

François Bétard

Montagnes humides au cœur du Nordeste brésilien semi-aride : « montagnes-refuges » et châteaux d'eau

Avertissement

Le contenu de ce site relève de la législation française sur la propriété intellectuelle et est la propriété exclusive de l'éditeur.

Les œuvres figurant sur ce site peuvent être consultées et reproduites sur un support papier ou numérique sous réserve qu'elles soient strictement réservées à un usage soit personnel, soit scientifique ou pédagogique excluant toute exploitation commerciale. La reproduction devra obligatoirement mentionner l'éditeur, le nom de la revue, l'auteur et la référence du document.

Toute autre reproduction est interdite sauf accord préalable de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France.



Revues.org est un portail de revues en sciences humaines et sociales développé par le CLEO, Centre pour l'édition électronique ouverte (CNRS, EHESS, UP, UAPV).

Référence électronique

François Bétard, « Montagnes humides au cœur du Nordeste brésilien semi-aride : « montagnes-refuges » et châteaux d'eau », *Norois* [En ligne], 207 | 2008/2, mis en ligne le : 01 juin 2010, URL : <http://norois.revues.org/index1479.html>.

DOI : en cours d'attribution

Éditeur : Presses universitaires de Rennes

<http://norois.revues.org>

<http://www.revues.org>

Document accessible en ligne à l'adresse suivante : <http://norois.revues.org/index1479.html>

Ce document est le fac-similé de l'édition papier.

Cet article a été téléchargé sur le portail Cairn (<http://www.cairn.info>).



Distribution électronique Cairn pour Presses universitaires de Rennes et pour Revues.org (Centre pour l'édition électronique ouverte)

© Tous droits réservés

MONTAGNES HUMIDES AU CŒUR DU NORDESTE BRÉSILIEN SEMI-ARIDE : « MONTAGNES-REFUGES » ET CHÂTEAUX D'EAU

FRANÇOIS BÉTARD

LABORATOIRE DE GÉOGRAPHIE PHYSIQUE – UMR 8591 CNRS
(Université de Paris-Sorbonne – Paris IV),
1, place Aristide-Briand – 92 190 MEUDON
francois.betard@paris-sorbonne.fr

RÉSUMÉ

Hautes terres et montagnes humides jouent un rôle important et structurant dans la toile de fond semi-aride qui caractérise le Nordeste brésilien, tant du point de vue écologique, par leur fonction de refuge pour de nombreuses espèces, que du point de vue socio-culturel, en servant aussi d'abri aux populations humaines du Sertão. Grâce à des conditions hydroclimatiques bien meilleures que celles des plaines semi-arides environnantes, ces montagnes humides ont une importance capitale, en particulier sur le plan agricole, à l'origine de concentrations démographiques relativement élevées (80 à 100 hab./km²) par comparaison avec les basses terres semi-arides du Sertão (10 à 30 hab./km²). Toutefois, le potentiel agroclimatique des montagnes humides du Nordeste paraît sous-exploité, surtout si on les compare à d'autres montagnes tropicales d'Afrique ou d'Asie, où collines convexes et réseaux de bas-fonds sont intensément cultivés. Certaines contraintes liées à la structure sociale et foncière sont en mesure d'expliquer la faible intensification de l'exploitation agricole de ces hautes terres. Cependant, des dégradations accélérées des sols commencent à prendre de l'ampleur dans les zones périphériques et socialement marginales de ces massifs montagneux, en relation avec une mise en culture débridée et anarchique sur les versants en pente forte.

MOTS CLÉ : Montagne tropicale – Tropiques semi-arides – gestion des ressources – Brésil.

ABSTRACT

Humid mountains across the semiarid Brazilian Northeast: places of refuge and water reservoirs

Uplands and humid mountains play an important and structuring role in the semiarid backdrop which characterizes Northeastern Brazil, both from an environmental viewpoint, by their function as refuges for many species, as a socio-cultural viewpoint, by serving as shelters for human populations of the outback (Sertão). With hydro-climatic conditions so far better than those of the surrounding semiarid plains, these humid mountains are of the utmost importance, particularly in terms of agricultural productivity, responsible for relatively high demographic concentrations (80 to 100 inhab./km²) in comparison with the sparsely inhabited lowlands of the semiarid Sertão (10 to 30 inhab./km²). However, the agricultural potential of the humid mountains seems to be underused, particularly when compared to other equivalent tropical mountains of Africa or Asia, where convex hills and flat valley floors are intensively cultivated. Some constraints related to social structure and

land systems are able to explain the low intensification of agricultural practices on these uplands. Moreover, accelerated soil degradation is beginning to gain in space in the marginal areas of these mountains, in connection with an unbridled and anarchic agriculture practiced on steep slopes.

KEY WORDS : tropical mountain – semiarid Tropics – resource management – Brazil.

Dénommées *Serras úmidas* dans l'État du Ceará ou *Brejos* dans les États voisins du Rio Grande do Norte, de la Paraíba et du Pernambuco (fig. 1), les montagnes humides du Nordeste brésilien constituent des aires d'exception climatique dans le contexte de la semi-aridité qui caractérise cette

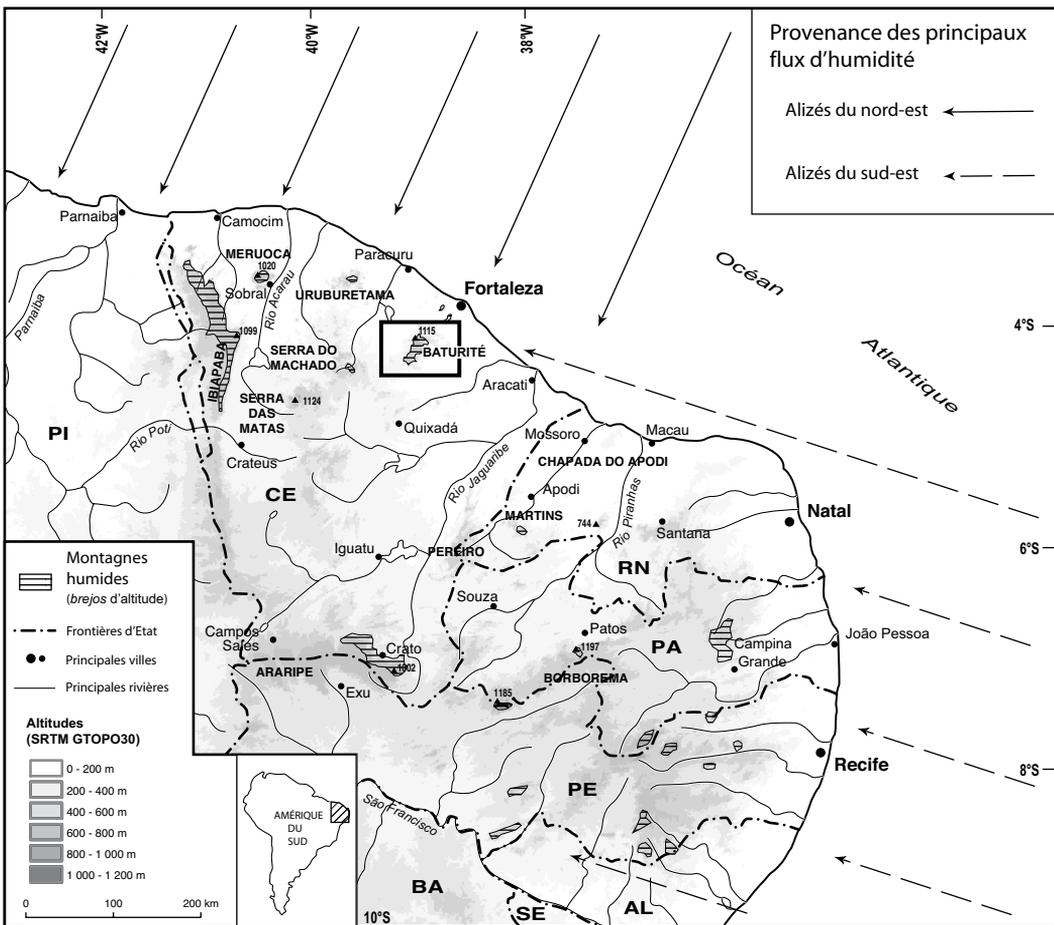


Figure 1 : Répartition des montagnes humides (ou *Brejos* d'altitude) du Nordeste brésilien et relations avec les principaux flux atmosphériques d'humidité
AL : Alagoas; BA : Bahia; CE : Ceará; PA : Paraíba; PE, Pernambuco; RN : Rio Grande do Norte; SE : Sergipe.
Le rectangle représente la zone détaillée dans la figure 2.

Location map of humid mountains (or 'Brejos de altitude') in Northeast Brazil and spatial relationships with the main atmospheric fluxes
AL: Alagoas; BA: Bahia; CE: Ceará; PA: Paraíba; PE, Pernambuco; RN: Rio Grande do Norte; SE: Sergipe.
Rectangle outlines the area relevant to figure 2.

partie du Brésil, surtout connue pour ses sécheresses catastrophiques (Tabarelli et Santos, 2004 ; Souza et Oliveira, 2006 ; Bétard *et al.*, 2007). À l'origine, le terme vernaculaire *Brejo* était utilisé pour désigner les vallées suspendues à fond plat rencontrées au sommet de certaines montagnes humides et propices à l'agriculture (Ab'Saber, 1999). Ce n'est qu'*a posteriori* que le terme a pris un sens plus général pour désigner les montagnes humides dans leur totalité, à sols rouges profonds et à précipitations nettement supérieures à celles des basses terres périphériques marquées par la semi-aridité.

Sans entrer profondément dans des débats de terminologie, l'expression « montagne humide » est celle qui s'accorde le mieux pour désigner ces *Brejos* : « montagne » de par leur altitude (600-1 200 m), leurs versants déclives et leur étendue suffisamment grande (plusieurs dizaines de kilomètres carrés au moins) ; « humide » de par l'ambiance climatique qui les caractérise, avec des totaux de précipitations élevés (1 200-2 000 mm.an⁻¹), une humidité de l'air qui se traduit par des brouillards fréquents et une forêt dense ombrophile. Au total, il s'agit de montagnes isolées d'altitudes moyennes ou basses, à lambeaux de surfaces d'érosion conservés sur les interfluves et à versants fortement inclinés (photo 1 – **planche V**). En faisant barrière aux alizés chargés d'humidité qui viennent de l'Atlantique (fig. 1), ces obstacles montagneux favorisent le déclenchement de précipitations orographiques responsables d'une pluviométrie élevée et forment des îlots de forêt sempervirente (*mata atlântica*) au milieu des vastes superficies de forêt sèche et de fourrés à épineux (*caatinga*). Le substratum géologique de ces montagnes humides se partage entre les terrains cristallins comme ceux des massifs de Baturité, de Meruoca ou de Pereiro, et les terrains sédimentaires surtout gréseux comme ceux des *Chapadas* ou 'montagnes tabulaires' d'Araripe et d'Ibiapaba (fig. 1). Malgré ces différences lithologiques, les sols sont toujours profonds, acides et évolués, ce qui est un critère commun à l'ensemble des *Brejos* ou *Serras úmidas* du Nordeste (Ab'Saber, 1999 ; Bétard, 2007). En revanche, le modelé varie considérablement en fonction de la nature du sous-sol, multiconvexe ou convexo-concave sur les roches profondément altérées du socle, tabulaire sur les entablements gréseux sub-horizontaux des *Chapadas*.

Bien qu'elles ne représentent pas plus de 5 % de la superficie totale du *Sertão*, ces montagnes humides, au nombre d'une vingtaine (fig. 1), constituent un trait marquant des paysages, en échappant à la semi-aridité à laquelle est associée l'image d'un Nordeste dont la riche diversité est trop méconnue. Les conditions stationnelles liées au climat humide et frais d'altitude (20-22 °C de température moyenne annuelle) expliquent l'importance, tout aussi méconnue, de ces *Brejos* dans l'économie d'une région comme le Nordeste brésilien, en particulier sur le plan agricole.

L'article a deux objectifs principaux : (i) le premier est de décrire, analyser et comprendre l'importance géographique et le rôle structurant joués par les montagnes humides du Nordeste brésilien, qui font figure d'exceptions dans un contexte régional trop souvent réduit à ses milieux semi-arides ; (ii) le second est de montrer à la fois le potentiel, les contraintes et la vulnérabilité de ces îlots montagneux, et donc d'apporter un diagnostic nuancé sur la gestion des ressources suivant les particularités locales du milieu physique et des structures agraires. L'étude résulte d'une série de campagnes de terrain menées entre 2004 et 2006 autour des *Serras* de Baturité, Uruburetama, Meruoca, Ibiapaba, Araripe, Pereiro et Martins (fig. 1). Ces observations de terrain ont pu être étayées par des recherches bibliographiques rassemblant des publications dispersées, de langue portugaise pour une large part. Cette étude contribue ainsi à caractériser la montagne humide nordestine et à montrer comment celle-ci constitue une pièce maîtresse dans le développement actuel et durable d'une des régions les plus pauvres du Brésil.

Importance géographique des montagnes humides du Nordeste brésilien

L'importance géographique des montagnes humides dans le Nordeste du Brésil, largement méconnue jusqu'ici, peut être considérée à trois points de vue : (i) en tant que refuges écologiques pour des espèces animales et végétales rares et menacées, objets d'une prise de conscience récente qui mène progressivement à la création de zones de protection de la nature ; (ii) en tant que milieux

attractifs pour les populations humaines du *Sertão*, grâce à un climat, une disponibilité hydrique et une qualité de terroirs octroyant des conditions de vie nettement plus favorables aux habitants de ces montagnes; (iii) en tant que châteaux d'eau et pôles de sécurité alimentaire pour les plaines semi-arides environnantes, plus soumises aux aléas climatiques dictés par des sécheresses quasi-aléatoires qui compromettent trop souvent les rendements agricoles.

SUR LE PLAN ÉCOLOGIQUE, UNE FONCTION DE REFUGE POUR LES ESPÈCES

Les montagnes humides nordestines jouent incontestablement un rôle moteur et particulier dans la conservation de la biodiversité. Ce volet écologique, pointant l'importance des *Brejos* d'altitude dans la biodiversité régionale et mondiale, n'a été que récemment pris en considération par la communauté scientifique et les pouvoirs publics, ce qui indique que de nombreux efforts restent encore à faire pour répertorier, gérer et protéger au mieux ces 'montagnes-refuges'.

Il faut dire que la *mata atlântica* (forêt atlantique), qui occupe ces bastions montagneux, figure sur la liste des vingt-cinq points névralgiques ou 'points chauds' de la planète reconnus comme étant des priorités mondiales pour la maintien de la biodiversité (Tabarelli et Santos, 2004). Les écosystèmes forestiers montagnards ou sub-montagnards de ces régions ont donc une valeur exceptionnelle en matière de biodiversité et de conservation. En réalité, la diversité biologique des forêts humides d'altitude du Nordeste est peu connue et commence tout juste à attirer l'attention des scientifiques (Cavalcante, 2005). Fruit d'une longue histoire géomorphologique et paléoclimatique qui a conduit progressivement à leur isolement géographique (l'une des meilleures recettes pour la *spéciation* ou formation de nouvelles espèces), les montagnes humides nordestines abritent probablement l'une des biomasses parmi les plus diversifiées de la planète. D. Andrade-Lima (1982) a proposé de les considérer comme des « refuges forestiers actuels », en réponse aux vicissitudes climatiques, alternativement humides et sèches, qui ont affecté l'ère quaternaire, forçant les forêts humides à se réfugier sur ces hauteurs. En raison de cet isolement actuel, les enclaves de *mata atlântica* du Nordeste semi-aride sont caractérisées par un taux élevé d'endémisme et sont le refuge de plusieurs dizaines d'espèces d'arbres et de plantes aujourd'hui menacées d'extinction.

À côté d'une grande phytodiversité, la richesse faunistique apparaît tout aussi exceptionnelle dans le contexte écologique du Nordeste semi-aride et commence tout juste à être répertoriée par les biologistes (Cavalcante, 2005). Cette faune inclut notamment diverses variétés d'invertébrés, d'amphibiens et de reptiles rares ainsi qu'environ 180 espèces d'oiseaux dont 10 % sont endémiques à ces montagnes. Durant la longue saison sèche, les *Serras* humides fonctionnent comme de véritables refuges pour de nombreux animaux sauvages de la *caatinga* du domaine semi-aride, en particulier pour plusieurs dizaines d'espèces d'oiseaux parmi lesquelles la quasi-totalité des colibris (*beija-flores*). En abritant aussi un nombre élevé d'espèces de mammifères insectivores et carnivores, les montagnes humides sont sans conteste les milieux de plus grande richesse du monde sauvage animal du Nordeste semi-aride.

Malgré une prise de conscience récente par les pouvoirs publics brésiliens de l'importance écologique de ces montagnes humides, la dégradation de l'écosystème forestier des *Brejos* d'altitude est plus que préoccupante. Des années d'« extractivisme » végétal et animal, de culture de canne à sucre, de plantations de bananiers ou de caféiers et, plus récemment, de constructions de grandes résidences entourées de leurs jardins de plantes exotiques qui ont mordu sur la forêt, ont considérablement réduit la superficie de la couverture végétale originelle. De telles activités humaines ont abouti à une destruction et à une fragmentation des habitats pour la faune sauvage et à une baisse considérable et inquiétante de la phytodiversité. Actuellement, il resterait moins de 2 700 km² de la végétation originelle ou secondaire des *Brejos*, laquelle devait représenter une superficie minimum de 18 500 km² de forêts primaires sempervirentes et semi-décidues (Tabarelli et Santos, 2004). Ces chiffres alarmants font des montagnes humides nordestines les secteurs les plus menacés de toute la forêt atlantique brésilienne.

Pourtant, aujourd'hui encore, nombreuses sont les montagnes humides du Nordeste brésilien à échapper à la protection. Parmi les neuf enclaves de *mata atlântica* présentes dans l'État du Ceará, seules cinq d'entre elles sont protégées par la loi (fig. 1 ; tableau 1), incluant le massif de Baturité, le premier à être classé comme 'zone de protection environnementale' (APA : *Area de Proteção Ambiental*) en 1990 par le gouvernement de l'État du Ceará. Sur la totalité des *Brejos* d'altitude du Nordeste brésilien, c'est seulement environ 50 % de la forêt humide qui est couverte par un zonage de protection de la nature. Si le massif de Baturité est relativement préservé avec une forêt dense ombrophile, certes secondaire, qui couvre encore l'essentiel de la montagne, il est important de souligner que les bastions humides des *Serras das Matas*, de Machado et d'Uruburetama, tous trois situés dans l'État du Ceará, ont déjà perdu la quasi-totalité de leur forêt humide sous l'impact de la déforestation accélérée qui les affecte depuis deux ou trois décennies. Ceci peut être perçu comme un signal d'alarme inquiétant qui nécessite une multiplication des études scientifiques environnementales, notamment biogéographiques et morphopédologiques, comme celle qui a été menée récemment autour du massif de Baturité (Bétard, 2007), et leur extension à l'ensemble des montagnes humides nordestines. La situation actuelle d'utilisation des terres et d'occupation du sol de ces montagnes requiert une grande attention, que peuvent mettre en vedette les travaux scientifiques, et nécessite un accompagnement ostentatoire, gouvernemental et non-gouvernemental, pour aboutir à la conservation et la protection complète de ces enclaves montagneuses forestières dans un contexte actuel de déforestation accélérée (Cavalcante *et al.*, 2000).

Serra humide	Unité de conservation	Date de création	Superficie (ha)	Gestion
Araripe	Floresta Nacional do Araripe	2 juin 1946	38 262	Gouvernement fédéral
	APA da Chapada do Araripe	4 août 1997	1 063 000	Gouvernement fédéral
	Reserva particular do Arajara Park	29 février 1999	27	IBAMA et initiative privée
Ibiapaba	Parque Nacional de Uba-jara	30 avril 1959	6 288	Gouvernement fédéral
	APA da Serra da Ibiapaba	26 octobre 1996	1 592 550	Gouvernement fédéral
	APA da Bica do Ipu	26 janvier 1999	3 485	Gouvernement de l'État (Ceará)
Baturité	APA da Serra de Baturité	18 septembre 1990	32 690	Gouvernement de l'État (Ceará)
	Reserva Particular do Sítio Olho d'Água	17 octobre 2000	383	SEMACE et initiative privée
Aratanha	APA da Serra da Aratanha	5 juin 1998	6 448	Gouvernement de l'État (Ceará)
	Reserva Particular do Monte Alegre	9 septembre 2002	263	IBAMA et initiative privée
Maranguape	APA da Serra de Maranguape	8 juillet 1993	À partir de la cote 100 m	Préfecture du município

Tableau 1 : Zonage de protection environnementale des montagnes humides dans l'État du Ceará
Sur neuf enclaves montagneuses humides couvertes de *mata atlântica*, cinq seulement sont protégées par une législation environnementale. APA : Area de Proteção Ambiental (Source : Semace, 2004).

Environmental protection zoning of humid mountains in the State of Ceará

On nine humid enclaves covered by 'mata atlântica', only five are protected by an environmental legislation. APA: Area de Proteção Ambiental.

Refuges écologiques pour de nombreuses espèces du monde vivant animal et végétal, les *Brejos* d'altitude constituent aussi des aires d'abri pour les populations pauvres du *Sertão* semi-aride où les conditions de vie sont nettement plus difficiles.

SUR LE PLAN SOCIO-CULTUREL, UNE FONCTION D'ABRI POUR LES POPULATIONS HUMAINES

Par comparaison avec les conditions hydroclimatiques des régions semi-arides environnantes ($P < 900 \text{ mm.an}^{-1}$) où un déficit hydrique sévère est de règle durant la majeure partie de l'année (saison sèche édaphique comprise entre 7 et 10 mois), les *Brejos* d'altitude affichent des conditions nettement plus favorables quant à la pluviosité, à l'humidité de l'air et du sol, à la température ou à la couverture végétale. Ces conditions physiques privilégiées expliquent les densités de population relativement élevées de ces régions montagneuses (80 à 100 hab./km² : Ipece, 2006) qui contrastent avec celles des piémonts semi-arides (10 à 30 hab./km²). Les bastions montagneux humides du Nordeste semi-aride sont donc aussi des bastions démographiques. Au cours de l'histoire, le *Sertanejo*, c'est-à-dire le paysan du *Sertão*, a progressivement investi la montagne pour chercher des terroirs et un climat plus favorables face à la semi-aridité ambiante. Le flux migratoire *Sertão-Serra* a commencé et s'est amplifié lors des grandes sécheresses qui ont affecté le Nordeste. Outre la présence ancienne de tribus indiennes *tupis* qui formaient des peuplements réduits et éparpillés dans la forêt primaire, l'occupation de ces montagnes n'a réellement débuté qu'au XVIII^e siècle quand, après l'expulsion des colons hollandais, la couronne portugaise encouragea le processus d'occupation définitive des terres intérieures (Sales *et al.*, 2004).

Grâce à un climat plus favorable et à l'abondance des ressources hydriques, le massif de Baturité servit ainsi d'abri pour les populations *sertanejas* en provenance de villes comme Canindé ou Quixadá, qui vinrent s'y abriter durant les grandes sécheresses de la fin du XVIII^e siècle (1777-1778 et 1790-1793). L'occupation du massif de Baturité sous l'impulsion des migrations occasionnées lors des grandes *secas* fut aussi une occupation missionnaire (missions indigènes), comme en témoignent les nombreux monuments religieux et monastères présents sur ces hauteurs. Cette particularité dans l'histoire de l'occupation du massif explique les différences de densité de population et de structure foncière, dominée ici par les *minifúndios* (< 10 ha), contrairement à la plaine semi-aride où les villages sont beaucoup plus dispersés et où le mode d'occupation du sol et d'utilisation des terres est dominé par les grandes exploitations agricoles ou *latifúndios*. Au début du XIX^e siècle, le massif de Baturité vit l'introduction de la culture du café puis de la canne à sucre qui consolidèrent le processus d'occupation humaine (Lima, 1989 ; Sales *et al.*, 2004 ; Lima, 2005). L'architecture coloniale de nombreuses habitations du massif reflète l'économie florissante de cette période.

Finalement, l'occupation progressive de l'espace est révélatrice des propriétés du milieu physique. Dans la partie sommitale du massif de Baturité à modelé multiconvexe, les précipitations plus abondantes ($> 1\,300 \text{ mm.an}^{-1}$: fig. 2) et l'évapotranspiration moins importante, en raison de températures plus faibles et d'une saison sèche qui dure moins longtemps (<4 mois), font de cette zone humide un milieu favorable à l'agriculture et au captage de l'eau, ce qui a permis de fixer précocement et durablement les populations. L'accumulation de la population et sa croissance au sommet du massif de Baturité ont créé une pression foncière de plus en plus forte responsable de la multiplication des petites exploitations ou *minifúndios*. L'existence d'une structure foncière à petites mailles et l'explosion démographique du XX^e siècle font que les collines convexes et les bas-fonds plats de la zone sommitale à climat humide sont rapidement accaparés et partagés, puis partiellement mis en culture. Les populations pauvres issues de flux migratoires ultérieurs en provenance du *Sertão* ont ensuite dû chercher de nouveaux espaces et se sont alors dirigées vers les terres marginales, c'est-à-dire les hautes pentes des zones de dissection périphérique et les escarpements bordiers, moins favorables en raison des fortes déclivités et d'un climat à la fois plus chaud et moins humide. Les paysages multiconvexes forestiers de la partie sommitale ont donc enregistré l'histoire la plus longue et les traces les plus précoces d'occupation humaine du

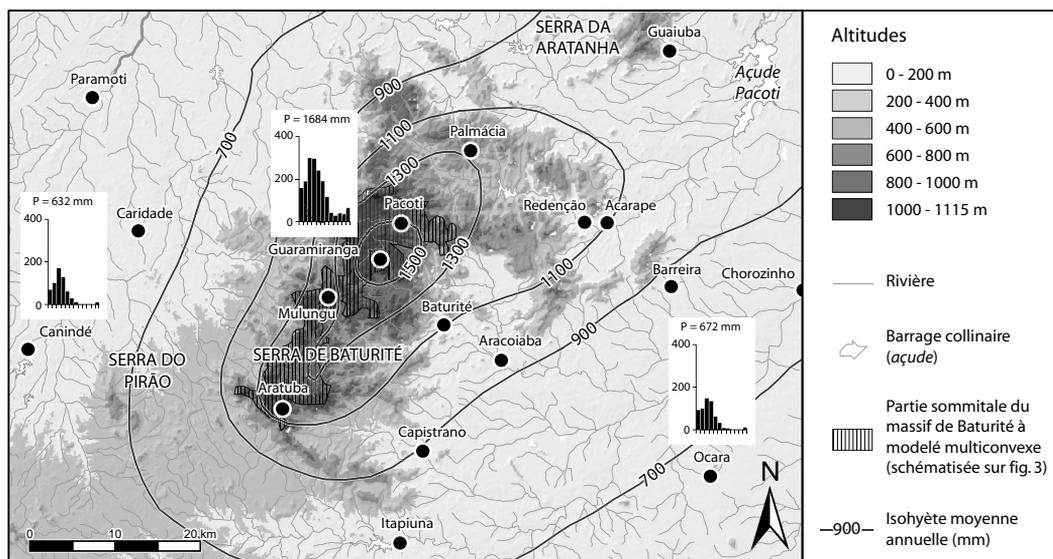


Figure 2 : Le massif de Baturité et son piémont semi-aride : topographie (dérivée du modèle numérique de terrain SRTM 90), pluviosité moyenne annuelle et diagrammes pluviométriques pour trois stations (d'après les données mensuelles de la FUNCEME) (La zone hachurée est schématisée sur la figure 3)

The Baturité massif and its semiarid piedmont: topography (derived from SRTM 90-m digital elevation data base), mean annual rainfall and climatic diagrams for three stations (after FUNCEME, monthly data) (Hatched area is schematised in figure 3)

massif de Baturité, tandis que la zone périphérique de dissection profonde correspond aux formes de conquête les plus récentes de l'espace.

La répartition et la sélection des terroirs sont donc en rapport direct avec les étapes successives de l'occupation de l'espace, elle-même guidée par des facteurs avant tout physiques. Contrairement au modelé multiconvexe du *Malnad* humide du Sud de l'Inde (Gunnell, 1999), la colonisation agraire des demi-oranges a précédé celle des bas-fonds plats avec l'introduction de la culture du café vers 1824 dans la partie sommitale du massif de Baturité (Lima, 1989). Les caféiers occupent plutôt les parties supérieures des collines convexes, les mieux égouttées, ce qui est par contre une caractéristique commune avec l'Inde (photo 2 – **planche V**; fig. 3). L'arrivée de la culture de la canne à sucre quelques années après le café a vu la mise à profit partielle des bas-fonds plats caractérisés par une hydromorphie quasi-permanente. Finalement, les bas de versants de collines convexes, où l'humidité du sol est intermédiaire entre sommet d'interfluve et bas-fond grâce aux suintements permanents des nappes phréatiques, ont été les derniers à être mis en valeur avec les plantations de bananiers qui ont connu un développement fulgurant au cours du XX^e siècle (Lima, 2005). C'est aussi durant le siècle dernier que la colonisation agraire des terres marginales a principalement eu lieu, où les bananeraies encore très présentes sont associées à diverses cultures vivrières (maïs, riz, haricot, manioc), de subsistance pour la plupart, aménagées à flanc de montagne et sur des pentes souvent extrêmement fortes, défiant parfois les lois de la pesanteur (photo 3 – **planche VI**).

À côté des conditions hydroclimatiques, le modelé a donc joué un rôle important dans le processus de territorialisation du massif de Baturité, comme de la plupart des montagnes humides du Nordeste brésilien. La colonisation agraire de ces montagnes reste néanmoins indissociable de leur fonction historique de refuge pour les populations pauvres du *Sertão*, lassées par les fortes sécheresses qui compromettent trop souvent les rendements agricoles, voire l'ensemble des récoltes.

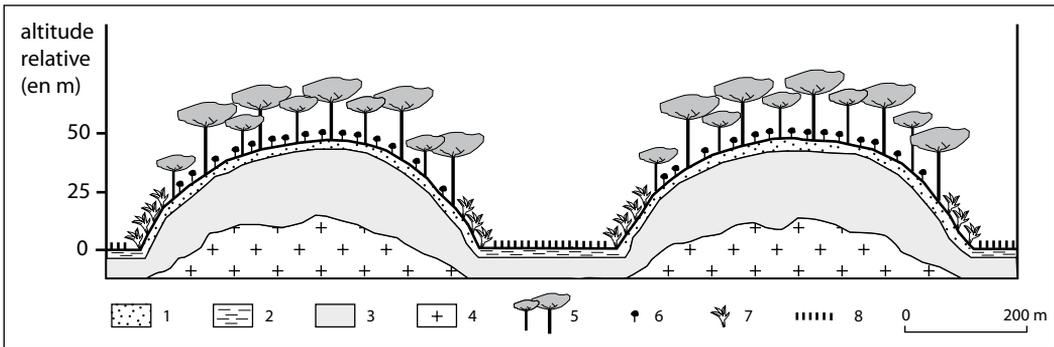


Figure 3 : Modelé multiconvexe forestier et terroirs dans la partie sommitale du massif de Baturité

1 : sol rouge-jaune profond (*Acrisol*) sur altérite en place ou remaniée; 2 : sol jeune (*Fluvisol*) sur formations colluvio-alluviales; 3 : manteau d'altération; 4 : roche saine (gneiss); 5 : forêt sempervirente (*'mata atlântica'*); 6 : caféier; 7 : bananier; 8 : cultures maraichères.

Typical landscape and land system units in the 'meia laranja' summit areas of the Baturité massif
 1: *in situ* or disturbed red-yellow soil (*Acrisol*); 2: poorly evolved soil (*Fluvisol*) on colluvio-alluvial formations; 3: weathering mantle; 4: gneissic bedrock; 5: evergreen forest (*'mata atlântica'*); 6: coffee; 7: banana; 8: vegetable crops.

Aujourd'hui, le tourisme ravive à sa façon la fonction refuge de la montagne humide nordestine. Ainsi, le massif de Baturité constitue non seulement une aire attractive pour les populations rurales *sertanejas* qui souffrent de la sécheresse, mais aussi pour les populations urbaines de Fortaleza qui bénéficient là des conditions climatiques stationnelles plus clémentes de la *Serra*, particulièrement lors des mois les plus chauds de l'année ($>27^{\circ}\text{C}$ de septembre à janvier). Le développement important du tourisme de montagne depuis une ou deux décennies, aisément justifié par la beauté des paysages et par l'intérêt porté aux ressources naturelles, crée des rentrées économiques et des emplois liés à l'hôtellerie, à la restauration ou à l'artisanat. Ce développement touristique participe alors, avec la production locale de vivres, à la sécurité alimentaire des populations de ces zones de montagne.

SUR LE PLAN ÉCONOMIQUE, UNE FONCTION DE CHÂTEAU D'EAU ET DE SÉCURITÉ ALIMENTAIRE POUR LA PLAINE SEMI-ARIDE ENVIRONNANTE

Les ressources hydriques et les potentialités de terroirs des montagnes humides nordestines, notamment celles du massif de Baturité, traduisent leur grande importance agricole dans l'économie d'un État comme celui du Ceará, dont la superficie correspond à 90 % au domaine semi-aride. De fait, leur fonction de sécurité alimentaire dépasse largement celle des populations montagnardes en s'étendant aux plaines semi-arides environnantes. Cette sécurité alimentaire offerte par les montagnes humides aux populations rurales et urbaines du domaine semi-aride est assurée : (i) d'une part, par le rôle de château d'eau joué par ces montagnes qui captent les pluies et donnent source à de nombreuses rivières, dont le débit vers l'aval est essentiel pour l'alimentation en eau des agglomérations urbaines et pour la survie des populations pauvres et des troupeaux de la zone semi-aride; (ii) d'autre part, par la production végétale de la montagne qui assure une bonne partie des besoins alimentaires des populations urbaines et rurales de la plaine (café, bananes, céréales, légumes, etc.)

Grâce à de nombreuses sources alimentant les bassins-versants de plusieurs fleuves côtiers importants (Rio Choró, Rio Curú, entre autres), l'eau acheminée par les cours d'eau depuis la montagne est essentielle au maintien des communautés rurales vivant sur le piémont à climat semi-aride. L'élevage et le pastoralisme, constitutifs de l'image de la plaine semi-aride du *Sertão* (Le Houérou, 2006; Caron, 2006), ne font pas partie des pratiques traditionnelles de

l'agriculture des zones de montagne humide, contrairement à ce que l'on observe dans la plupart des bastions montagneux humides d'Afrique. Par conséquent, l'alimentation en eau pour le bétail et la viabilité des cheptels de la plaine semi-aride sont étroitement dépendantes des débits alimentés par les cours supérieurs des rivières situés dans la montagne, en grande partie à l'origine du remplissage des petits barrages collinaires ou *açudes* où viennent s'abreuver les troupeaux de la zone sèche.

Toujours dans cette même perspective d'alimentation en eau, la localisation du massif de Baturité, situé à une centaine de kilomètres au sud de la capitale de l'État du Ceará (fig. 1), est un bon exemple de son importance pour l'approvisionnement en eau propre de la région métropolitaine de Fortaleza, en alimentant par ses eaux plusieurs grands barrages comme l'*açude* du Rio Pacoti (fig. 2) situé au sud de l'agglomération urbaine. Dans un tel contexte, la gestion conservatoire de l'eau, des sols et de la biomasse de ces montagnes est d'une importance décisive pour assurer durablement l'alimentation en eau et, partant, l'agriculture et l'élevage dans la plaine semi-aride environnante. En effet, quand la forêt n'est pas trop dégradée et que l'utilisation des terres bénéficie d'une gestion raisonnée par les communautés riveraines, la végétation « absorbe » les fortes pluies et restitue ensuite progressivement l'eau stockée dans l'épais manteau d'altération. La constitution de cette réserve hydrique contribue de la sorte à réguler le régime hydrologique contrasté des cours d'eau en interceptant la pluie, en absorbant l'eau dans le manteau d'altérites et en la relâchant progressivement dans le bassin-versant qui s'élargit dans la zone semi-aride. Par conséquent, le pouvoir tampon du massif forestier limite à la fois les inondations et la sécheresse en aval, en absorbant les crues-éclair et en permettant un faible débit d'étiage en saison sèche.

Outre cette dépendance vis-à-vis de l'alimentation hydrique, la plupart des habitants des zones rurales et urbaines du Nordeste semi-aride vivent, plus ou moins directement, des ressources produites dans les montagnes humides. En raison de cette fonction de sécurité alimentaire pour les populations de plaine caractérisées par leur fragilité d'origine sociale et climatique, les *Brejos* d'altitude peuvent être considérés, encore aujourd'hui, comme les principaux greniers vivriers du Nordeste brésilien semi-aride (Ab'Saber, 1999). Par ailleurs, ces montagnes constituent, au même titre que de nombreuses montagnes d'Afrique (Bart *et al.*, 2001), des espaces en mutation de plus en plus ouverts sur l'extérieur.

La présence de café *arabica* sur les hautes terres du massif de Baturité est une marque de l'économie récente. L'introduction en 1995 du « café forestier biologique », sous l'initiative de l'APA du massif de Baturité, est ainsi destinée à une commercialisation vers les grandes agglomérations du littoral et l'étranger (Saes *et al.*, 2003). Le maintien d'une agriculture soucieuse de la conservation de la biodiversité par la culture du café sous ombrière explique la nature encore luxuriante de la végétation forestière des collines convexes du massif de Baturité (photo 2). En contrepartie, les bas-fonds plats à couverture colluvio-alluviale sont les parties du modelé les plus intensément utilisées sur le plan agricole, du fait des faibles pentes qui les caractérisent (fig. 3). Ils constituent de ce fait la partie la plus artificialisée du paysage, comme c'est souvent le cas à Madagascar (Blanc-Pamard, 1986) ou en Inde (Gunnell, 1999), même si leur mise en valeur agricole est loin d'être complète dans le cas brésilien.

Il reste que la culture de la canne à sucre a progressivement cédé de plus en plus de place aux cultures maraîchères et à une riche horticulture dans les bas-fonds plats des zones sommitales à modelé multiconvexe de ces massifs montagneux. Le transport à faible coût, associé à la basse expectative des bénéfices des paysans des *Brejos*, garantit une commercialisation à des prix raisonnables pour les populations de l'intérieur. La viande bovine est presque toujours en provenance des basses terres semi-arides du *Sertão* de tradition pastorale, mais le reste de l'alimentation de base du peuple *sertanejo* (haricot, farines de manioc et de maïs, riz, fruits, patate douce, chuchu, etc.) provient essentiellement de ces espaces réduits, mais extrêmement fertiles, que sont les *Brejos* d'altitude (Ab'Saber, 1999), même si depuis une ou deux décennies les vastes périmètres irrigués de la basse vallée du Jaguaribe y participent aussi pour une large part. Des cultures spécialisées comme la bananiculture, dont la majeure partie de la production dans l'État du Ceará provient

du massif de Baturité, viennent approvisionner les marchés de la plaine semi-aride et des agglomérations du littoral.

Potentiel, contraintes et vulnérabilité

Les atouts hydroclimatiques et morphopédologiques des montagnes humides du *Sertão*, qui confèrent aux *Brejos* d'altitude leur riche diversité agraire et leur permettent d'assurer la sécurité alimentaire des populations de plaine, montrent l'importance géographique de ces îlots d'humidité dans la toile de fond semi-aride qui caractérise le Nordeste brésilien. À l'heure où une croissance économique et démographique rapide caractérise cette partie du Brésil (taux de croissance annuel de population de 1,73 % sur la période 1991-2000 pour l'État du Ceará : Ipece, 2006), la demande alimentaire des populations de montagne et de plaine ne cesse de croître. Dans ce contexte, le potentiel offert par le climat et les terroirs des montagnes humides semble particulièrement sous-exploité, surtout si on les compare à d'autres montagnes tropicales d'Afrique, d'Inde ou de Madagascar, où le réseau de bas-fonds élémentaires est exploité à son maximum, ce qui n'est pas le cas au Brésil.

À l'inverse, la pression anthropique sur les terres marginales des massifs montagneux n'a jamais été aussi forte, sous l'effet de la poussée démographique de ces dernières décennies liée à la transition démographique en cours. Ces déséquilibres dans l'occupation de l'espace, principalement liés aux particularités des structures foncières, sont à l'origine de phénomènes inquiétants sur les pentes fortes des zones de dissection périphérique : dégradation des sols, érosion accélérée, glissements de terrain, etc.

POTENTIALITÉS AGRICOLES DES TERRES DE BAS-FOND ET POTENTIEL ÉCOTOURISTIQUE

Les zones montagneuses humides du Nordeste semi-aride ont un potentiel agroclimatique supérieur à celui des plaines environnantes en raison d'une pluviosité plus élevée, d'une saison sèche courte et de la présence d'eaux souterraines et de surface que les communautés locales peuvent exploiter facilement et qui stimulent la production végétale. Pour accroître la production agricole et améliorer la sécurité alimentaire des populations de montagne et de plaine, l'exploitation du potentiel agroclimatique de ces montagnes passe soit par la mise en culture de nouvelles terres, soit par une intensification des cultures (Fao, 2002). Les terres de bas-fond, en raison des pentes faibles et d'un renouvellement perpétuel des dépôts colluvio-alluviaux, présentent les potentialités agricoles les plus grandes malgré la fertilité chimique naturelle moyenne à faible de leurs sols alluviaux, souvent hydromorphes (*Fluvisols*, *Gleysols* : Fao, 2006). Force est de constater que ces bas-fonds ont permis le développement d'une riche horticulture et l'apparition de nombreuses cultures maraîchères sur les hautes terres humides du massif de Baturité, même si de nombreux fonds de vallons restent peu ou pas cultivés.

Dans un contexte de terres arables *a priori* disponibles, l'expansion des zones cultivées dans les bas-fonds est la solution la plus simple, donc celle qui serait à retenir en priorité, car elle est la moins coûteuse et accroît les possibilités de rotation culturale. L'intensification de l'agriculture dans ces montagnes est aussi possible sans qu'il en résulte pour autant une dégradation générale du milieu (déforestation, érosion des sols, etc.) en se cantonnant, là encore, aux bas-fonds plats où la vulnérabilité physique des sols est contrebalancée par des pentes infimes. Cependant, l'intensification des cultures est une solution qui pose davantage de problèmes dans une région tropicale où la population est pauvre et où les mesures de protection de la nature sont importantes. Les cultures intensives entraînent des effets indésirables et de fortes pressions sur les ressources en sol et en eau, tandis que la pratique des doubles récoltes, qu'autoriserait la longue saison humide du massif ou un recours à l'irrigation, irait dans le sens d'un accroissement du risque d'épuisement des nutriments qui restent encore dans les sols alluviaux de ces bas-fonds. Le problème est socialement aggravé par le coût des intrants qu'implique une telle intensification, car

les engrais chimiques sont hors de prix pour les populations rurales de ces montagnes, tandis que les possibilités d'apport de nutriments au moyen d'engrais organiques nécessiteraient un surplus de main d'œuvre.

Une autre possibilité de mise en valeur de la montagne humide nordestine repose sur l'exploitation de son potentiel écotouristique. En raison de l'attrait esthétique de leurs paysages et pour protéger la faune et la flore menacées d'extinction, de vastes étendues de ces montagnes humides ont été transformées en parcs nationaux ou en réserves : ainsi, le massif de Baturité et sa zone de protection environnementale classée APA en 1990 (cf. *supra*). Ces parcs et réserves sont des destinations touristiques de plus en plus prisées par les populations urbaines comme celles de Forteleza. Certes, ce n'est pas encore une activité prédominante de ces montagnes, mais elle contribue à la sécurité alimentaire des populations *serranas* en créant des emplois. La législation environnementale de la plupart des montagnes humides devient alors adaptée à la pratique de l'*écotourisme*, ou tourisme écologiquement responsable (Amancio do Vale, 2005 ; Bastos *et al.*, 2005). Il s'agit de modérer l'impact de l'activité touristique sur l'écosystème fragile de la montagne, tout en sensibilisant les gens par l'éducation à l'environnement. Cette activité pour l'instant marginale, en prise directe avec l'idée d'un développement durable de la montagne, pourrait devenir un secteur moteur de l'économie locale et régionale, et un moyen de créer des revenus pour les populations montagnardes. Les améliorations à faire dans l'optique d'un développement de l'écotourisme dans une région comme le massif de Baturité doivent s'orienter vers l'aménagement de sentiers balisés et de routes touristiques qui font pour l'instant défaut, ainsi que vers la réalisation de panneaux d'information et d'interprétation sur le milieu.

Que ce soit par l'agriculture ou l'écotourisme, la mise en valeur durable de ces montagnes humides, où il s'agit de concilier les besoins locaux ou régionaux qui s'accusent en même temps que la croissance démographique, avec les mesures de conservation et de protection, est un des principaux défis des prochaines années dans le Nordeste du Brésil.

CONTRAINTES « NATURELLES » ET « STRUCTURELLES »

Malgré un potentiel agroclimatique bien supérieur à celui des plaines semi-arides environnantes et de réelles potentialités agricoles pour les terres de bas-fond, les possibilités de développement de la montagne humide nordestine sont limitées par la convergence de contraintes *naturelles* (principalement morphopédologiques : gravité, pente, chimie des sols, faible superficie) et *structurelles* (réalité foncière, législation environnementale).

Parmi les facteurs naturels les plus contraignants, les pentes fortes, courtes et convexes dans les secteurs de demi-oranges, longues et rectilignes dans les zones de dissection profonde et sur les escarpes bordières, sont les plus évidentes. Sur les pentes de plus de 14 %, la mécanisation de l'agriculture n'est pas possible sans la réalisation de terrassements (Roose, 1992). Au-delà de 40 % de pente, ce qui est fréquent dans les zones profondément disséquées et les versants bordiers des massifs montagneux, les risques de glissement de terrain et de ravinement sont importants, particulièrement sur les roches gneissiques et micaschisteuses profondément altérées qui constituent l'essentiel du substratum d'un massif montagneux comme celui de Baturité. Malgré les risques d'une érosion qui peut avoir des conséquences irréversibles sur le sol, les cultures manuelles sont pratiquées sur des pentes pouvant dépasser les 60 %, ce qui est fréquemment le cas sur les terres géographiquement périphériques et socialement marginales du massif de Baturité. Un autre facteur naturel limitant est la faible richesse chimique des sols de ces montagnes, surtout dans un contexte social où les populations rurales ont peu de moyens financiers pour investir vers des intrants jugés trop chers pour donner lieu à leur utilisation rentable. À côté des sols superficiels sur roche dure et sur pente forte (*Leptosols*) peu favorables à l'agriculture, les sols rouges-jaunes profonds des montagnes humides sont des *Lixisols*, des *Acrisols* ou des *Ferralsols*, c'est-à-dire des sols à argiles de basse activité (*low activity clay soils*) caractérisés par la prédominance d'argiles à feuillet 1/1 (kaolinite) dans le cortège des minéraux argileux présents (Bétard, 2007). Ces caractéristiques

téristiques, combinées aux faibles quantités de cations basiques échangeables présents dans le complexe absorbant, sont responsables de la basse fertilité chimique de ces sols, surtout quand on les compare aux *Luvisols* ou aux *Cambisols* beaucoup plus fertiles de la plaine semi-aride (tableau 2). Les *Acrisols* et les *Ferralsols* sont ceux qui présentent les propriétés chimiques les plus défavorables, principalement en raison de la présence en quantité importante d'aluminium échangeable responsable de pH très bas (< 5), ne permettant pas de bons rendements agricoles sans un apport important de fertilisants. Sur le plan de la richesse chimique du sol, ce sont les *Lixisols* et les sols alluviaux de bas-fond (*Fluvisols*, *Gleysols*) qui, bien qu'étant encore acides, présentent les propriétés agronomiques les moins défavorables de ces montagnes.

Les contraintes *structurelles*, notamment les contraintes sociales et foncières qui puisent leurs racines dans l'héritage de la colonisation, sont des plus importantes. Nous avons déjà évoqué plus haut les différentes étapes de l'occupation de l'espace de ces montagnes qui permettent aujourd'hui d'opposer les hautes terres des massifs montagneux, occupées les plus précocement grâce à l'introduction de (mono-)cultures à vocation de commercialisation vers la plaine (café, canne à sucre, bananes, oranges, cultures maraîchères, etc.) et les terres marginales en pentes fortes occupées par les populations les plus pauvres vivant d'une maigre agriculture de subsistance. Ces dernières sont souvent représentées par des paysans du *Sertão* autrefois sans terre, contraints de quitter la plaine sous la double influence des aléas climatiques dus aux sécheresses prononcées et de la pression sociale exercée par les grands propriétaires latifundiaires. Ce sont aussi les particularités de la structure foncière et sociale, locale et régionale, qui permettent d'expliquer dans le massif de Baturité la pratique de la riziculture sur pente forte plutôt que dans les bas-fonds plats

Profondeur (cm)	pH H ₂ O	C org. %	Argile %	Cations échangeables					CEC*	
				Ca	Mg	Na	K	Al	(1)	(2)
LS1 – 4° 14' S, 38° 58' W – Brésil, Ceará – Cutanic Acrisol (humic)										
0-24	4,9	1,89	32,6	0,6	0,4	0,00	0,00	1,19	6,63	20,23
24-90	4,9	0,82	53,2	0,2	0,1	0,00	0,00	1,55	7,37	13,85
90-160	4,8	0,28	34,7	0,3	0,0	0,00	0,00	1,23	4,26	12,28
160-360	4,8	0,30	13,8	0,2	0,0	0,00	0,00	0,70	2,42	17,56
PA1 – 4° 08' S, 38° 50' W – Brésil, Ceará – Cutanic Lixisol (rhodic)										
0-30	5,7	0,97	30,0	3,2	0,9	0,00	0,00	0,01	5,98	19,94
30-60	5,6	0,68	43,6	2,5	1,0	0,02	1,24	0,06	6,02	13,80
60-120	5,3	0,33	47,9	1,9	1,0	0,04	0,33	0,14	5,92	12,35
120-180	5,4	0,22	28,9	1,4	1,4	0,02	0,00	0,02	8,21	28,40
CA1 – 4° 22' S, 39° 18' W – Brésil, Ceará – Haplic Luvisol (chromic)										
0-40	6,2	0,55	19,5	5,8	3,0	0,02	0,01	0,00	11,16	57,22
40-75	6,2	0,60	43,7	6,6	5,1	0,02	0,00	0,02	19,16	43,85
75-120	6,4	0,18	28,2	7,4	6,1	0,07	0,00	0,05	20,57	72,76
RE1 – 4° 07' S, 38° 45' W – Brésil, Ceará – Haplic Cambisol (eutric)										
0-25	6,3	0,60	12,9	1,5	1,6	0,00	0,00	0,12	6,29	48,74
25-50	6,7	0,22	36,4	3,8	7,1	3,43	0,00	0,09	17,51	48,09

*CEC (Capacité d'échange cationique) mesurée à l'acétate d'ammonium à pH 7 et exprimée (1) en cmol(+).kg⁻¹ de terre fine et (2) en cmol(+).kg⁻¹ d'argile. Classification des sols : WRB (FAO, 2006).

Tableau 2 : Caractérisation comparée de la fertilité chimique de quelques profils de sols de la Serra humide de Baturité et de son piémont semi-aride (Source : Bétard, 2007)

Compared soil chemical fertility of several pedons in the humid mountain of Baturité and its semiarid piedmont

de la zone de modelé multiconvexe comme c'est généralement le cas en Afrique, à Madagascar ou en Inde péninsulaire (Raunet, 1993; Blanc-Pamard et Rakoto, 1993; Gunnell, 1999). La situation topographique de ces rizières, souvent alternées avec des cultures de maïs, ne favorise pas les rendements qui eussent été meilleurs dans les bas-fonds plats qui ne connaissent pas le déficit hydrique saisonnier des pentes fortes. La spécificité des agrosystèmes de la partie sommitale du massif, qui privilégient les systèmes de cultures à plus haute valeur ajoutée, explique que le système pluvial riz-maïs soit confiné dans les zones périphériques. Les coûts de production plus élevés qu'en plaine, en liaison avec des distances de transport plus grandes et avec les difficultés de mécaniser les pratiques culturales, renforcent la pertinence du choix de productions spécialisées à haute valeur ajoutée par les paysans les plus à l'abri. L'isolement social et économique des populations rurales de ces montagnes, lié notamment au manque d'écoles, de dispensaires et de subsides, ajoute une série de contraintes au développement optimisé de la montagne.

Une autre contrainte *structurelle* de taille a été récemment introduite avec la création de zones de protection de la nature dans plusieurs montagnes humides du Nordeste brésilien. Cette législation environnementale introduit certaines limitations quand il s'agit de pratiquer des défrichements abusifs pour la mise en valeur agricole de nouvelles terres ou encore l'interdiction d'utiliser certains intrants ou agrototoxiques qui pourraient polluer ou dégrader les ressources hydriques. L'objectif d'une telle législation est aussi d'encourager les paysans à adopter des productions et des techniques agricoles plus adaptées aux conditions du milieu, tout en limitant les interférences négatives avec la fonction de refuge écologique qu'occupent ces montagnes.

Il convient donc de nuancer le potentiel, climatique et agronomique, de ces *Brejos* d'altitude qui simuleraient des oasis cachées dans l'étendue semi-aride de la *caatinga*, eu égard aux contraintes *naturelles* et *structurelles* qui agissent comme des limitateurs au développement rural de la montagne. Malgré tout, l'élan des populations de la plaine semi-aride vers la montagne humide est aujourd'hui stimulé par la poussée démographique. Mais les terres marginales supportent de moins en moins la pression anthropique exercée sur les pentes fortes. En témoignent des phénomènes ponctuels récents, mais inquiétants, de dégradation accélérée des sols.

LES RISQUES LIÉS À LA DÉGRADATION ET À L'ÉROSION DES SOLS

Malgré des pentes fortes et des précipitations agressives, les manifestations de l'érosion hydrique sont plutôt discrètes dans les montagnes humides du Nordeste brésilien, surtout si on les compare à d'autres agrosystèmes tropicaux de moyenne montagne de socle. Dans le massif de Baturité, les pentes atteignent régulièrement 15 % sur les versants des demi-oranges et peuvent dépasser les 60 % sur les hautes pentes des zones de dissection périphérique et sur les versants bordiers. L'érosivité des pluies, comprise entre 8 000 et 10 000 MJ/mm.ha.an⁻¹ (Silva, 2004), est deux fois plus élevée que dans la plaine semi-aride environnante. Quant à la vulnérabilité physique des sols, les *Lixisols* et les *Acrisols* sont réputés pour être vulnérables à l'érosion pluviale quand ils ne sont pas protégés par une végétation couvrante (Projeto Radambrasil, 1981; Leprun, 1994). Dans un tel contexte d'agressivité climatique et de vulnérabilité des ressources pédologiques, la bonne stabilité du milieu affichée face aux processus morphodynamiques actuels est *a priori* la marque d'une bonne « gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols » (Roose, 1994) menée par les populations rurales de ces enclaves montagneuses. L'absence de tradition pastorale dans ces montagnes explique sans doute en partie cette relative stabilité du milieu, notamment face aux processus de ravinement, alors que le surpâturage et le piétinement des troupeaux sont souvent considérés comme des facteurs contributifs majeurs à la dégradation de la ressource en sol dans de nombreuses montagnes tropicales d'Afrique (Salomon, 2001).

Cependant, des phénomènes récents et inquiétants de dégradation accélérée des sols sur pente forte, pour l'instant ponctuels, commencent à gagner en superficie sur les terres périphériques et socialement marginales des massifs montagneux. En réalité, la dégradation récente de ces milieux est principalement à mettre en relation avec l'aggravation d'un problème social et foncier qui prend

racine dans l'histoire de la colonisation du pays. Première région du Brésil colonisée par les Portugais, le Nordeste a très tôt connu la concentration des richesses dans les mains d'une minorité et cette tradition de fort pouvoir local perdure encore aujourd'hui à travers des rapports sociaux et une structure foncière archaïques et inégalitaires. Ainsi, une petite minorité de grands propriétaires détient l'essentiel de la propriété terrienne, tandis que les petits agriculteurs familiaux représentent la majorité de la population rurale (Caron et Sabourin, 2001). De fait, alors que les grandes exploitations latifundiaires se localisent préférentiellement dans les terres fertiles des bas-fonds alluviaux de la plaine semi-aride, le lopin de terre (ou *roça*), concédé au paysan en échange de son travail, se situe souvent sur les pentes fortes des montagnes humides ou sub-humides (Leprun, 1985). Ces *roças* sont généralement de dimensions réduites (entre un tiers et un demi hectare), sont cultivés chaque année sans rotation, sans amendements et sont, par conséquent, l'objet d'une dégradation et d'un appauvrissement du sol souvent intenses et rapides. Avec la poussée démographique de ces dernières décennies, renforcée par l'exode rural des populations de plaine vers la montagne, les phénomènes de dégradation des sols sur ces terres marginales s'accroissent en même temps que l'expansion des zones cultivées sur des pentes topographiques de plus en plus raides.

De rares études, auxquelles s'ajoutent maintenant nos propres observations de terrain, mettent en évidence plusieurs cas insidieux de dégradation ou d'érosion actuelle des sols. Le rassemblement de ces données, leur évaluation et leur interprétation permettent de dresser l'inventaire suivant.

1 – Les manifestations perceptibles de l'érosion en nappe sont rares car l'incidence des pluies sur le sol est moins énergétique dans la montagne humide que dans la plaine semi-aride, ceci en raison (i) d'un climat moins contrasté, avec des pluies de début de saison humide moins agressives que dans la plaine semi-aride, (ii) d'un manteau forestier plus dense (pour peu que la surface ne soit pas cultivée ou mise à nu) et surtout (iii) de pentes fortes qui favorisent le ruissellement concentré. Néanmoins, une dégradation de la structure des horizons de surface, quelle qu'en soit la cause, a tendance à favoriser au départ le déclenchement d'une érosion en nappe qui, certes, peut passer inaperçue, mais peut rapidement devenir critique en cédant le relais à la concentration du ruissellement. Dans les versants moins déclinés et récemment défrichés des demi-oranges, une telle érosion « en nappe » peut aussi rapidement devenir un handicap sur des sols acides comme les *Acrisols* si le décapage des horizons supérieurs humifères les plus fertiles va jusqu'à faire affleurer les horizons de profondeur pauvres en matière organique et riches en aluminium échangeable, faisant ainsi preuve d'une plus grande toxicité pour la plupart des plantes culturales.

2 – Les marques de l'érosion linéaire, en particulier le ravinement, sont plus nombreuses car l'énergie du ruissellement y est bien plus forte que celle des gouttes de pluies (Roose, 1992). Dans les zones fortement pentues ayant subi un défrichement récent (coupe à blanc, brûlis), des risques graves de transformation rapide des rigoles en ravines profondes (les *voçorocas* brésiliens, équivalents des *dongas* sud-africains) sont à prévoir si des pratiques culturales inadaptées prennent place sur le sol nu ou si un reboisement n'est pas rapidement envisagé. C'est dans ce contexte que des ravines profondes de 2 à 3 mètres ont été fréquemment observées, comme sur l'escarpement occidental du massif de Pereiro localement défriché (photo 4 – **planche VI**). Ces réseaux de ravines parallèles se forment toujours en présence de sols profonds et/ou d'altérites à la fois friables et perméables issues de la décomposition des roches granito-gneissiques du socle. Ceci explique qu'on les rencontre surtout sur les versants sub-humides des massifs cristallins couverts de *Lixisols*, mais aussi sous les entablements gréseux et cuirassés des *Serras* de Martins et Pereiro qui reposent sur un épais manteau kaolinique hérité, particulièrement sensible au ravinement.

3 – Des phénomènes de mouvements de masse ont aussi été répertoriés sur des pentes topographiques de plus de 40 % et peuvent être rangés en deux catégories : (i) des *coulées de solifluxion* lentes et actives sont signalées sur les versants escarpés récemment défrichés du massif de Batu-rité (Bastos et Silva, 2004) ; (ii) des *glissements de terrain*, impliquant des mécanismes beaucoup plus massifs et brutaux, sont également attribués à la pression anthropique et à la déforestation (Bastos *et al.*, 2005) et représentent des risques nettement plus sérieux pour la viabilité des terres

cultivables et pour la population (obstruction de routes, glissement ou destruction d'habitations, etc.) : c'est dans les secteurs de bananeraies que ces glissements de terrain seraient les plus fréquents (Bastos et Silva, 2004). D'après nos observations, ces glissements se réalisent essentiellement à partir des épais manteaux d'altérites rougeâtres qui recouvrent par exemple l'escarpement oriental à climat sub-humide du massif de Baturité. La grande sensibilité de ces altérites friables est perceptible à chaque saison des pluies le long des talus de routes, où les effondrements en masse d'altérites sur la chaussée nécessitent l'embauche de plusieurs dizaines d'ouvriers. D'autres glissements de terrain signalés sur les pentes fortes des *Serras* de Maranguape et de Pereiro sont directement attribuables à la sismicité récente et active de ces régions (Peulvast *et al.*, 2006).

En définitive, il apparaît que l'instabilité des formations superficielles de ces montagnes est favorisée par la convergence de facteurs naturels – forte déclivité des pentes et manteaux d'altération kaoliniques épais – et de facteurs anthropiques conditionnés par l'importance de la déforestation pour la mise en valeur agricole de nouvelles terres. Parmi les autres facteurs naturels susceptibles d'intervenir dans le déclenchement de ces processus, il faut signaler l'influence de la progression de l'érosion régressive par recul des têtes de sources et des ruptures de pente des cours d'eau (*knickpoints*) dans la localisation et la concentration spatiale de phénomènes d'érosion actuelle comme le ravinement. Dans la *Serra* de Baturité, un réseau dense de ravines profondes, avec lesquelles de nombreux éboulements se trouvent géographiquement associés, se rencontre au nord du massif dans la zone de *knickpoints* qui matérialise la limite entre la zone de modelé multiconvexe et la zone périphérique de dissection profonde. La concentration exceptionnelle des formes de ravinement et des phénomènes d'éboulement dans ce secteur ne trouve pas son origine dans une action anthropique qui serait plus importante ici qu'ailleurs, mais est clairement à mettre en relation avec la marche « normale » de l'érosion régressive et le recul des têtes de source des affluents du Rio Pacoti. De la même manière que certains glissements de terrain sont liés à une instabilité sismo-tectonique locale, l'action anthropique dans ces secteurs de *knickpoints* ne fait que révéler localement une instabilité des versants inhérente au « front » de progression de l'érosion régressive.

Du côté des facteurs anthropiques, ce sont les défrichements qui semblent entraîner les conséquences les plus néfastes sur le plan de la dégradation et de l'érosion exacerbée des sols, sans parler des conséquences en aval telles que l'envasement accéléré des barrages collinaires de la plaine semi-aride ou la dégradation de la qualité des eaux d'approvisionnement. Ces observations qualitatives sont appuyées et relayées par des estimations quantitatives : dans la zone de modelé multiconvexe du massif de Baturité, M. T. B. Farias Sales (1997) a montré l'impact de la déforestation sur l'érosion actuelle des demi-oranges. En utilisant la formule de Wischmeier (USLE : *Universal Soil Loss Equation* : Wischmeier et Smith, 1960), l'auteur estime autour de 3 t/ha.an⁻¹ les pertes en terre sous végétation forestière de *mata úmida* contre 100 t/ha.an⁻¹ et plus sur les collines convexes récemment défrichées. Cependant, il convient de nuancer ces résultats catastrophistes car la zone de modelé multiconvexe de Baturité nous paraît particulièrement pauvre en formes de ravinement ou de glissement. Des formations végétales secondaires ou des plantations très couvrantes telles que la caféière et son ombrière semblent suffire pour éviter toute forme d'érosion accélérée des sols. C'est un constat parfaitement identique qui avait été fait dans les paysages multiconvexes forestiers des hautes terres humides du Karnataka indien où la caféiculture sous ombrière est aussi pratiquée (Gunnell et Lageat, 1998). Dans un tel contexte, il convient surtout de souligner l'exceptionnel effort de gestion et de conservation des sols et de la biomasse qui caractérise les hautes terres polyconvexes du massif de Baturité.

La situation nous paraît plus inquiétante dans les zones périphériques de dissection profonde de ces massifs montagneux. Des mesures réalisées à partir d'une parcelle expérimentale sur sol nu (*Lixisol*), par 1 170 mm de pluviosité annuelle et une pente de 12 %, permettent d'estimer la perte en terre à 78,8 t/ha.an⁻¹ dans la région montagneuse de l'*Agreste* (Leprun, 1987). La réduction de la perte en sol entre la surface nue ou travaillée et la surface occupée par une végétation couvrante (forêt ou jachère) est de 100 à 1 000 fois. Sur ces terres marginales en pentes fortes (> 20 %), des

pratiques culturales inadaptées telles que des labours et semis suivant le sens de la plus grande pente sont fréquentes et sont responsables de pertes en terre et en eau importantes, excepté dans le cas du maïs (Leprun *et al.*, 1986). Dans les autres cas, l'érosion des sols cultivés perpendiculairement aux courbes de niveau peut conduire à des pertes en terre élevées comprises entre 50 et 100 t/ha.an⁻¹. Ces effets négatifs peuvent être facilement corrigés par une pratique culturale anti-érosive simple en billons isohypses, avec ou sans cordons herbeux, qui permet une réduction des pertes en terre d'au moins 50 %. Une telle pratique permet en même temps un appréciable regain de l'infiltration des eaux ce qui, sur les pentes fortes des massifs montagneux à climat sub-humide, assure un accroissement non négligeable des rendements agricoles.

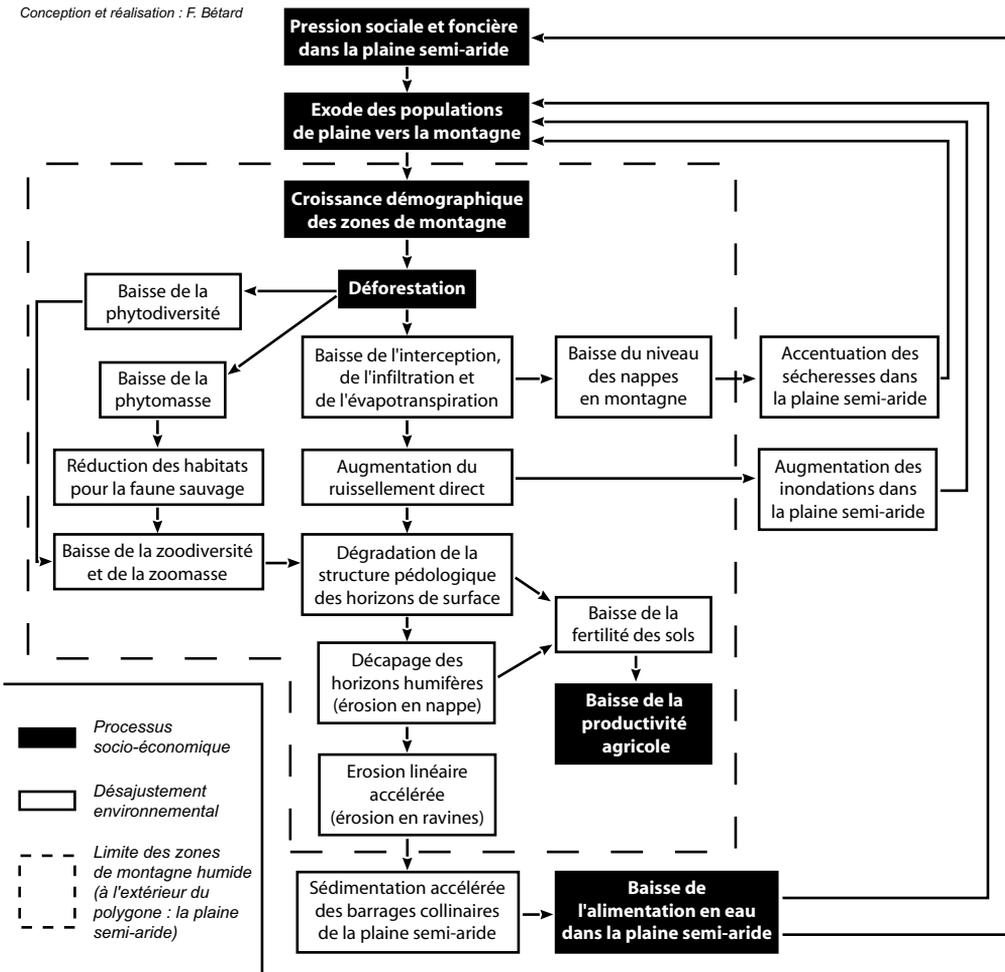


Figure 4 : Boucles de rétroaction possibles dans le système socio-écologique des zones de montagne humide du Nordeste brésilien, dans leurs relations avec la plaine semi-aride : enchaînement des processus socio-économiques et des désajustements environnementaux liés à la déforestation

Possible feedback loops in the socio-ecological system of the humid mountain areas of Northeast Brazil, in their relations with the surrounding semi-arid plain: chain of socio-economic processes and environmental imbalances related to accelerated deforestation

En définitive, si les *Brejos* d'altitude du Nordeste brésilien apparaissent de plus en plus comme des pôles structurants à fortes potentialités socio-économiques dans un contexte régional connu pour ses problèmes sociaux et ses risques climatiques (*secas*), on doit cependant souligner qu'il n'existe pas de zones géographiques dans ces montagnes humides qui soient véritablement à l'abri d'une dégradation des ressources naturelles, pas même les paysages multiconvexes forestiers du massif de Baturité, pourtant délimités par une législation environnementale qui tente d'imposer des mesures préventives assez strictes aux agriculteurs de la région. Des écarts fréquents conduisant certains paysans à enfreindre la loi, montrés du doigt par les organismes de tutelle environnementale, sont parfois à l'origine d'une dégradation des ressources biotiques. Par réactions en chaîne, la déforestation peut elle-même aboutir à une dégradation générale du milieu abiotique et à une aggravation des problèmes sociaux (dégradation de la structure pédologique, décapage des horizons humifères, déclin de la fertilité, érosion linéaire, sédimentation accélérée des barrages collinaires, baisse de l'alimentation en eau, etc. : fig. 4). Mais c'est surtout sur les terres marginales de ces massifs montagneux non protégées par la législation environnementale que la situation est la plus préoccupante. Ici, l'agriculture s'est étendue peu à peu sur des pentes de plus en plus raides qu'il a fallu défricher. La déforestation et la mise en culture de ces zones fragiles entraînent la destruction progressive des ressources pédologiques dans le temps et dans l'espace, même si la portion de l'espace affectée reste pour l'instant assez limitée. Au total, si l'on compare les montagnes humides nordestines à d'autres agrosystèmes tropicaux de moyenne montagne équivalente (Afrique, Madagascar), l'érosion hydrique et la dégradation des sols y demeurent faibles à l'heure actuelle, hormis les cas récents et localisés de ravinement et de glissement qui doivent retentir comme des sonnettes d'alarme face à une gestion tantôt conservatoire, tantôt prédatrice des ressources naturelles.

Bibliographie

- AB'SABER (A. N.), 1999. – *Sertões e Sertanejos : uma geografia humana sofrida*, Estudos avançados-USP n° 13(36), São Paulo, 59 p.
- AMANCIO DO VALE (V. H.), 2005. – « Propostas para a actividade ecoturística no município de Guaramiranga, CE », dans FARIAS SEABRA (G.), BARBOSA (J. M.) (dir.), *Turismo sertanejo : desenvolvimento local e integração regional*, Editora Universitária-UFPB, João Pessoa, p. 198-205.
- ANDRADE-LIMA (D.), 1982. – « Present-day forest refuges in northeastern Brazil », dans PRANCE (G. T.) (dir.), *Biological Diversification in the Tropics*, New York, Colombia University Press, p. 245-251.
- BART (F.), MORIN (S.), SALOMON (J.-N.) (dir.), 2001. – *Les montagnes tropicales : identités, mutations, développement*, DYMSET CRET (*Espaces Tropicaux* n° 161), Bordeaux, 672 p.
- BASTOS (F. H.), SA LIMA (M. L.), SILVA (E. V.), 2005. – « Turismo sertanejo em ambientes serranos : alternativas para o Maciço de Baturité, CE », dans FARIAS SEABRA (G.), BARBOSA (J. M.) (dir.), *Turismo sertanejo : desenvolvimento local e integração regional*, João Pessoa, Editora Universitária-UFPB, p. 233-245.
- BASTOS (F. H.), SILVA (E. V.), 2004. – « Análise geoambiental como apoio ao desenvolvimento sustentável de Guaramiranga – CE », *Iº Congresso intercontinental de Geociências*, Fortaleza, 7 p.
- BÉTARD (F.), 2007. – *Montagnes humides au cœur du Nordeste brésilien semi-aride : le cas du massif de Baturité (Ceará). Apports d'une approche morphopédologique pour la connaissance et la gestion des milieux*, Thèse de Doctorat, Université de Paris-Sorbonne, 442 p. + 1 carte hors-texte.
- BÉTARD (F.), PEULVAST (J.-P.), CLAUDINO SALES (V.), 2007. – « Caracterização morfopédológica de uma serra úmida no semi-árido do Nordeste brasileiro : o caso do maciço de Baturité-CE », *Mercator*, n° 12, p. 107-125.
- BLANC-PAMARD (C.), 1986. – « Dialoguer avec le paysage ou comment l'espace écologique est vu et pratiqué par les communautés rurales des hautes terres malgaches », dans CHATELIN (Y.), RIOU (G.) (dir.), *Milieux et paysages*, Masson, Paris, p. 17-33.

- BLANC-PAMARD (C.), RAKOTO-RAMIARANTSOA (A. H.), 1993. – « Les bas-fonds des hautes terres centrales de Madagascar : construction et gestion paysannes », dans RAUNET (M.) (dir.), *Bas-fonds et riziculture*, CIRAD, Montpellier, p. 31-47.
- CARON (P.), 2006. – « Élevage et semi-aride brésilien : immobilisme proclamé et mutations intenses », *Sécheresse*, vol. 17, n° 1/2, p. 288-294.
- CARON (P.), SABOURIN (E.), 2001. – *Paysans du Sertão : mutations des agricultures familiales dans le Nordeste du Brésil*, Montpellier, CIRAD/EMBRAPA, 243 p.
- CAVALCANTE (A.), 2005. – « Jardins suspensos no Sertão », *Scientific American Brasil*, n° 32, p. 69-73.
- CAVALCANTE (A.), SOARES (J. J.), FIGUEIREDO (M. A.), 2000. – « Comparative phytosociology of tree sinusia between contiguous forests in different stages of succession », *Revista Brasileira de Biologia*, vol. 60, n° 4, p. 551-562.
- FAO, 2002. – *Développement rural durable et sécurité alimentaire : rôle de la mise en valeur des montagnes en Afrique*, Conférence Régionale de la FAO pour l'Afrique, XXII^e session, Le Caire, 4-8 février 2002.
- FAO, 2006. – *World Reference Base for Soil Resources. A framework for international classification, correlation and communication*, World Soil Resources Report, n° 103, 128 p.
- FARIAS SALES (M. T. B.), 1997. – *Caracterização de processos erosivos em áreas florestadas e antropizadas na Serra de Baturité-CE*, Fortaleza, Dissertação de Mestrado-UFC.
- GUNNELL (Y.), 1999. – « Systèmes agraires et facettes écologiques au Karnataka (Inde du Sud) : portraits d'une organisation humaine autour d'un gradient bioclimatique exceptionnel », *Annales de Géographie*, n° 605, p. 46-66.
- GUNNELL (Y.), LAGEAT (Y.), 1998. – « Érosion du manteau d'altération et systèmes agraires dans les terres cristallines des régions tropicales. Quelques indices de stabilité du milieu en Inde du Sud », *Cahiers d'Outre-Mer*, n° 51, p. 113-140.
- IPECE, 2006. – *Anuário estatístico do Estado do Ceará*. (accessible sur [www.ipece.ce.gov.br]).
- LE HOUÉROU (H. N.), 2006. – « Le milieu naturel, la végétation, les parcours, le bétail et la stratégie antisécheresse dans le Nordeste brésilien », *Sécheresse*, vol. 17, n° 1/2, p. 275-287.
- LEPRUN (J.-C.), 1985. – « La conservation et la gestion des sols dans le Nordeste brésilien. Particularités, bilans et perspectives », *Cahiers ORSTOM, série pédologie*, vol. 21, n° 4, p. 257-284.
- LEPRUN (J.-C.), 1987. – « L'érosion hydrique dans le Nord-Est du Brésil », dans GODARD (A.), RAPP (A.) (dir.), *Processus et mesure de l'érosion*, Editions du CNRS, Paris, p. 541-549.
- LEPRUN (J.-C.), 1994. – « Effets de la mise en valeur sur la dégradation physique des sols. Bilan du ruissellement et de l'érosion de quelques grands écosystèmes brésiliens », *Étude et gestion des sols*, n° 1, p. 45-65.
- LEPRUN (J.-C.), SILVEIRA (C. O.), SOBRAL FILHO (R. M.), 1986. – « Efficacité des pratiques anti-érosives testées sous différents climats brésiliens », *Cahiers ORSTOM, série pédologie*, vol. 22, n° 2, p. 223-233.
- LIMA (D.C.), 2005. – *A bananicultura na área de proteção ambiental da Serra de Maranguape-CE e suas implicações no ambiente físico, humano e na biodiversidade*, Fortaleza, Pró-retoria de pesquisa e pós-graduação-UFC, PRODEMA, 107 p.
- LIMA (P. A. Q.), 1989. – « O café na provincia do Ceará », dans SOUZA (S.) (dir.), *História do Ceará*, Fortaleza, Fund. Dêmócrito Rocha, Stylus.
- PEULVAST (J.-P.), CLAUDINO SALES (V.), BEZERRA (F. H.), BÉTARD (F.), 2006. – « Landforms and neotectonics in the equatorial passive margin of Brazil », *Geodinamica Acta*, vol. 19, n° 1, p. 51-71.
- PROJETO RADAMBRASIL, 1981. – *Levantamento integrado dos recursos naturais do Brasil. Folha Jaguaribe-Natal*, Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia-MME, 740 p.
- RAUNET (M.) (dir.), 1993. – *Bas-fonds et riziculture*, Montpellier, CIRAD, 517 p.
- ROOSE (E.), 1992. – « Contraintes et espoirs de développement d'une agriculture durable en montagnes tropicales », *Bulletin Réseau Erosion*, n° 12, p. 57-70.
- ROOSE (E.), 1994. – *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols* (GCES), Bulletin pédologique de la FAO n° 70, 420 p.

- SAES (M. S. M.), SOUZA (M. C. M.), OTAMI (M. N.), 2003. – « Strategic alliances and sustainable coffee production : the shaded system of Baturité, state of Ceará, Brazil », *International Food and Agribusiness Management Review*, Vol. 6, n° 2, p. 19-29.
- SALES (J.), RODRIGUES (F.), PRADO (V.), ROMAN (D.), BAIMA (H.) (dir.), 2004. – *Maciço de Baturité. Plano de desenvolvimento regional*, SDLR, Expressão gráfica e Editora, Fortaleza, 45 p.
- SALOMON (J.-N.), 2001. – « Les pertes en sols dans les montagnes tropicales », dans BART (F.), MORIN (S.), SALOMON (J.-N.), *Les montagnes tropicales : identités, mutations, développement*, DYMSET CRET (Espaces Tropicaux n° 161), Bordeaux, p. 15-26.
- SEMACE, 2004. – *O Ohlar de cada um. Unidades de Conservação do Estado do Ceará*, Tempo d'Imagem, Fortaleza, 167 p.
- SILVA (A. M.), 2004. – « Rainfall erosivity map for Brazil », *Catena*, n° 57, p. 251-259.
- SOUZA (M. J. N.), OLIVEIRA (V. P. V.), 2006. – « Os enclaves úmidos e sub-úmidos do semi-árido do Nordeste brasileiro », *Mercator*, n° 9, p. 85-102.
- TABARELLI (M.), SANTOS (A. M. M.), 2004. – « Uma breve descrição sobre a história natural dos Brejos nordestinos », dans PÓRTO (K. C.), CABRAL (J. J. P.), TABARELLI (M.) (dir.), *Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba. História natural, ecologia e conservação*, Brasília, Ministério do Meio Ambiente e Universidade Federal do Pernambuco, p. 17-24.
- WISCHMEIER (W. H.), SMITH (D. D.), 1960. – « A universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning », *7th International Congress of Soil Science*, Madison, vol. 1, p. 418-425.

Remerciements

Ce travail repose en grande partie sur les résultats d'une thèse de doctorat effectuée à l'Université de Paris-Sorbonne (Paris IV), sous la co-direction de Jean-Pierre Peulvast, Vanda Claudino Sales et Yann Ginnell, avec l'appui du CNRS (UMR 8591, Laboratoire de Géographie Physique Pierre-Birot) et de l'Université Fédérale du Ceará (UFC, Fortaleza). Il a bénéficié de la collaboration de Gérard Bourgeon (CIRAD, Montpellier) lors d'une mission de terrain effectuée en 2006 et de l'assistance de Laurent Caner (Université de Poitiers-CNRS/INSU HydrASA) pour la réalisation des analyses pédologiques. L'auteur tient également à remercier Denis Mercier (Université de Nantes), qui a accepté de lire une version préliminaire du manuscrit, ainsi que deux relecteurs anonymes, qui ont tous contribué à l'amélioration de l'article.

Cet article a été reçu le 10 mars 2008 et définitivement accepté le 1^{er} juin 2008.

Planche IV (François BÉTARD – Montagnes humides au cœur du Nordeste brésilien semi-aride...)



Photo 1 : Aperçu panoramique de la Serra humide de Baturité (Ceará) vue depuis son piémont oriental Haut de 500-600 mètres, l'escarpement de bordure orientale, couvert de forêt humide et qui reçoit de plein fouet les alizés d'est, contraste avec la *caatinga* des basses plaines environnantes marquées par la semi-aridité (premier plan) (cliché F. Bétard).

Scenic overview of the humid mountain of Baturité (Ceará) seen from its eastern piedmont
The 500-600 meters high, eastern border scarp, covered by humid forest and exposed to the easterlies, contrasts with 'caatinga' and related semiarid conditions of the surrounding lowlands (forefront).



Photo 2 : Exemple de bas de versant de colline convexe associant bananiers et caféiers cultivés sous ombrière, près de Guaramiranga dans la zone sommitale du massif de Baturité
Les bananeraies sont confinées au tiers inférieur de la demi-orange, tandis que le café forestier s'étend plus largement sur tout le tiers supérieur de la colline qui conserve une végétation luxuriante. Noter l'aspect très entretenu du chemin pavé bordé de haies colorées, de manguiers et de diverses plantes ornementales (cliché F. Bétard).

Example of a bottom of convex hill slope with an association of banana and coffee cultivated under shading canopy, near Guaramiranga in the summit area of the Baturité massif
Banana fields are confined to the lower third of the convex hill which maintains exuberant forest vegetation. Note the very maintained aspect of the paved road bordered by coloured hurdles, mango and various ornamental plants.



Photo 3 : Versant bordier en pente forte largement défriché et mis en culture, au-dessus du piémont occidental du massif de Baturité (dépression de Canindé)

Ici, des champs de maïs et de haricot sont cultivés sur des pentes topographiques excessivement fortes dépassant localement 60 %, ce qui a pour effet d'entraîner une dégradation et une érosion accélérée des sols signalées par la présence de griffures et de ravines pour l'instant peu profondes (moins d'un mètre) (cliché F. Bétard).

Partly deforested and cultivated steep border scarp overlooking the western piedmont of the Baturité massif (Canindé depression)

Corn and bean fields are cultivated on topographic slopes exceeding 60 %, which leads to accelerated soil erosion highlighted by rills and gullies of moderate depth (< 1 meter).



Photo 4 : Réseau de ravines parallèles, ou *voçorocas*, sur un secteur récemment défriché de l'escarpement occidental du massif de Pereiro

Ces ravines, profondes de 2 à 3 mètres environ, se sont formées aux dépens de sols rouges profonds et d'une altérite friable issue de l'altération d'un granite leucocrate. Un défrichement massif est tenu pour responsable de l'apparition du phénomène d'érosion accélérée dans ce secteur (cliché F. Bétard).

Dense network of parallel gullies (or 'voçorocas') in a recently cleared area of the Pereiro western scarp

Such gullies, of ~2 to 3 meters depth, were formed at the expense of deep red soils and friable granitic weathered materials. Deforestation is probably responsible for the accelerated soil erosion in that area.