ORSTOM et l'utilisation d'une sonde à neutrons et de tensiomètres vont permettre une analyse hydrodynamique fine des processus d'infiltration, de ruissellement et de détachabilité des particules. Les mesures obtenues avec cet infiltromètre sur 1m² compléteront l'analyse de l'« effet d'échelle » précédente. Des analyses d'eau de différentes origines, ruissellement sub-superficiel, superficiel, hypodermique, profond, sur et sous végétation, écoulement localisé, ruissseau, retenue, rivière... sur un même sol, sont en cours

pour déterminer les principaux facteurs de la minéralisation croissante et donc de la libération des sels.

Des conventions UFPB/CNPq/BID menées à partir de Campina Grande traitent de la gestion et de la conservation de l'eau en périmètres irrigués sous climat semi-aride de la Paraíba et du Rio Grande do Norte, de la récupération et de l'utilisation des terres affectées par les sels. Une collaboration et une orientation par des chercheurs de l'ORSTOM est en cours.

Le Centre National de Recherche sur le Coton de l'EMBRAPA à Campina Grande étudie les pratiques de conservation du sol adaptées à la culture du cotonnier moco (*Gossypium arboreum*) et l'influence de ces pratiques sur la production. Enfin, le CESSOLO lié à l'organisme chargé de l'extention rurale de la Paraíba, très actif, a localisé plusieurs sites d'études de bilan d'érosion et de lexiviation des sols sous cultures pluviales et sous irrigation et s'apprête à commencer ces études.

L'ÉTAT DU RIO GRANDE DO NORTE

Cet Etat, dont les trois-quarts du territoire sont situés en zone semi-aride particulièrement difficile, s'est attelé à des recherches sur la conservation des sols et de l'eau. C'est l'EMPARN, représentant de l'EMBRAPA dans cet Etat qui a débuté, il y a deux ans, deux programmes étudiant l'influence du reboisement sur la production et la qualité de l'eau et l'utilisation de l'eau et des sols des dépressions inondables irriguables du Rio Grande do Norte. D'autre part, l'Ecole Supérieure d'Agronomie de Mossoro réalise un projet d'étude de l'estimation des pertes par érosion hydrique sur sol « podzolique jaune-rouge eutrophe » à l'aide de six parcelles expérimentales. Enfin, un vaste projet de planification hydro-forestier visant à la conservation de l'eau, du sol et de la végétation élaboré par l'Institut de développement forestier (IBDF) a démarré tout récemment. Il bénéficie de consultants et experts étrangers du PNUD et de la FAO et de fonds importants, ne se limite pas seulement à la zone semi-aride, est pluridisciplinaire et prétend étudier les rapports et surtout l'utilisation rationnelle des ressources sol-eau- plante.

L'ÉTAT DU CEARÁ

Depuis 1978, une convention d'étude de la mesure de l'érosion hydrique, de la susceptibilité du sol à l'érosion et de l'érosivité des pluies du Ceará lie le CNPq, la SUDENE et le CCA de l'Université fédérale du Ceará à Fortaleza (UFCE). Le lieu de l'étude est une ferme expérimentale de l'Université située à Quixada en zone semi-aride et comprend 16 parcelles de 4 à 5 % de pente. Une station météorologique et des laboratoires fournissent les données permettant une évaluation des

différents facteurs de l'équation de WISCHMEIER, des caractéristiques physiques du sol et du bilan hydrique. On détermine l'effet de la préparation du sol et de techniques anti-érosives sur les pertes par érosion. L'utilisation d'un simulateur de pluie de type Swanson permet l'étude de l'effet de couverture de résidus végétaux et de plantes cultivées. Une autre convention, établie entre le CNPq, la SUDENE, l'UFCE et la Fondation de recherche et culture du Ceará (FCFC), étudie sur dix parcelles sous pluies naturelles, mais aussi sous pluies simulées, les effets de différents systèmes de travail du sol, de pratiques anti-érosives et de types de couvertures végétales sur les pertes en terre et en eau de cultures de café et de haricot. L'EMBRAPA du Ceará (EPACE), de son côté, contribue, sous la forme de plusieurs projets de recherche, au diagnostic de l'érosion sur les principaux types de sols de l'Etat, à l'effet des différentes couvertures végétales du sol sur la fréquence de l'irrigation, à l'impact de la conservation de l'eau sur la production de cultures irriguées et à l'étude de pratiques culturelles visant à la conservation de l'eau par captation *in situ* en zone semi-aride.

LES AUTRES ÉTATS DU NORDESTE

Quelques projets sont en cours d'élaboration ou en début de réalisation dans l'Etat de la Bahia et du Piauí. Il s'agit de parcelles expérimentales de pertes par érosion situées à l'Ecole d'Agronomie de Cruz das Almas (Bahia) et dans des fermes expérimentales de l'Université fédérale du Piauí situées en zone semi-aride.

3. Les résultats obtenus

Pour plus de facilité, les résultats obtenus seront passés en revue dans l'ordre des facteurs de l'érosion et non plus par Etat, mais les sources et références des principaux résultats acquis seront mentionnées chaque fois que cela sera jugé nécessaire.

LE FACTEUR CLIMATIQUE

L'érosivité des pluies du Nordeste est maintenant assez bien connue. Comme cela peut être vérifié dans ce qui précède, de nombreuses équipes ont à leur programme la détermination du facteur R de WISCHMEIER et en particulier celle du CCA de Areia et l'équipe franco-brésilienne de la SUDENE. Quelques quarante postes pluviographiques disséminés dans tout le Nordeste à raison de 1 pour le Maranhão, 4 pour le Piauí, 5 pour le Ceará, 5 pour le Rio Grande do Norte, 8 pour la Paraíba, 10 pour le Pernambuco et 7 pour la Bahia et totalisant 412 années de données ont déjà été traités, quelques-uns d'abord à la main, toutes les autres ensuite à l'ordinateur. La liste et les résultats sont présentés dans le rapport du CCA de Areia (SILVA da et

ANDRADE de, 1984). D'autres postes climatiques sont en cours de traitement. Les valeurs de l'érosivité des pluies de la Paraíba ont été publiées en 1980 (CHAVES et DINIZ). La même année, à l'aide des données des postes en cours de traitement et pour tenter d'échapper à l'inconvénient majeur de la grande variabilité climatique et de la densité relativement faible des stations pluviographiques, des corrélations ont été recherchées et établies entre les valeurs moyennes annuelles de l'érosivité R obtenues pour les postes de plus de 5 années de données et les valeurs de pluviométrie moyenne annuelle P. Ces corrélations sont hautement significatives et déterminent des ajustements et des équations de la forme exponentielle ou fonction de puissance :

$$R = a.e^{b.P} \quad \text{et} \quad R = a.P^x$$

différentes pour les différentes zones climatiques du Nordeste : « Sertão », « Meio Norte » et transition avec l'Amazonie. « Mata littorale » et « Agreste et Mata intérieure ». En se fondant sur l'hypothèse que s'il existe une relation statistique étroite entre R et P pour une période récente de 10 ans entre 1967 et 1980, cette relation est également valide pour la période de 1912 à 1967, période dont les données ont servi à établir la carte du 1/2 500 000^e des isohyètes de la région (plus de 2 600 postes pluviométriques observés), une carte de la zonation de l'érosivité des pluies du Nordeste a été dressée au 1/5 000 000^e (LEPRUN et GOMES, 1981 ; LEPRUN, 1981). On obtient les subdivisions suivantes : « Sertão » sec : $R < 230$; « Sertão » : $230 < R < 340$; « Sertão » humide, « Agreste » et « Brejos » : $340 < R < 500$; « Mata » intérieure, « Agreste » humide et « Meio Norte » : $500 < R < 730$; « Mata littorale » : $730 < R < 1\ 000$; « Mata » littorale humide : $R > 1\ 000$. De même, d'étroites corrélations sont mises en évidence entre le facteur R et le produit PI30, P étant la hauteur de pluie et l'intensité maximale en 30 mn pour les pluies unitaires de chacune des sous-régions climatiques, facilitant ainsi l'estimation de l'érosivité pour des stations sans pluviographes ou à données incomplètes. Suite à plusieurs tentatives infructueuses d'emploi de l'indice d'érosivité $KE > 25$ de HUDSON (1973) de préférence à celui de WISCHMEIER, un programme a été établi à la SUDENE sur le modèle de celui du R de WISCHMEIER et a donné des résultats intéressants (LEPRUN *et al.*, 1982) : les deux indices présentent des valeurs très différentes, celles du KE étant plus de 10 fois supérieures à celles du R ; cette différence provenant de méthodes de calcul différentes est logique ; ces valeurs de KE sont du même ordre de grandeur que celles obtenues en Tanzanie (*in* MORGAN, 1979) ; il existe une excellente corrélation entre les deux coefficients RE et R ($KE = 14,0 R + 497,8$ pour 206 paires de données, $r = 0,97^{**}$). Des mesures du diamètre moyen des gouttes de pluies du Nordeste ont été

pratiquées par la méthode des agrégats de farine de HUDSON (1964), pour la première fois au Brésil (LEPRUN, 1984). Les valeurs du diamètre moyen en fonction de l'intensité des 10 pluies de la zone semi-aride du « Sertão » de la Paraíba et du Ceará et de 7 pluies de la zone littorale humide (Recife) s'ajustent selon les équations suivantes :

$$D\ 50 = 0,336\ I^{0,387}, \quad r = 0,89^{**} \quad \text{pour le « Sertão » ;}$$

$$D\ 50 = 0,870\ I^{0,150}, \quad r = 0,77^* \quad \text{pour la zone littorale.}$$

Il faudra, bien entendu, vérifier la validité de ces équations à l'aide d'un plus grand nombre de mesures, mais dès à présent on peut constater que les courbes d'ajustement sont différentes pour les deux zones, sont très éloignées de celle du centre des Etats-Unis (LAWS et PARSONS, 1943) dont les données ont servi à WISCHMEIER pour établir son calcul de l'énergie cinétique des pluies, sont proches de la courbe des diamètres des pluies d'Abidjan (VALENTIN, 1978 ; COLLINET et VALENTIN, 1979) pour ce qui concerne la zone littorale du Nordeste, et de valeurs du nord de la Tunisie (MECHERGUI, 1980) pour ce qui est de la zone semi-aride.

LE FACTEUR SOL

L'érodibilité des sols est un facteur difficile à établir. Ou bien on emploie la méthode dite directe au Brésil, qui passe par les mesures sur parcelles expérimentales et demande une dizaine d'années de données et de gros moyens si l'on considère que plusieurs types de sols d'une même classe doivent être testés pour avoir une moyenne digne de confiance, ou bien on emploie la méthode indirecte du nomographe établie à partir des données des sols des Etats-Unis. Cette méthode est rapide mais peu sûre et ne paraît pas s'appliquer correctement à tous les sols du Nordeste brésilien, et en particulier aux nombreux sols caillouteux et montmorillonitiques pour lesquels la méthode n'a pas été testée (WISCHMEIER et SMITH, 1978). Les données du tableau III permettent de vérifier la dispersion des résultats des coefficients d'érodibilité à l'intérieur de mêmes classes de sols. De même, par exemple, les sols « podzoliques rouge-jaune » de la Paraíba fournissent sur le même site une valeur K de 0,14 au nomographe et 0,018 sous simulation de pluies et les mêmes vertisols avec les mêmes méthodes respectivement 0,31 et 0,03 ce qui, on peut en convenir, n'est pas satisfaisant (SILVA *et al.*, 1980 *in* LEPRUN, 1983). Toutes les données disponibles publiées ou non sur les coefficients d'érodibilité évalués par différentes méthodes, les critères d'observation de surface, les taux d'infiltration et les mesures de stabilité structurale des sols, les mesures de turbidité des eaux issues de bassins versants à sols dominants connus, etc., permettent d'établir la classification suivante :

- sols à faible susceptibilité à l'érosion ($K < 0,1$) : « latosols jaunes et jaune-rouge », « areias quartzosas », sols hydromorphes, podzols ;
- sols à susceptibilité à l'érosion faible à moyenne ($0,1 < K < 0,3$) : sols « bruns non calciques », « lithologiques », « regosols », vertisols, « podzoliques rouge-jaune dystrophes » ;
- sols à susceptibilité à l'érosion moyenne à forte ($0,3 < K < 0,5$) : « latosols rouge foncé », « terras roxas », « planosols » ;
- sols à susceptibilité à l'érosion forte ($K > 0,5$) : solonetz solodisés.

Une carte de l'érodibilité hydrique des sols du Nordeste regroupant les subdivisions précédentes en érodibilités faible, modérée et élevée en y incluant les autres classes de sols classés arbitrairement en fonction de la connaissance de leur comportement par de nombreux pédologues brésiliens consultés a été dressée et est annexée au rapport de fin de convention (LEPRUN, 1983).

LE FACTEUR TOPOGRAPHIQUE

Ce facteur est selon ROOSE (1977) le point faible de l'équation de WISCHMEIER. Les quelques tentatives pour son évaluation dans les conditions du Nordeste n'ont pas donné de résultats concluants (MARGOLIS et NETO, 1977). FREITAS (1958) a établi que dans la zone de l'« Agreste », toutes conditions égales par ailleurs, les champs de 50 m de longueur sont moins érodés que ceux de 25 et de 100 m. Un rapport récent contenant les résultats des parcelles de Alagoinha (SILVA da et ANDRADE de, 1984) permet de constater que les pertes en terre sur « terra roxa » et 12 % de pente croissent très rapidement entre 10 et 20 m, puis très peu jusqu'à

40 m. On aborde là le problème important du transfert d'échelle qui est étudié à Sumé par l'équipe SUDENE/CNPq/UFPB/ORSTOM. En ce qui concerne l'influence de la pente, sur sol brun de Sumé (CADIER *et al.*, 1983a et 1983b) une parcelle de référence de type WISCHMEIER de 4 % de pente perd par érosion trois fois plus de terre que la même parcelle dont la pente est de 7 %, et dans l'« Agreste », c'est au-delà de 8 % que l'on commence à observer les premières manifestations de l'érosion ravinante lorsque la culture se fait dans le sens de la pente. Une carte au 1/5 000 000^e du Nordeste du relief et des déclivités a été établie (LEPRUN, 1983).

LE FACTEUR VÉGÉTATION ET PRATIQUES CULTURALES

Ces facteurs qui regroupent les facteurs C et P de WISCHMEIER sont traités ensemble car ils sont très liés l'un à l'autre et leurs influences respectives sont difficilement séparables. Le tableau V fournit des valeurs pour quelques plantes cultivées du Nordeste. La source principale des informations relatives au taux de protection du sol par les couvertures végétales sont les rapports de la convention SUDENE/IPA (IPA, 1978 et MARGOLIS et CAMPOS FILHO, 1980), et du CCA de Areia (SILVA da et ANDRADE de, 1984).

Dans l'« Agreste » du Pernambuco, alors que la parcelle témoin nue qui subit l'érosion maximale a une valeur de C égale à 1 par définition, les parcelles plantées livrent les valeurs suivantes : coton herbacé = 0,25 ; manioc = 0,18 ; maïs = 0,05 ; « mucuna » (*Stizolobium aterrimum* qui est une légumineuse fourragère) = 0,05 ; *Panicum maximum* = 0,01.

Dans la zone de l'« Agreste » de la Paraíba, la moyenne de 3 années de pratiques anti-érosives liées à

TABLEAU IX

Valeurs des pertes en terre et en eau pour différents traitements et cultures dans la zone de l'« Agreste » de la Paraíba (Alagoinha)

Traitement et culture	Années	Pertes en terre (t/ha/an)	Facteur C	Perte en eau (m3/ha/an)
Sol nu et labouré selon la pente	1981	74,56	1	2610,9
	1982	57,03	1	1976,5
Canne à sucre isohypse	1981	6,21	0,083	492,1
	1982	0,27	0,004	181,9
Paturage graminéen (<i>Eriochloa</i> sp.)	1981	0,96	0,013	468,9
	1982	0,90	0,012	133,7
Coton herbacé selon la pente	1981	48,14	0,65	2137,5
	1982	6,01	0,08	752,1
Coton herbacé isohypse	1981	19,96	0,27	1754,0
	1982	0,62	0,01	382,0

Sources : da SILVA et de ANDRADE (1984).

des plantes de couvertures donne les coefficients suivants considérant toujours que la valeur 1 est celle d'une parcelle nue travaillée dans le sens de la pente : coton herbacé planté dans le sens de la pente = 0,34 ; coton planté perpendiculairement à la pente = 0,14 ; cultures associées coton, maïs et haricot isohypses = 0,25 ; maïs planté dans le sens de la pente = 0,11 ; maïs isohypse = 0,12 ; canne à sucre isohypse = 0,02 ; haricot isohypse = 0,2 ; maïs et haricot associés isohypse = 0,4 ; pâturage graminéen (*Eriochloa* sp.) = 0,007.

Le tableau IX dressé à partir des données de SILVA *et al.* (1982) peut permettre de se faire une idée des pertes en terre et en eau sur différentes parcelles.

On peut remarquer la perte en terre relativement élevée au cours de la première année de culture de la canne à sucre lorsque est pratiqué le labour profond précédant la plantation, et sa forte diminution

che de 1000 mm et le sol « terra roxa » très susceptible à l'érosion.

Les données de pertes en terre et en eau recueillies durant 17 ans sur parcelles expérimentales de cultures de tomates par FREITAS *et al.* (1981), à Pesqueira où la pluviométrie moyenne annuelle est de 660 mm durant la période d'études et le sol un « regosol », sont présentées dans le tableau X.

L'analyse des éléments de ce tableau met en évidence l'efficacité des pratiques telles que : les rotations culturales (traitements F et G triennaux meilleurs que C et E biennaux) ; le maintien des résidus culturaux soit en « mulch » soit incorporés, et dans ce cas les remarquables résultats obtenus en employant les restes de « capoeira », c'est-à-dire la coupe des repousses de jachère de la « caatinga » constituée surtout d'espèces rudérales sans aucune valeur pastorale et qui est habi-

TABLEAU X

Valeurs moyennes annuelles des pertes en terre et en eau par érosion pour différents traitements de culture de tomates durant 17 ans dans le Pernambuco (Pesqueira).

Traitement	Pertes en terre		Pertes en eau		
	t/ha/an	%*	m3/ha/an	%*	%**
A. Tomate en continu	8,70	100	417,6	100	6,0
B. Rotation avec engrais vert enfoui (légumineuse)	22,99	216,1	527,3	126,3	8,0
C. Rotation avec engrais vert laissé en "mulch"	2,53	29,0	152,4	36,5	2,5
D. Rotation avec "capoeira" (jachère) enfouie	8,68	99,7	320,4	76,7	5,0
E. Rotation avec "capoeira" (jachère) laissée en "mulch"	0,46	5,3	51,5	12,3	0,8
F. Rotation avec engrais vert légumineuse "mulch" et maïs	1,56	17,9	142,6	34,1	2,0
G. Rotation avec "capoeira" "mulch" deux années de suite	0,24	2,7	28,4	6,8	0,4
Rotation avec légumineuse et bandes d'arrêt herbeuse	0,91	-	81,5	-	1,2

* = pourcentages par rapport aux valeurs du traitement A

** = pourcentages par rapport aux valeurs de la précipitation moyenne de la période considérée.

Sources : de FREITAS *et al.* (1981), données moyennes de 1951 à 1968

l'année suivante, lorsque le système végétatif de la plante s'est développé et que le « mulch » constitué par le tapis de feuilles mortes issu de l'effeuillage bi-annuel est devenu fonctionnel. Ces chiffres illustrent l'efficacité de la couverture végétale de la canne et des graminées par rapport à celle du coton, les pertes en terre et en eau se trouvant pratiquement réduites à zéro en 1982 alors que la pente est de 12 %, la pluviométrie annuelle pro-

tuellement jetée ou brûlée ; et enfin, les bandes de végétation en rotation ou permanente (graminéenne). On notera également l'accroissement de l'érosion lors du traitement B dû au travail du sol nécessaire à l'incorporation de la légumineuse. Les auteurs attirent l'attention sur l'effet bénéfique retiré de la rotation triennale avec deux années de « capoeira » laissée en « mulch » et peu coûteuse : une augmentation substan-

tielle des taux de matière organique, d'azote, de calcium et de magnésium et du rendement en tomates.

L'influence de quelques façons traditionnelles de culture du manioc, l'un des produits de base de l'alimentation dans le Nordeste, sur les pertes par érosion et les rendements a été étudiée à Gloria de Goita, dans l'« Agreste » du Pernambuco par MARGOLIS et NETO (1982). Les parcelles ont une pente de 12 %, le sol est « podzolique rouge-jaune eutrophe », la pluviométrie moyenne annuelle est de 1200 mm. On sait par ailleurs (CAMPOS FILHO (1980) que l'érosivité $R = 355$, que le coefficient d'érodibilité $K = 0,14$ et que la perte moyenne annuelle en terre sur 5 ans se monte à 81 t ha-1. La compilation des résultats (LEPRUN, 1983) met en évidence :

— que les pratiques du billonage et de la plantation selon les courbes de niveau sont les plus efficaces, car elles réduisent de 99 % les pertes en terre et de 97 % les pertes en eau par rapport aux mêmes pratiques effectués dans le sens de la plus grande pente ;

— que la pratique du buttage et plantation selon les courbes de niveau est également efficace car elle réduit l'érosion de 93 % et le ruissellement de 72 % de ce qu'ils sont lorsqu'ils sont exécutés dans le sens de la pente ;

— que ces diminutions spectaculaires rendent inutile l'emploi d'autres techniques associées plus compliquées ou onéreuses ;

— qu'il est donc possible pour une culture aussi érosive que le manioc, sur des versants pentus et une pluviométrie élevée, de diminuer considérablement les pertes en terre et en eau sans réduire de manière notable les rendements, simplement en changeant la direction du travail du sol et de la plantation.

Il a été montré plus avant le rôle exceptionnel de la protection du sol par la couverture végétale, seul facteur capable de faire baisser de 1000 fois les pertes en érosion. L'action de couverture de la végétation naturelle peut être illustrée par les données recueillies sur le bassin expérimental de Sumé dans le « Sertão » de la Paraíba (CADIER *et al.*, 1983 a et 1983 b ; LEPRUN, 1983). Une parcelle de sol « brun non calcique » de 9 % de pente sous « caatinga » n'a perdu que 55 kg ha-1 en une année et a donné lieu à un ruissellement réduit à 2 % de la pluviométrie annuelle, alors que la même parcelle de 7 %, nue et labourée dans le sens de la pente alimente une érosion de 4 975 kg ha-1 et un ruissellement équivalent à 16,4 % de la pluie tombée en un an. Le coefficient C de la « caatinga » est donc de 0,007. Les micro-bassins sous « caatinga » étudiés au même endroit ne produisent qu'un ruissellement insignifiant équivalent à 0,2 % de la pluie, et une perte en terre de 9 kg ha-1 an-1. Des résultats similaires ont été

obtenus sur des micro-bassins sous « caatinga » et sur sols « podzoliques » et « Planosols » par une équipe du CPATSA de Petrolina. Il semble démontré qu'en zone semi-aride et sous végétation naturelle il ne se produise aucune dégradation notable du sol et que l'infiltration y soit maximale.

SYNTHÈSE DU RISQUE DE L'ÉROSION HYDRIQUE DANS LE NORDESTE

Une fois réalisée la confection des cartes du Nordeste à l'échelle du 1/5 000 000 de l'érosivité des pluies, de l'érodibilité des sols, du relief et des déclivités, des densités de population, il a été possible d'établir une carte de synthèse des risques d'érosion hydrique (LEPRUN, 1983) (fig.2). La méthode employée a été celle des superpositions inspirée de STOCKING et ELWEL (1973). Chacun des facteurs de l'érosion cartographiés est subdivisé en trois classes, faible, moyenne et élevée. La première est affectée d'une note 1, la deuxième de 2 la troisième de 3. On superpose les deux premières cartes en dessinant les nouvelles limites et en affectant aux aires ainsi délimitées la somme des classes obtenues. Cette nouvelle carte est superposée à la troisième, celle des déclivités, et on renouvelle l'opération jusqu'à la dernière carte, celle des densités de population. On obtient ainsi une carte finale dite de risque d'érosion qui possède des aires de sommes qualifiées de la manière suivante : 3 = risques très faibles ; 4 = risques faibles ; 5 = risques moyens ; 6 = risques moyens à élevés ; 7 = risques élevés ; 8 = risques très élevés. Sur cette carte figure le risque potentiel de l'érosion hydrique dans le cas d'une mise en valeur « raisonnable », c'est-à-dire utilisant la force humaine, animale ou mécanique légère. Sur la carte, les classes 6, 7 et 8 qui représentent les risques les plus élevés ont été surchargées des symboles sous forme de lettre qui figure le ou les facteurs de l'érosion les plus importants d'ordre 3 sur les cartes originelles : c, figure l'érosivité des pluies ; r, le relief et les pentes ; s, l'érodibilité du sol. Lorsque la lettre est placée au milieu de l'unité, celle-ci est toute entière soumise au risque ; si la lettre est excentrée cela signifie que c'est seulement là où est située la lettre que le risque existe. La répartition des classes indique que ce sont les zones de relief important et cultivées à sols peu épais issus des roches du socle cristallin qui sont les plus exposées. La planimétrie des zones de classes 7 et 8 à risques les plus élevés place la Paraíba en tête des Etats qui courent le plus de risque avec 27 750 km² soit 49,2 % de la superficie en péril, suivie de Ceará avec 65 000 km² soit 43,9 % de l'Etat et du Pernambuco avec 27 000 km² soit 27,50 % de la surface, le dernier étant la Bahia avec 14,5 % de l'Etat. La finalité de cette carte était, au départ, de fournir à la SUDENE un document de synthèse permettant la localisation

rapide des zones les plus exposées et les facteurs prépondérants de l'érosion, de manière à lui permettre de pouvoir planifier les futurs programmes et implantations des études et conventions qu'elle finance en grande partie. Il est évident que ce document est également une source d'informations utiles, à un moment où le nouveau gouvernement a mis à l'ordre du jour la réforme agraire tant importante, attendue et difficile à réaliser, comme le sont toutes les cartes d'aptitude agricole dressées à partir des cartes pédologiques de reconnaissance de tous les Etats du Nordeste dont la couverture est maintenant achevée. Ces cartes d'aptitude agricole, réalisées à différentes échelles allant du 1 400 000 au 1/1 000 000 par le SNLCS de l'EMBRAPA (RAMALHO FILHO *et al.*, 1978), définissent l'aptitude des terres en fonction du type d'utilisation : cultures, pâturage planté, sylviculture et pâturage naturel, pour trois niveaux technologiques différents : bas ou primitif, moyen (traction animale et faibles amendements), élevé (mécanisation et applications d'engrais et de techniques culturales testées). Les potentialités agricoles des terres tiennent compte des facteurs limitants suivants : fertilité, eau, restrictions à la mécanisation et susceptibilité à l'érosion. Ce dernier facteur, qui nous intéresse au premier chef, est donc une donnée qui, replacée dans le contexte pédologique, est très utile au planificateur. Enfin, il faut mentionner l'usage précieux pour le conservateur des sols de la banque de données pédologiques SIS-SOLOS établie par le SNLCS de l'EMBRAPA à Rio de Janeiro, présentée par P. SÉCHET dans le présent cahier, qui contient toutes les données des sols du Nordeste et en particulier certaines déterminations physico-chimiques très utiles pour la conservation des sols comme l'épaisseur de l'horizon A, la granulométrie, la densité, le degré de floculation, la structure, le taux de matière organique, etc. (MENEQUELLI *et al.*, 1984 ; DRUCK *et al.*, 1985).

LE FACTEUR EAU

Grâce à la constitution de la banque de données hydroclimatiques de la SUDENE (JACCON et SÉCHET, 1980), les informations sur les ressources en eau du Nordeste brésilien sont maintenant disponibles aux utilisateurs. Les données saisies concernent la pluviométrie, la pluviographie, l'hydrométrie et la limnimétrie, données issues des observations fournies par les réseaux hydrométéorologiques permanents. Une grande quantité de données ont été recueillies à l'aide du réseau des bassins hydrographiques représentatifs de la SUDENE. Plus de vingt rapports traitent des résultats des campagnes de mesures de 11 bassins disséminés dans toute la région mais préférentiellement situés dans la zone semi-aride, totalisant 108 années de mesures limnigraphiques et 41 années d'enregistrements météorologiques.

Plusieurs articles présentés à des congrès et publiés font le point des connaissances et de leurs applications (VIEIRA *et al.*, 1983 ; CADIER *et al.*, 1982 ; CADIER et CAMPELLO, 1982 ; CADIER *et al.*, 1983). Parallèlement aux études hydrologiques, furent déterminées les caractéristiques physico-chimiques et la cartographie des sols de tous les bassins pour tenter de comprendre leurs comportements hydrodynamiques (LEPRUN *et al.*, 1983b). Le traitement de toutes les données hydrologiques a permis la calibration de 21 modèles de simulation pluie-écoulement journalier et l'obtention de plusieurs centaines de séries qui rendent possible la détermination des hauteurs des lames moyennes annuelles pour divers temps de recurrence ou pour plusieurs années de sécheresse consécutives en fonction du type de bassin, de ses sols, de son relief, de sa couverture végétale et la pluviométrie considérée. Le résultat final de plusieurs années de travail est une méthode d'estimation rapide des écoulements sur les petits bassins de la zone semi-aride dont les surfaces sont inférieures à 400 km² et la pluviométrie moyenne annuelle est inférieure à 1000 mm (CADIER, 1984). Il suffit pour cela de classer le bassin en fonction de ses caractéristiques physiographiques, de connaître sa pluviométrie moyenne annuelle et un calcul simple fournit les lames et les volumes écoulés annuels moyens pour diverses fréquences, les débits et volumes maxima des crues de diverses fréquences, les volumes disponibles après plusieurs années sèches successives. La finalité est une meilleure connaissance des taux de remplissage des retenues (« açudes ») en fonction de la pluviométrie pour une utilisation plus rationnelle de l'eau stockée et l'adoption de dimensions adéquates des réservoirs, connaissances indispensables à la survie et au développement de près des trois-quarts du Nordeste.

En ce qui concerne la qualité de l'eau, si les données relatives aux eaux souterraines sont très nombreuses (1590 puits perforés dont les eaux ont été analysées et recensés par la SUDENE entre 1962 et 1972, plus de deux fois plus aujourd'hui), au point qu'une banque de données est en cours de constitution à la Division d'hydrogéologie de la SUDENE, on ne peut pas en dire de même pour les eaux superficielles. Et pourtant le nombre d'« açudes » publics dépassait le millier en 1960 sans les « açudes » particuliers qui n'ont pas été recensés, dont le nombre croît sans cesse chaque année et qui sans doute dépasse les 10 000 aujourd'hui. Car il a été déterminé une densité de un « açude » par 9 km² dans la zone semi-aride des Etats de la Paraíba, du Rio Grande do Norte et du Ceará et une densité atteignant un « açude » tous les 2 km² dans certaines régions les plus sèches du « Sertão ». Les données d'analyses physico-chimiques des eaux existent souvent, mais sont

disséminées dans les laboratoires, restent dans les tiroirs, ne sont pas publiées. La collecte et l'obtention, après prélèvement sur le terrain, et analyse de plus de 500 échantillons d'eaux superficielles de différentes origines, mais en majorité des « açudes », et le traitement statistique de toutes ces données ont permis une première estimation de la qualité des eaux superficielles du Nordeste (LEPRUN, 1983). Outre les caractéristiques de ces eaux selon l'origine géographique (par Etat) et la nature du prélèvement (« açude », rivière et fleuve, ruisseau, puits peu profond), ont été établies toutes les intercorrélations entre les différents éléments chimiques analysés. Les corrélations hautement significatives rencontrées entre la conductivité électrique et les concentrations en sodium et le résidu sec et entre ces deux données et le SAR coefficient d'absorption du sodium par exemple, ont permis d'établir des abaques déterminant la classe d'eau pour l'irrigation et le risque de salinisation à partir de déterminations simples comme la conductivité électrique qui se mesure en un instant sur le terrain. Ces abaques ont été mises à la disposition des techniciens de l'irrigation et, rassemblées, doivent faire l'objet d'un manuel d'utilisation simplifié à l'usage des assistants ruraux de niveau moyen et des agriculteurs.

LES LACUNES ET POINTS FAIBLES

Ce qui précède montre à l'évidence l'effort de recherche, le nombre élevé de projets, de points d'études et de résultats obtenus et en voie de l'être. Cependant, un examen minutieux et critique de ce bilan et la vie de tous les jours dans les milieux de la recherche brésilienne de la conservation des sols font ressortir les lacunes et points faibles suivants. Tout d'abord (cf. carte de la figure 1), une mauvaise répartition géographique des études. Celles-ci sont concentrées en effet dans quatre Etats du littoral est et laissent de côté les immenses territoires du Piauí, du Maranhão et de la Bahia et leurs problèmes spécifiques de conservation liés aux conditions climatiques, pédologiques et socio-économiques différentes. La région d'Irecê par exemple, située dans l'ouest de la Bahia et qui est le grenier à haricot du Nordeste grâce à ses rendzines et « cambisols » développés sur calcaires et qui sont soumis à une mécanisation intense et à des conditions érosives inhabituelles et préoccupantes pour la région, est totalement délaissée. Cette répartition n'est également pas satisfaisante à l'intérieur des Etats mieux lotis et on peut noter une absence totale d'étude dans la zone de la « Mata » qui est la zone la plus peuplée, où le nombre d'habitants par hectare cultivé est le plus élevé et dont la production agricole est exportée. Malgré le nombre apparemment élevé de projets d'études, la zone semi-aride n'est pas non plus très favorisée par la recherche appliquée.

Les résultats « sûrs » de pertes en terre et en eau, de l'influence du travail du sol pour les principales plantes et les principaux sols sont encore très peu nombreux, beaucoup de ces études étant en cours de réalisation. De nombreuses autres ont été abandonnées avant le délai prévu, ou le nombre d'années de l'étude est trop faible pour que les résultats puissent être exploités. Ainsi des projets de la convention SUDENE/IPA/UFRPE dans le Pernambuco dont la moitié seulement a été menée à bien et dont, malheureusement, pratiquement rien ne concerne les stations de la zone semi-aride. Le plus souvent, une fois le projet accompli, les résultats, les données essentielles, les méthodologies ne sont pas publiés. Rares sont les rapports de fin de convention qui font figurer des résultats applicables, qui fournissent des données brutes qui pourraient servir par la suite. C'est pourquoi la recherche et la saisie des données sont les opérations les plus difficiles à effectuer pour un chercheur au Brésil et particulièrement dans le Nordeste. C'est également pourquoi il y a tant d'études onéreuses répétées et si peu d'application, de vulgarisation des résultats de ces études. Car on touche là le point faible le plus important sans doute. Il n'y a pas transmission, articulation avec le concret, le terrain, l'agriculteur. Il n'y a pas de stations expérimentales, de fermes modèles où seraient montrés aux collectivités rurales et au petit agriculteur les pratiques culturales testées dans les conditions locales et approuvées et non importées et adoptées telles quelles, les « trucs » simples et efficaces du labour isohypse sans levée topographique préalable, de la plante de couverture efficace, de la graminée qui est apétée et qui résiste bien aux sels. Et pourtant l'organisme chargé de l'assistance technique et de la vulgarisation rurale existe et a été créé pour cela dans chaque Etat, ce sont les EMATER. Mais dans la réalité, pour plusieurs raisons, manque de moyens financiers mais aussi humains, manque de considération dans le milieu professionnel et coupure quasi totale avec la recherche fondamentale mais aussi avec les sources de techniques nouvelles. Il y a un profond fossé entre la recherche et l'agriculteur. De nombreux chercheurs sont attirés par l'étude en elle-même des facteurs de l'équation « universelle » de pertes en sol de WISCHMEIER, la détermination du facteur K à l'aide du nomographe plus que par parcelles, l'utilisation aveugle de cette équation sans tenter de la critiquer et de l'adapter aux conditions des milieux brésiliens si différents de ceux du centre des Etats-Unis et déjà si différents entre eux. Le Brésil n'a pas les possibilités financières des Etats-Unis, il se trouve confronté à de grandes difficultés économiques, la méthodologie de WISCHMEIER pour estimer les pertes en terre est longue, coûteuse et difficilement extrapolable à l'échelle de la propriété ou du paysage. En effet, la propriété « moyenne »

dans le Nordeste est supérieure à 10 ha, la surface de la parcelle de WISCHMEIER de l'ordre de 100 m² et l'effet d'échelle des pertes par érosion est difficile à déterminer mais importante comme on peut le constater sur le bassin de Sumé. Il est donc nécessaire de rechercher d'autres méthodologies plus simples, plus rapides et moins chères. Celle des micro-bassins est à la mode et a donné des résultats spectaculaires dans le sud du pays où les limites de propriétés orientées dans le sens de la pente et la mécanisation lourde intensive avaient provoquées une érosion ravinante catastrophique. Des tentatives fondées sur la perte de productivité ou le taux de matière organique sont en cours au SNLCS. Car les résultats exposés plus avant montrent que l'aspect économique de la conservation n'est pratiquement jamais abordé. C'est pourtant lui seul qui peut déterminer si une pratique est plus viable qu'une autre, quel est le prix de l'effort de recherche et d'application à consentir, quelles sont les possibilités d'acceptation par des différentes couches sociales de la population rurale, en un mot quel est le poids de la dégradation du sol sur l'économie du pays, de la région, du producteur.

Une autre faiblesse de la recherche en conservation des sols concerne le secteur de la pédologie expérimentale. La détermination des caractères physiques du sol souffre de nombreuses lacunes. Les mesures de perméabilité *in situ* et au laboratoire, les tests de stabilité structurale, sont peu pratiqués et les fiches d'analyses des rapports de cartographie des sols sont pauvres en déterminations physiques. Le nombre de « grands » simulateurs de pluies du type Swanson existant dans le Nordeste atteint 6, peut-être 7 à l'heure actuelle. Leur emploi est limité dans l'espace par manque de moyens financiers ou de matériel (camion citerne, remorques, frais de déplacements, carburant...) et dans la méthodologie où on se limite à mesurer les pertes en terre au cours de trois pluies à intensité différente dont la succession sur deux jours ne correspond pas à celle des pluies naturelles, le ruissellement est mesuré de façon grossière car on n'emploie pas de limigraphe... (Une série de critiques et suggestions sur l'emploi du simulateur a déjà été présentée par ailleurs [LEPRUN, 1981]). Enfin, un dernier point faible de la conservation du sol dans le Nordeste et aussi dans le pays tout entier est qu'elle est trop souvent limitée à son aspect érosif. La conservation des sols est réduite à l'érosion et ne comprend pas l'ensemble des processus de dégradation du sol qui conduit à la baisse de sa productivité, c'est-à-dire inclut les domaines de recherche de l'agronomie, de la pédologie, de la microbiologie, de l'agroclimatologie, de la mécanisation agricole, du génie rural... Mais ce défaut n'est pas propre au Brésil.

LES PERSPECTIVES

Comme on l'a vu, les décades des années 60-70 ont été favorables aux études de conservation des sols, l'après 1985 ne se présente pas sous les meilleurs aspects. Le Brésil traverse depuis plusieurs années une crise économique et sociale sans précédent, et l'effort consenti à la recherche, dont les retombées ne peuvent être espérées qu'à moyen ou long terme, n'a fait que décroître depuis ces dernières années si on l'établit en monnaie constante. Il faut pourtant continuer à suivre les expérimentations sous peine de voir l'année entière se perdre. Et avec courage on continue le plus souvent à travailler avec des moyens de plus en plus précaires. Mais les préoccupations prioritaires du pays sont autres pour le moment. Non que la dégradation du sol soit négligée ou oubliée, mais elle est passée au second plan. Il y a eu la dernière sécheresse qui a été suivie cette année d'inondations catastrophiques. Le problème de l'eau reste le problème prioritaire du Nordeste car constitue le facteur économique et social limitant le plus important. Compte tenu du niveau de développement agricole actuel du Nordeste et des bonnes conditions de ses ressources naturelles, la dégradation des sols par l'érosion hydrique n'est pas préoccupante, exceptée dans les zones montagneuses très peuplées de l'« Agreste ». Il suffirait d'adopter la pratique simple du travail du sol et de la plantation suivant les courbes de niveau pour réduire de trois-quarts les pertes en terre et récupérer entre 3 et 15 % de la pluviométrie, suivant les endroits. L'économie de l'eau et sa minéralisation élevée nous paraissent être des problèmes pour l'instant plus importants que celui de l'érosion. Les processus de compaction et d'érosion ravinante à évolution rapide qui se manifestent déjà sur les fragiles « latosols » soumis à des systèmes d'exploitation mécanisés intenses sont certes préoccupants, mais les pertes en terre n'atteignent pas les niveaux catastrophiques des régions du sud du pays où il a pu être noté des érosions de plus de 200 tonnes par hectare sous cultures de soja.

Le Service National de Cartographie et de Conservation des sols, SNLCS de l'EMBRAPA, est en train de dresser un inventaire des zones, et des problèmes de la dégradation des sols de tout le Brésil, et des priorités pour la combattre. Il semble que pour le Nordeste l'une des premières priorités soit la vulgarisation des connaissances acquises et l'adoption et l'application des pratiques les plus simples testées, et donc directement utilisables. Pour cela il faut former des techniciens de niveau moyen, indispensables à l'articulation entre la recherche et l'agriculteur, et créer des stations expérimentales de démonstration et de vulgarisation. Les techniques simples d'utilisation et d'économie de l'eau seront les premières à être divulguées. Les futures études et

applications devront intervenir dans les zones de risques les plus élevés qui sont maintenant connues.

CONCLUSIONS

Il est temps de tirer les conclusions de ce long bilan de la situation actuelle et des perspectives des études de conservation et de gestion des sols dans la région du Nordeste. Après l'examen du cadre physique et humain de cette région, ses différents facteurs d'érosion hydrique ont été mis en regard de ceux d'une région écologiquement similaire, la partie sahélo-soudanienne de l'Afrique de l'Ouest. De cette confrontation il ressort que le Nordeste jouit de conditions de conservation favorables qui rendent encourageantes les recherches entreprises pour tenter de réduire les dégradations physico-chimiques dues à l'eau et préserver au sol nordestin sa fertilité naturelle. Excepté dans certaines conditions géographiques particulières imposées par le système foncier hérité du passé, le péril de l'érosion agricole actuelle ne semble pas important au point de devoir mobiliser dans l'immédiat des moyens supérieurs à ceux entrepris ces vingt dernières années. En revanche, l'effort de recherche doit être accru et poursuivi pour ce qui concerne le transfert des technologies simples reconnues adéquates, au petit producteur rural. Ces pratiques culturelles sont connues, fonctionnent, il faut les appliquer. Il est possible d'observer aux limites des campus d'universités du Nordeste, sur un versant pentu, à quelques centaines de mètres de distance, simultanément, l'utilisation d'un simulateur de pluie et la préparation d'un champ de manioc à la houe dans le sens de la plus grande pente dont le paysan est assuré de voir perdre chaque année, avec l'exportation de chaque millimètre de l'horizon superficiel du sol, une portion de sa richesse, de son capital alimentaire, de son patrimoine

et de celui de ses enfants. Il faut apprendre à l'agriculteur, au petit fermier, au « fazendeiro » du « Sertão », où il peut construire son « açude » et surtout si, compte tenu du volume d'eau qui peut être stockée et de sa qualité, il a économiquement intérêt à le construire, c'est-à-dire à s'endetter pour de longues années. Dans tous les pays du monde le paysan est un pragmatique qui ne change ses habitudes seulement si on lui montre qu'il en tirera bénéfice. Le petit agriculteur, confronté aux dures conditions qui sont les siennes n'échappe pas à la règle et peut faire preuve d'esprit d'initiative comme le prouvent les pratiques de cultures associées les plus variées utilisées et son adaptation rapide aux techniques de la petite irrigation. L'effort de recherche doit également être poursuivi pour tenter d'étudier les zones de la « Mata » littorale la plus exploitée et du « Meio Norte » où se trouvent les terres vierges qui seront mises en valeur dans un proche avenir et qui sont déjà la proie des investisseurs dont le souci n'est pas l'érosion mais le profit immédiat, quels que soient les moyens à employer. Malgré la petite note pessimiste émise dans les perspectives et motivée par les sérieuses restrictions actuelles dont a souffert et continue de souffrir la recherche, les raisons d'espérer n'ont peut-être jamais été si grandes. Il y a tout d'abord l'acquis dont on a dressé un tableau des résultats ; il y a ce qui est en cours et qui est chargé de promesses et de découvertes ; il y a surtout cette indispensable réforme agraire qui fera descendre le pauvre « caboclo » de son lopin de terre pierreux accroché aux flancs des « serras » griffées et dénudées et ce dynamisme brésilien extraordinaire qui donne à son peuple, aux pires moments, les ressources de continuer à avoir comme il le dit lui-même, « un sentiment positif ».

Manuscrit accepté par le Comité de rédaction le 17 janvier 1986

EROSION EXPLOITATION ET CONSERVATION DE CERTAINS SOLS DANS LE NORDESTE BRÉSILIEN

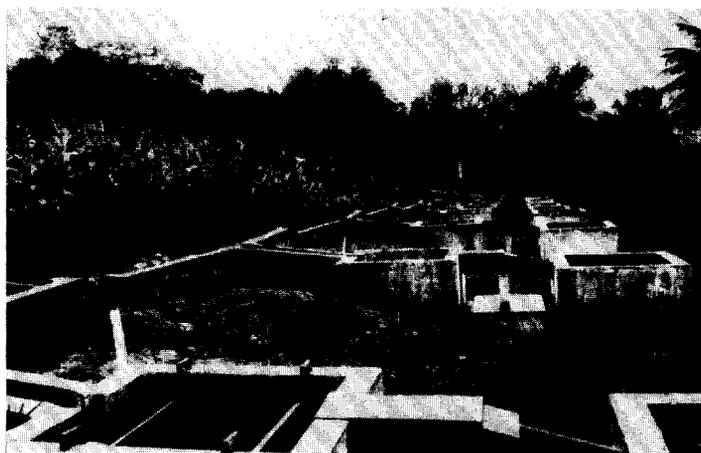


PHOTO 1. — Batterie de 15 parcelles expérimentales à la station d'Alagoinha, mises en place en 1941. Zone de l'« Agreste » de la Paraíba. P = 1.200 mm/an. Sols : « terra roxa » Pente : 12 %.

PHOTO 2. — Aspect de l'érosion linéaire à Açú. « Sertão » du Rio Grande do Norte. P = 400 mm/an. Sols : solonetz solodisés.

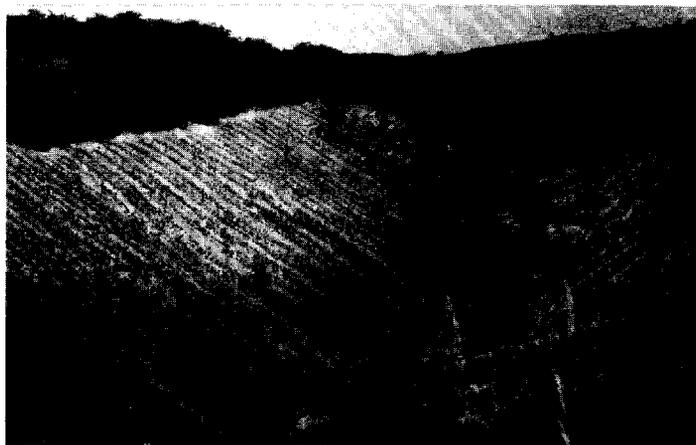


PHOTO 3. — Cultures d'ananas selon la pente dans la zone intermédiaire entre l'« Agreste » et le « Sertão » du Pernambuco, Serra das Russas. Sols : regosols. P = 700 mm/an.



PHOTO 4. — Culture de la canne à sucre en courbes de niveau dans la zone de la « Mata » du Pernambuco. P = 1 600 mm/an.

GLOSSAIRE DES TERMES ET SIGLES UTILISÉS

- Açude* : retenue d'eau collinaire artificielle.
Agreste : région de transition entre la région de la « Mata » littorale humide et le « Sertão » semi-aride intérieur.
Brejo : sens primitif : zones humides circonscrites du « Sertão » à potentiel agricole élevé. Sens actuel : zones des rebords orientaux humides et fertiles des plateaux et « serras ».
Caatinga : végétation arbustive et arborée basse épineuse spécifique de la région semi-aride du Nordeste.
Caboclo : paysan pauvre. Sens primitif : métis de blanc et d'indienne.
Capoeira : jachère.
Cerrado : savane arborée.
Chapada : plateau élevé à rebords escarpés.
Fazendeiro : propriétaire d'une propriété rurale de superficie moyenne ou grande (*fazenda*).
Mata : forêt. Région littorale humide.
Roca : terrain de culture en sec le plus souvent pentu.
Seca : sécheresse.
Serra : massif montagneux ou rebord de plateau (*chapada*).
Sertão : région intérieure semi-aride du Nordeste.
- BID : banque internationale de développement.
 CCA : centre de sciences agraires.
 CNPq : centre national de la recherche scientifique.
 CPATSA : centre de recherche agro-pastoral du tropique semi-aride de l'EMBRAPA.
 EMBRAPA : entreprise brésilienne de recherches agro-pastorales.
 EMPARN : entreprise de recherches agro-pastorales du Rio Grande du Sud.
 EPACE : entreprise de recherches agro-pastorales du Ceará.
 FCFC : fondation de la recherche et de la culture du Ceará.
 IBDF : institut brésilien de développement forestier.
 IPA : institut de recherche agro-pastorale du Pernambouc.
 SNLCS : service national de cartographie et de conservation des sols de l'EMBRAPA.
 SUDENE : surintendance du développement du Nordeste.
 UFCE : université fédérale du Ceará.
 UFPB : université fédérale de la Paraíba.
 UFRPE : université fédérale rurale du Pernambouc.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDRADE (M.C. de), 1980. — A terra e o homem no Nordeste. 4^e ed. São Paulo, Livraria Ciências humanas, 278 p.
- BERTONI (J.), LOMBARDI NETO (F.), BENATTI JUNIOR (R.), 1975. — Equação de perdas de solo. *Bol. Tec. Inst. Agron.*, Campinas, 21 : 1-25 p.
- BRET (B.), 1975. — Le Nordeste du Brésil. Croissance économique et problèmes d'aménagement. Problèmes d'Amérique Latine, XXXVIII, Notes et études documentaires. Paris, n° 4237-4238-4239 : 59-88.
- BRUNET-MOREY (Y.), 1963. — Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique occidentale. *Rapport ORSTOM*. Com. Interaf. Etudes hydr. Haute-Volta, 22 p.
- CADIER (E.) et CAMPELLO (S.), 1983. — Avaliação dos recursos hídricos de pequenas bacias do Nordeste semi-arido, Symposium brésilien d'hydrologie et ressources hydriques, 5. Blumenau (SC), Anais, vol.1 : 133-150.
- CADIER (E.), FREITAS (B.J.), LEPRUN (J.C.), 1983 a. — Bacia experimental de Sumé (PB). Instalações e primeiros resultados. SUDENE. Ser. Hidrologia, 16, Recife, 87 p.
- CADIER (E.), FREITAS (B.J.), LEPRUN (J.C.), 1983 b. — Bacia experimental de Sume. Instalações e primeiros resultados. Symposium brésilien d'hydrologie et ressources hydriques, 5. Blumenau (SC), Anais, vol.1 : 69-90.
- CADIER (E.), 1984. — Método de avaliação dos escoamentos nas pequenas bacias do semi-árido. SUDENE. Ser. Hidrologia, 21, Recife, 75 p.
- CAMPOS FILHO (O.R.), 1983. — Avaliação da erosividade e sua relação com perdas de solo e água no Agreste de Pernambuco. Thèse Maîtrise, Univ. Féd. Paraíba, CCA de Areia (PB), 52 p.

- CASTRO de (J.), 1964. — Géographie de la faim. Paris Le Seuil éd., 2^e éd. 1972, 348 p.
- CASTRO de (J.), 1965. — Une zone explosive. Le Nordeste du Brésil. Paris, Le Seuil éd., 256 p.
- CASENAVE (A.), CHEVALIER (P.), GUIGEN (N.), SIMON (J.M.), 1982. — Simulation de pluies sur bassins versants représentatifs. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. XIX, n° 4 : 207-297.
- CHAVES (I. de B.) et DINIZ (E.J.), 1980. — Erosividade de chuvas no Estado da Paraíba. Rencontre nationale de recherche sur la conservation du sol, 3., Recife, résumé, p.11.
- CHEZE (B.) et GROS (A.), 1978. — Missão de estudo das possibilidades de desenvolvimento da cultura à tração animal no Norte e Nordeste do Brasil. Rapport C.E.E.M.A.I., Antony, 22 p.
- COLLINET (J.) et LAFFORGUE (A.), 1979. — Mesure du ruissellement et d'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sols de Haute-Volta. *Rapport ORSTOM*, Ouagadougou, 129 p., 2 vol.
- COLLINET (J.) et VALENTIN (C.), 1979. — Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Nouvelles perspectives, applications agronomiques. *Rapport ORSTOM*, Abidjan, 41 p.
- CUNHA (E. da), 1902. — Os Sertões. 5 éd., Ed. de Ouro, Rio de Janeiro, 520 p.
- DELWAULLE (J.C.). — Relatório de missão ao Brasil. Ações possíveis em materia de conservação dos solos do Nordeste. Rapport CTFT, Nogent-sur-Marne, 27 p., annexes.
- DIAS (J. de D.), 1949. — Programa de conservação dos solos do Pernambuco em mecanização agrícola e assistência técnica. Associação dos engenheiros agrônomos do Nordeste, Recife, publ. 1, 45 p.
- DRUCK (S.), LEPRUN (J.C.), SIVEIRA (C.O.), 1985. — Estudo estatístico preliminar do grau de floclulação de diferentes latosols brasileiros. Congrès brésilien de sciences du sol, 20^e, Belem (PA), à paraître.
- DUQUE (J.G.), 1980. — O Nordeste e as lavouras xerófilas. 3^e éd. Mossoró, Escola sup. Agric. — Fundação Guimarães Duque, Coleção Mossoroense, 238 p.
- F.A.O., 1975. — Formulation of a tropical forest cover monitoring project, F.A.O./UNEP, Rome.
- F.A.O., 1974. — Shifting cultivation and soil conservation in Africa. *Soils bull.* 24 ; Rome, 248 p.
- FREITAS (M.B. de), 1958. — Resultados de experimentos de rotação de lavoura e de perdas de erosão em Pesqueira, Pernambuco. Reunion d'investigation agronomique du Nordeste, 1., Recife, Anais, IANE : 25-32.
- FREITAS (M.B. de), CHOUDHURY (E.N.), FARIA (C.M.B.), 1981. — Manejo e conservação de solo no Nordeste pernambucano. EMBRAPA/CPATSA, Petrolina, Boletim de pesquisa, 6., 44 p.
- FREYRE (G.), 1974. — Maitres et esclaves. La formation de la société brésilienne. Paris, Gallimard éd., 1952, 2^e éd., 551 p.
- FURTADO (C.), 1973. — La formation économique du Brésil, de l'époque coloniale aux temps modernes. Paris — La Haye, Mouton éd., 218 p.
- I.P.A., 1978. — Projeto de pesquisa sobre manejo e conservação do solo no Estado de Pernambuco. Relatório anual, Inst. de pesquisa agron., Recife, 19 p.
- HAYASHI (I.), 1981. — Plant communities and their environments in the caatinga of Northeast Brazil. *Latin American studies*, 2, Univ. Tsukuba Skura-mura Ibarahi, Japon.
- HUDSON (N.W.), 1964. — The flour pellet method for measuring the size of raindrops. *Research Bull.*, Salisbury, dept. of Cons. and ext., 4, 26.
- HUDSON (N.W.), 1973. — Soil conservation. London, Batsford éd., 320 p.
- JACCON (G.) et SÉCHET (P.), 1980. — Base de données hydrologiques du Nordeste brésilien. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. XVII, n° 3-4 : 177-219.
- LAMOTTE (M.) et BOURLIÈRE (F.), 1978. — Problèmes d'écologie : structure et fonctionnement des écosystèmes terrestres. Paris, Masson.
- LAWS (J.O.) et PARSONS (D.A.), 1943. — The relation of raindrop size to intensity. *Trans. Am. Geophys. Union*, Washington, 24 : 452.
- LEPRUN (J.C.), 1981. — A erosão, a conservação e o manejo do solo no Nordeste brasileiro. Balanço, diagnostico e novas linhas de pesquisas. SUDENE, sér. Recursos de solos, 15, Recife, 107 p. carte annexe.
- LEPRUN (J.C.) et GOMES (J.M.), 1981. — Estabelecimento de um mapa da erosividade das chuvas do Nordeste na escala de 1/5 000 000. Congrès brésilien de sciences du sol, 18, Salvador (BA), résumé 153, p.76.
- LEPRUN (J.C.), CAMPOS FILHO (O.R.), SILVA (I.F.), ANDRADE (A.P.), 1982. — Calculo dos índices de erosividade das chuvas R de Wischmeier e $KE > 25$ de Hudson em varios postos pluviográficos do Nordeste brasileiro. Rencontre nationale de recherche sur la conservation du sol, 4, Campinas (SP), résumé 27, p.16.
- LEPRUN (J.C.), ASSUNCAO (M.S.), CADIER (E.), 1983. — Avaliação dos recursos hidricos das pequenas bacias do Nordeste semi-árido : características fisico-químicas. SUDENE, sér. Hidrologia, 15, Recife, 71 p. carte annexe.
- 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.), 1984. — Primeira avaliação do diametro médio de gotas de chuva no Nordeste. Rencontre nationale de recherche en conservation du sol, 5, Porto Alegre (RS), résumé, p.73.

- MECHERGUI (M.), 1980. — Etude de la dynamique de l'eau dans le sol dans les conditions naturelles par les méthodes tensiométriques et neutroniques. Mémoires de fin d'études INAT, Tunis.
- MARGOLIS (E.), MELO NETO (A.V. de), 1977. — Observações gerais sobre as perdas por erosão na zona do Agreste de Pernambuco. IPA ; Recife, *Boletim técnico*, 74, 19 p.
- MARGOLIS (E.), et CAMPOS FILHO (O.R.), 1980. — Determinação dos fatores da equação universal de perdas de solo num Podzólico Vermelho Amarelo de Glória de Goitá. Rencontre nationale de recherche sur la conservation du sol, 3, Recife, résumé, p.29.
- MARGOLIS (E.) et MELO NETO (A.V. de), 1982. — Perdas por erosão em diferentes sistemas de plantio de mandioca. Resultados preliminares. Rencontre nationale de recherche sur la conservation du sol, 4, Campinas (SP), résumé, 34, p.18.
- MENEGUELI (N.A. de), LEPRUN (J.C.), SECHET (P.), 1984. — SISOLOS : uma alternativa para determinar condições potenciais de degradação de solos no país. Rencontre nationale de recherche sur la conservation du sol. Porto Alegre (RS), résumé, p.77.
- MESQUITA (A.), 1980. — A crise financeira mundial e a exploração racional dos recursos brasileiros. Congrès brésilien de conservation du sol, 3, Brasília (DF), conférence d'ouverture.
- MORGAN (R.P.C.), 1979. — Soil erosion. Topics in applied geography. London, Longman éd., 113 p.
- NIMER (E.), 1979. — Climatologia do Brasil. IRGE, Rio de Janeiro, Recursos Naturais e Meio ambiente, 4, 421 p.
- NOUVELOT (J.F.), FERREIRA (P.A.S.), CADIER (E.), 1979. — Bacia representativa do Riacho do Navio ; relatório final. SUDENE-DRN, ser. Hidrologia, 6, Recife, 193 p.
- PFAFSTETER (O.), 1957. — Chuvas intensas no Brasil ; relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas em 98 postos com pluviógrafos. Rapport Minist. Viação Obr. Publ. Depart. Nac. Obras Saneamento, Rio de Janeiro, 419 p.
- RAMALHO FILHO (A.), PEREIRA (E.G.), BEEK (K.J.), 1978. — Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. EMBRAPA/SNLCS, Brasília, 70 p.
- ROOSE (E.J.), 1977. — Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest ; vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. *Trav. et Doc. de l'ORSTOM*, 78, Paris, 108 p.
- SILVA (I.F. da) et ANDRADE (A.P. de), 1984. — Relatório de pesquisa sobre conservação do solo, 1977-1984... Rapport SUDENE-DRN-/UFPB-CCA, Areia, 59 p.
- STOCKING (M.A.) et ELWELL (H.A.), 1973. — Soil erosion hazard in Rhodesia. *Rhod. Agric. J.*, Salisbury, 70 : 93-101.
- VALENTIN (C.), 1978. — Divers aspects des dynamiques actuelles de quelques sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire. *Rapport ORSTOM*, Abidjan, 141 p.
- VIEIRA (H.J.P.), CADIER (E.), LINS (M.J.A.), ASSUNCAO (M.S.), 1983. — Descrição da rede de bacias representativas e experimentais do Nordeste brasileiro. Symposium brésilien d'hydrologie et ressources hydriques, 5. Blumenau (SC), *sous presse*.
- WISCHMEIER (W.H.) et SMITH (D.D.), 1958. — Rainfall energy and its relationships to soil loss. *Trans. Amer. Geophys. Union*, Washington, 39 : 285-291.
- WISCHMEIER (W.H.) et SMITH (D.D.), 1960. — A universal soil loss estimation equation to guide conservation farm planning. *Inter. Congr. Soil Sci.* 7, Madison, vol.1 ; 418-425.
- WISCHMEIER (W.H.) et SMITH (D.D.), 1978. — Predicting rainfall erosion losses ; a guide to conservation planning. Washington, U.S. Depart. of Agric., *Agric. Handbook*, 537, 58 p.
- WISCHMEIER (W.J.), JOHNSON (C.B.), CROSS (B.V.), 1971. — A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *J. of Soil and Water Conserv.*, Baltimore, 26 : 189-193.