

ÉCOLOGIE COMPAREE DE DEUX REGIONS SEMI-ARIDES : LE NORDESTE DU BRESIL ET LE SAHEL AFRICAÏN

Jean Claude Leprun

Introduction

De nombreux facteurs du milieu physique et humain sont communs aux régions semi-arides du Nordeste brésilien et du Sahel ouest-africain : climat sec et chaud à fortes variations pluviométriques pluriannuelles, roches du socle précambrien et des couvertures sédimentaires, végétation xérophyle arbustive et arborée, réseau hydrographique à régime temporaire, population pauvre, exode rural, agriculture de subsistance aléatoire...

Malgré ces points de similitude, il subsiste des différences notables au niveau de la pédogenèse et du comportement des sols, de la composition et du mode de recouvrement de la couverture végétale, en bref du fonctionnement des écosystèmes et des agrosystèmes. Après avoir passé en revue les différents facteurs de l'écologie de ces deux régions, nous allons les comparer de manière à mieux comprendre les processus et les relations eau-sol-plante, compréhension qui pourra aider au développement et à une meilleure gestion des sols et des eaux de ces régions.

Présentation des facteurs de l'écologie des deux régions

a) *Situation géographique* : les coordonnées géographiques sont les suivantes (Fig. 1) :

Sahel : 10-18° latitude N
4-15° longitude O

Nordeste : 3-15° latitude S
34-45° longitude O

Les deux zones étudiées se situent de part et d'autre de l'équateur. Le Nordeste est plus étendu latitudinalement, la continentalité du Sahel est plus accentuée.

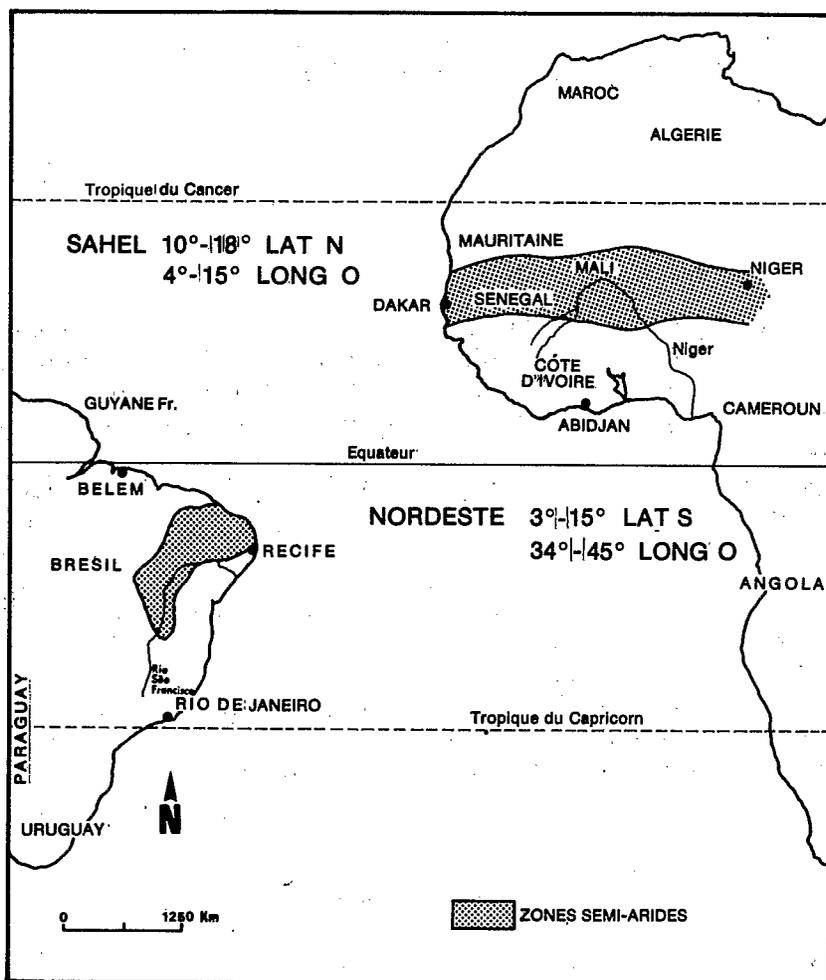


Fig. 1. Situation géographique.

b) *Climat* : la distribution des pluies, de la température et de l'humidité de l'air est soumise :

- dans le Sahel, au déplacement de la zone de contact (F.I.T.) entre deux masses d'air qui s'opposent, l'une septentrionale continentale sèche, l'autre méridionale humide;

- pour le Nordeste en grande partie par les fronts froids venant du sud.

Les valeurs moyennes annuelles de quelques paramètres climatiques relevées durant la même période 1931-1960 pour deux stations caractéristiques illustrent le climat des deux régions :

| | Pl mm | R usa | Température °C | | Humidité % | | Evaporation moy (mm) |
|-------------------|----------|----------|----------------|------|------------|------|-------------------------|
| | | | moy | min | moy | min | |
| Quixeramobim (NE) | 660 | 180 | 24,7 | 23,4 | 59,4 | 50,8 | 1764,2 |
| Dori (Sahel) | 510 | 260 | 36,4 | 32,0 | 45,0 | 22,0 | 3817,6 |

(Pl = pluviométrie; R = érosivité des pluies; Evaporation bac type A)

Les coefficients de variation interannuels de la pluviométrie atteignent 50 % dans le Nordeste et sont les plus élevés connus au monde. Dans le Sahel ils ne dépassent pas 30 %. La saison sèche sahélienne de 6 à 7 mois est très stricte, alors que dans le Nordeste sur dix années consécutives de relevés il est bien difficile de trouver une station qui présente un seul mois de l'année sans aucune pluie. Le climat du Sahel est donc plus contrasté, plus agressif, a un air plus sec, à pouvoir évaporant bien supérieur à celui du Nordeste. Les vents y sont puissants et pratiquement constants, en particulier dans la zone septentrionale, contrairement à ce qui se passe dans le Nordeste (Leprun, 1983b).

c) *Les roches* des deux régions sont très semblables. Ce sont d'un côté les formations cristallines de la même vieille plateforme précambrienne constituées de migmatites, de granites et de roches basiques, plateforme qui s'est séparée en deux lors de la formation des deux continents au cours de l'ère secondaire, de l'autre les roches sédimentaires d'âge secondaire et tertiaire (grés, schistes, calcaires). Cependant, alors que les roches cristallines dominent dans le Nordeste, les formations sédimentaires couvrent l'essentiel du Sahel ouest-africain. De plus, alors que le socle africain est resté tectoniquement stable, le bouclier nordestin n'a cessé de s'élever depuis le secondaire.

d) *Le relief* de la région brésilienne est ondulé, présente de nombreux affleurements et inselbergs sur le socle cristallin et des "chapadas" ou plateaux gréseux en zone sédimentaire, il ne possède pas de recouvrements sableux meubles, l'écoulement est toujours assuré. Le relief du Sahel est

plat, cuirassé, sans affleurements. Situé sur les marges septentrionales du Sahara, le Sahel a un modelé qui s'est constitué essentiellement à partir d'une couverture sableuse ou sablo-argileuse plus ou moins épaisse, l'écoulement est souvent endoréique.

e) *Les sols* du Nordeste se sont constitués à partir des roches du socle très peu altérées. Ils sont peu épais, très riches en minéraux altérables, à complexe absorbant riche ou saturé, à faible présence en kaolinite.

Les sols sahéliens se sont développés soit aux dépens d'un épais manteau d'altération kaolinique ancien constitué de vieilles ferrallites sablo-argileuses et de cuirasses et carapaces ferrugineuses plus ou moins démantelées, soit sur une couverture de sables éoliens. Ces derniers dominent au Nord du 14° de latitude nord, les premiers sont majoritaires vers le Sud. Ce sont dans les deux cas des sols épais, pauvres chimiquement, à minéraux altérables rares ou absents, riches en kaolinite. Du point de vue des propriétés physiques les sols du Nordeste sont plus perméables, ont une meilleure structure que leurs homologues du Sahel. Leur meilleure stabilité structurale se manifeste par une absence quasi-totale de croûtes et pellicules de battance alors que ce phénomène est la règle dans le Sahel.

f) *Les eaux* : les caractères hydrodynamiques des sols des deux régions sont également très différents. Alors que les coefficients de ruissellement des bassins versants du Nordeste semi-aride atteignent à peine 5 % de la pluviométrie, ceux du Sahel dépassent 25 %. Sous pluies simulées, sur des sols bruns eutrophes très semblables à Oursi (Burkina Faso) et Sumé (Paraiba) et dans des conditions expérimentales comparables (pente, hauteur et intensité des pluies), sur parcelles de 1 m², la hauteur des pluies d'imbibition, celles qui correspondent à la quantité d'eau infiltrée avant le premier ruissellement, est 8 fois plus élevée dans le Nordeste. Le taux de ruissellement après la première pluie de 1 heure à 60 mm/h aussi bien en sol nu que sous végétation naturelle est de 30 % dans le Sahel alors qu'il est nul dans le Nordeste (Chevalier, 1982; Molinier *et al.*, 1989).

Les eaux d'infiltration du Nordeste se chargent dès le premier mètre de sol traversé et de manière considérable (100 fois les taux de Na et Cl, 10 à 20 fois ceux de Ca, Mg et CO₃H des eaux de pluies), les mêmes eaux d'infiltration africaines restent peu chargées (Leprun, 1989a). La composition moyenne des eaux de rivière reflète ces différences : pour le Nordeste, Ca de 23,8, Mg de 19,2, Na de 79,7, Cl de 157, 5 mg/l contre respectivement 7,3, 3,9, 3,1 et 1,4 mg/l pour les rivières du Sahel (Leprun, 1985).

g) *La végétation* : c'est, avec les sols, le facteur écologique qui présente le plus de différence lorsqu'on compare les deux régions entre elles. L'extension de la couverture arborée et arbustive qui ne représente que 5,3 % de la superficie du Sahel ouest-africain, atteint 90 % pour la zone semi-aride de trois états nordestins. Dans le Nordeste on a affaire à une formation connue sous le nom de "caatinga" qui est un bush, voire une véritable forêt basse et sèche *continue* de 2 à 5 m de hauteur, à strate graminéenne rare et à espèces ligneuses où dominent les légumineuses, à pouvoir de régénération élevé. Les formations représentatives du Sahel sont la savane arborée et arbustive *ouverte*, à nombreuses espèces soudaniennes, à strate graminéenne steppique dominante ponctuée de ligneux parmi lesquels quelques légumineuses, et les "brousses tigrées" *contractées*, qui constituent une part importante de la couverture végétale de l'Ouest africain sec entre 14 et 16 ° de latitude nord. Sur photographies aériennes les brousses tigrées apparaissent constituées de bandes boisées sombres qui alternent parallèlement avec des bandes dénudées claires évoquant le pelage d'un tigre. La structure transversale de ces bandes met toujours en évidence une partie haute herbeuse qui correspond à une microdune sableuse, une partie médiane nue qui correspond à un glacis sablo-argileux à argilo-sableux encroûté et une partie basse densément boisée qui correspond à une collature argilo à limono-sableuse (Leprun, 1983). Les formations de "brousse tigrée" ne sont pas présentes dans le Nordeste brésilien alors qu'elles se développent dans la région aride mexicaine (Cornet *et al.*, 1987).

h) *Le facteur humain* : les deux régions sont essentiellement rurales et ont une même densité moyenne de 16 habitants au km², mais présentent des composantes socio-économiques et des pratiques culturelles très différentes. Dans le Sahel l'agriculture et l'élevage sont pratiqués de manière primitive et extensive depuis plus de 2000 ans, la pratique du brûlis annuel avant culture et celle de la monoculture sont généralisées. Le bois est la seule source d'énergie utilisée. La physionomie actuelle des paysages sahéliens accuse l'impact de ces pratiques, de l'accroissement démographique et de ses corollaires, diminution des jachères, intensité de la coupe des ligneux et surpâturage.

Dans le Nordeste du Brésil les activités agricoles sont peu intenses et ont moins de 400 ans. L'agriculture et l'élevage ne sont pas itinérants et s'associent au niveau de propriétés privées protégées. Pratiquées à la main ou à l'aide de la traction animale légère, les cultures associent haricot, maïs, coton, agave. Le brûlis est rare et limité. Le charbon de bois, bien que produit sur place, n'est pas utilisé à la cuisine de tous les jours. L'accroissement démographique est largement réduit par l'exode rural.

Similitudes et particularités des facteurs de l'écologie Conséquences sur le fonctionnement des écosystèmes

Les similitudes et les différences de facteurs influant sur l'écologie des deux régions sont consignées dans le tableau suivant :

| Facteur | Nordeste brésilien | Sahel Ouest Africain |
|------------------------|---|---|
| Situation géographique | continentalité peu accentuée au sud de l'Amazonie | continentalité accentuée au sud du Sahara |
| Climat | moins contrasté et chaud, air plus humide | plus contrasté et chaud, air plus sec, pluies plus érosives |
| Roches | crystallines dominantes, très peu altérées | sédimentaires dominantes, très altérées |
| Tectonique | active (surrection) | stable |
| Relief | ondulé, à affleurements, non dunaire, exoreïque | plat, sans affleurements, cuirassé, dunaire, endoreïque |
| Sols | plus argileux, peu épais, riches, perméables, non encroûtés | sableux, épais, kaoliniques, désaturés, encroûtés |
| Eaux | minéralisées | peu minéralisées |
| Ruissellement | faible | fort |
| Végétation | forêt basse continue ligneuse, régénération forte | savane ouverte graminéenne, brousses contractées fragiles |
| Activités humaines | récentes, cultures et élevage fixés | anciennes, brûlis annuel, cultures itinérantes, surpâturage |

Les conséquences sur le fonctionnement des écosystèmes sont les suivantes :

L'écosystème "caatinga", caractéristique du Nordeste semi-aride (pluviométrie entre 250 et 800 mm/an) peut être considéré comme en équilibre avec les conditions du milieu ou climacique. Les propriétés physiques favorables des sols déterminées par une texture franche, une bonne stabilité structurale due à cette texture, à des teneurs en matière organique moyennes supérieures à 2 %, à un complexe absorbant bien pourvu en cations Ca et Mg, permettent une bonne infiltration de l'eau.

L'humidité du sol se conserve longtemps en raison : a) du pouvoir évaporant moindre de l'air, b) de la densité et de la continuité du couvert végétal qui s'assèche mais continue de couvrir le sol en saison sèche, c) des quelques pluies qui peuvent tomber pendant cette saison sèche, d) de la présence de certains horizons, comme les horizons vertiqués qui laissent pénétrer l'eau dans l'arène sous-jacente, puis, en se gonflant, l'empêchent de s'évaporer (Molinier *et al.*, 1989). Cette humidité, la cohésion moyenne des sols et leur richesse chimique facilitent la pénétration des racines et confèrent aux plantes de la "caatinga" une facilité à reverdir après les premières pluies et un pouvoir de régénération remarquable. Certains arbres de port élevé comme le Juazeiro restent verts toute l'année car puisent dans les horizons aréniques profonds des sols.

Entièrement coupée, une "caatinga" primaire reconstitue rapidement une autre "caatinga" qui ne se distingue de la première que par l'absence de certaines espèces. Les essais de mise en valeur observés permettent d'avancer que l'écosystème "caatinga" est stable et ne passe à un agrosystème de manière permanente qu'après une profonde dégradation des qualités physiques des sols qui ne survient qu'après des années de cultures successives, en particulier lorsque ces cultures sont mécanisées. Des cultures abandonnées après 4 ou 5 ans retournent à une jachère qui va se transformer en "caatinga" monospécifique puis, lentement, à une "caatinga" secondaire dont la taille dépendra essentiellement de la qualité des sols.

Le fonctionnement de l'écosystème "brousse tigrée" sahélien (Fig. 2) a été étudié par ailleurs (Leprun, 1989b).

La formation, la persistance et l'évolution de ces formations sont soumises à plusieurs facteurs : a) une pluviométrie annuelle supérieure à 200 et inférieure à 500 mm, b) la nature sédimentaire du substrat et la pente du plancher de ce substrat qui doit être inférieure à 4 %, c) à une épaisseur du sol inférieure à 1 m., d) à une direction NE des vents dominants de saison sèche, e) à un endoréisme local et régional strict.

L'ensemble de la formation est contrôlé par une dynamique latérale rapide (quelques décimètres par an) : les eaux de pluie érodent la surface du glacis nu et dépose le matériel arraché dans la collature, ce matériel sableux est repris par le vent et va former la microdune qui est colonisée par la strate herbue annuelle mais qui sera déplacée durant la saison sèche. Ce déplacement dans le sens du vent anime toutes les bandes, y compris la bande boisée qui va suivre les déplacements successifs de la collature humide vers le glacis et la microdune. Issue de l'action combinée de l'érosion hydrique et éolienne la "brousse tigrée" sahélienne constitue un écosystème fragile face aux aléas climatiques. Modifiées par l'homme et en particulier soumises à la pâture et à la machette des éleveurs, ces

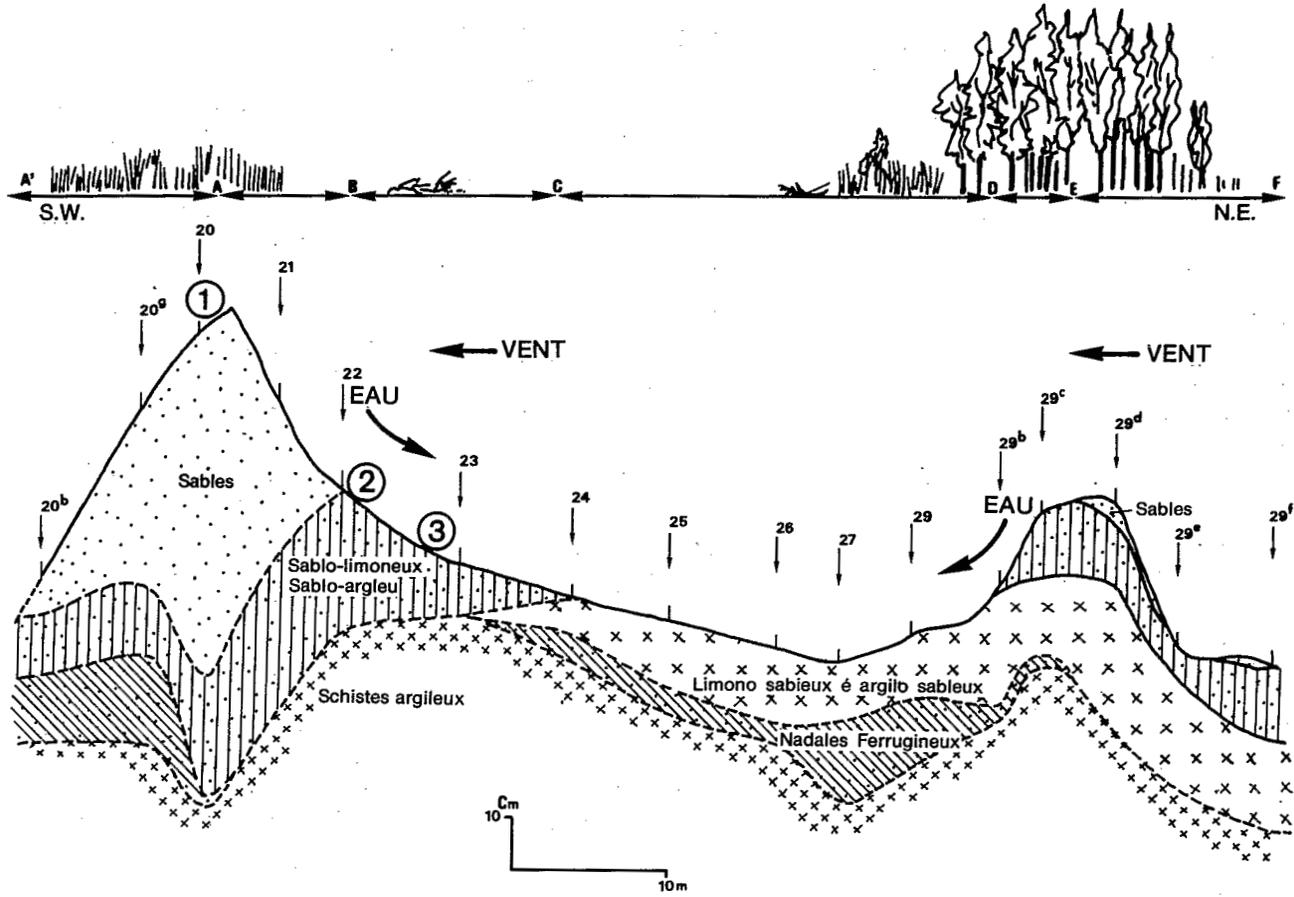


Fig. 2. Chaîne de sols d'une "Brousse tigrée" (COSII, Mali).

formations, en particulier les plus septentrionales, peuvent disparaître rapidement. Celles situées plus au sud subsistent quelques années aux dégradations dues au surpâturage, mais une ou plusieurs années de sécheresse leur sont généralement alors fatales. Une "brousse tigrée" coupée et défrichée pour une mise en valeur agricole quelconque ne se reconstitue pas.

Conclusions

Les deux écosystèmes semi-arides considérés ici sont très différents. L'écosystème "caatinga" brésilien constitué d'une formation végétale continue, non contractée, est, grâce aux éléments favorables du milieu un écosystème fermé, adapté, stable, en équilibre, reconstituable, relativement résistant, qui évolue sur place.

La biocoenose "brousse tigrée" sahélienne, dont la structure contractée de la végétation est issue et obéit à une dynamique latérale, constitue un écosystème ouvert, en déséquilibre avec les conditions actuelles du milieu et donc très fragile vis-à-vis des agressions climatiques et humaines. Elle représente une niche écologique humide subsistant dans des régions plus sèches au nord de son aire.

Bibliographie

- Chevalier, P.**, 1982. Simulation de pluie sur deux bassins versants sahéliens (Mare d'Oursi-Haute-Volta). *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, 9 (4), 253-297.
- Cornet, A., J.P. Delhoume et C. Montaña**, 1987. Vegetation patterns and soils in Mapimi Bolson (Chihuahuan Desert, Mexico). I-Vegetation arcs. Contributed papers of the Second symposium on resources of the Chihuahuan desert region, Alpine, Texas, 20-23 oct. 1983, series of the C.D.R.1,13, 18 p.
- Janke, B.** 1876. Zum problem der Vegetationsstreifen (Brousse tigrée) im demiariden Afri. Geologische Untersuchungen in West-Niger. *Die Erde*, 107, pp. 31-46.
- Leprun, J.C.** 1983. Sols et relations sol-végétation. In: rapp. DGRST. Etude des potentialités pastorales et de leur évolution en milieu sahélien au Mali. DGRST éd. Paris. 114 p.
- Leprun, J.C.** 1981. A erosão, a conservação e o manejo do solo no Nordeste brasileiro. Balaço, diagnóstico e novas linhas de pesquisas. *Sudene, sér. Recursos de solos*, 15, Recife, 107 p.
- Leprun, J.C.** 1985. La conservation des sols dans le Nord-est brésilien. Particularités, bilan et perspectives. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 21 (4), 39-66.

- Leprun, J.C.** 1989a. Analogies et particularités des sols et des eaux de deux régions semi-arides, le Sahel de l'Afrique de l'Ouest et le Nord-est brésilien. *In* : L'aridité : une contrainte au développement, caractérisation-réponses biologiques-stratégies des sociétés. Ouvrage de synthèse RZA-CNRS (sous presse).
- Leprun, J.C.** 1989b. Etude de quelques "brousses tigrées" sahéliennes: structure, dynamique, écologie. *In*: L'aridité : une contrainte au développement, caractérisation-réponses biologiques-stratégies des sociétés. Ouvrage de synthèse RZA-CNRS (sous presse).
- Molinier, M., P. Audry, J. Ch. Desconnets et J.C. Leprun** 1989. Dynamique de l'eau et des matières dans un écosystème représentatif du Nordeste brésilien. Conditions d'extrapolation spatiale à l'échelle régionale. Rapport final. ATP-PIREN-ORSTOM, Recife, 25 p, annexes 56 p.