

GESTION TRADITIONNELLE DE L'EAU ET DES SOLS EN INDE DU SUD SEMI-ARIDE

Yanni Gunnell

Unité de Géosciences de l'Environnement Tropical, Institut français de Pondichéry,

B.P. 33, Pondichery, India, E-mail : gunnell@paris7.jussieu.fr

Résumé. Une analyse des couvertures pédologiques des hautes terres cristallines de l'Inde du Sud révèle que les 'reliques ferrallitiques', superficies des boucliers tropicaux qui présentent d'épais stocks d'altérites monosiallitiques survivant actuellement dans un environnement aridifié, et donc différent de celui qui avait présidé à leur genèse, y sont très rares. De tels domaines en sursis, car en déséquilibre morphoclimatique, sont en revanche abondants en Afrique de l'Ouest et au Brésil, où l'érosion des sols est un problème préoccupant. Or, le paysage indien, peu raviné, évoque une relative stabilité. Les causes de ceci sont à rechercher dans la nature des profils d'altération qui portent des sols monogéniques bisiallitiques dont les potentialités agricoles sont élevées. Les sociétés agraires sédentaires l'ont compris, qui gèrent l'érosion comme un processus de redistribution de la fertilité au sein de systèmes morpho-pédologiques maîtrisés par une petite hydraulique très ancienne. Celle-ci est autorisée par l'absence de drainage profond. Une approche comparative argumente les avantages du milieu naturel indien par rapport à ses homologues afro-américains et met en perspective certains discours sur l'homme et l'érosion.

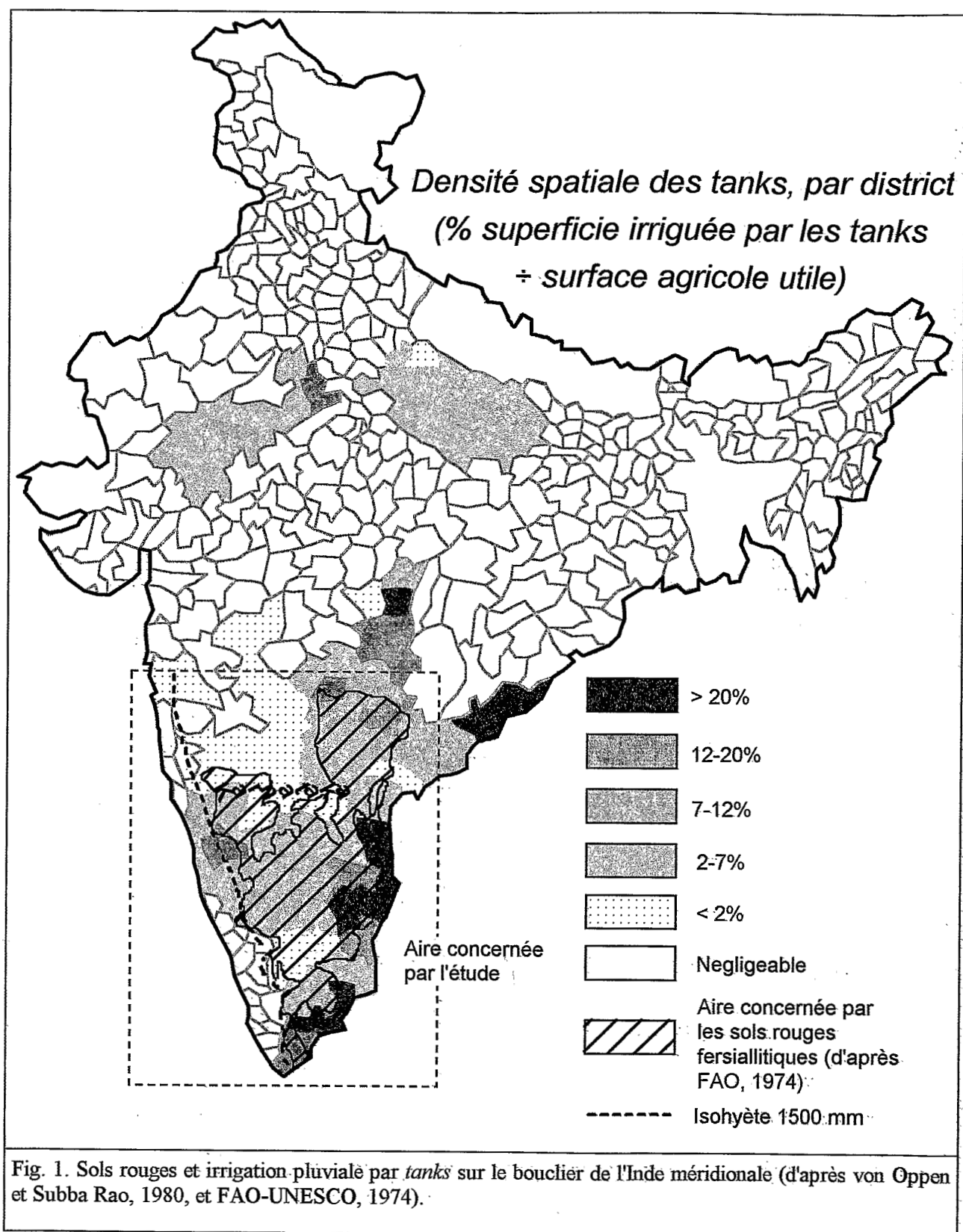
Mots clés : boucliers tropicaux, sols ferrallitiques, Inde, héritages latéritiques, petite hydraulique, gestion de la fertilité

Abstract. *An extensive survey of semi-arid peninsular India reveals that, by comparison with Brazil and West Africa where the erosion of thick, relict lateritic weathering profiles is a chronic threat to agriculture, Indian soils belong predominantly to the Luvisol group and that the landscape is relatively unperturbed by accelerated erosion. Traditional fertility management of these eutrophic soils is centered around an ancient system of water harvesting from small catchments ('tank' irrigation) which collect surface runoff while arresting soil loss by retaining sediment within the village watershed. Desilting of the tanks, which traditionally ensured a redistribution of fertility back to the fields alongside manuring and, latterly, inorganic fertilization has, however, fallen into neglect. Mining of groundwater has taken over under the impetus of the Green Revolution but a return to tank rehabilitation accompanied by total watershed management is probably the key to the sustainable future of Indian dryland agriculture.*

Key words: *tropical shields, ferrallitic soils, relict laterite, India, water harvesting, fertility management*

Introduction : un cadre et quelques définitions

Les hautes terres de l'Inde du Sud partagent avec l'Afrique de l'Ouest et le Nordeste brésilien, entre autres, une séquence bioclimatique qui constitue un exceptionnel laboratoire naturel pour l'étude des sols (Gunnell et Bourgeon, 1997), des systèmes agraires (Gunnell, 1999) et des processus d'érosion qui s'y inscrivent. La diagonale semi-aride de l'Inde péninsulaire diffère toutefois



de ces régions par au moins trois aspects bioclimatiques qu'il faut d'emblée souligner : (i) malgré des conditions "moyennes" définissant une ambiance soudano-sahélienne, les régimes pluviométriques sont uni- mais souvent bi-, voire trimodaux. (ii) La végétation de savane est absente du sous-continent : le labour domine dans le paysage agricole appelé *maidan* ("pays ouvert") et dérive d'une forêt sèche dont il ne reste que des reliques dégradées sur les reliefs. (iii) La pratique de la jachère longue a entièrement disparu.

La grande originalité physique du socle indien se manifeste surtout dans les larges superficies

(Fig. 1) occupées par des sols rouges ferrallitiques (Bourgeon, 1992) formés par pédogenèse primaire. Leur nature, leur origine et leur fonctionnement hydrodynamique explique, pour l'essentiel, les pratiques séculaires de gestion conservatoire de ces sols : ces dernières seront donc analysées après une préalable présentation du milieu physique concernant plus particulièrement le vaste plateau du Karnataka.

La prédominance de sols ferrallitiques dans la zone sèche s'accompagne d'une exceptionnelle rareté des *reliques ferrallitiques* : ces dernières désigneront ici les superficies des boucliers tropicaux qui présentent des stocks d'altérites monosiallitiques survivant actuellement dans des conditions bioclimatiques aridifiées, et donc différentes de celles qui avaient présidé à leur genèse. Une approche comparative sous le jour de cette définition alimentera une discussion sur les avantages du milieu naturel indien par rapport à celui des boucliers afro-américains.

1. Les stigmates de l'érosion dans le paysage rural de l'Inde du Sud semi-aride

1.1. L'érosion potentielle

En raison du gradient de continentalité croissant du sud vers le nord, et de l'ouest vers l'est, respectivement, les cartes d'érosivité des pluies pour l'Afrique (Roose, 1994) et pour l'Inde (Babu et al., 1978) sont d'une similitude frappante. En revanche, ceci ne signifie nullement que, pour des agressivités climatiques équivalentes, les taux d'érosion réelle soient aussi problématiques en Inde qu'en Afrique de l'Ouest. L'agressivité climatique n'exprime, en effet, que l'énergie potentielle de l'érosion : cette dernière n'est effective que si le matériau agressé est vulnérable.

En Afrique de l'Ouest, les sols ferrugineux tropicaux de la classification française sont très répandus et leur grande vulnérabilité à l'érosion pluviale est préoccupante. En Inde du Sud sèche, environ 60% de la couverture pédologique (Fig. 1) correspond à des sols rouges ferrallitiques classés comme Alfisols par la Soil Taxonomy et par les cartes des sols indiennes. Les Alfisols recouvrent aussi bien les sols ferrugineux tropicaux que certains sols ferrallitiques dont les teneurs en bases échangeables et en minéraux argileux de haute charge diffèrent sensiblement (Bourgeon et Gunnell, 1998). La carte FAO-UNESCO de 1974 classe ces sols ferrallitiques en Chromic Luvisols, ce qui constitue une approximation correcte, et plus exacte que l'appellation de Lixisol, qui semble avoir pris le relais dans la World Soil Reference Base (ISSS Working Group RB, 1998)

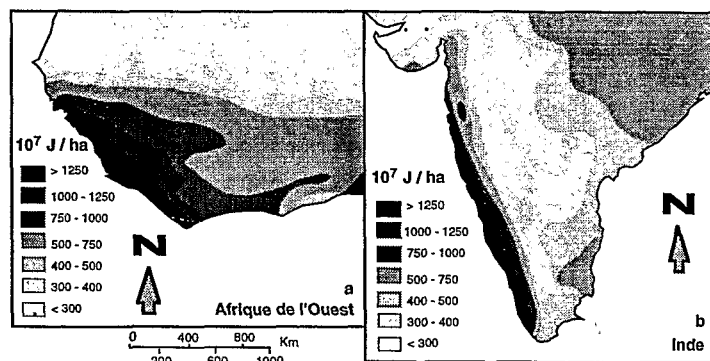


Fig. 2. L'érosion potentielle (paramètre R de l'USLE) en Afrique de l'Ouest (d'après Roose, 1994) et en Inde péninsulaire (d'après Babu et al., 1978). La ressemblance entre (a) et (b) s'explique par la similitude des séquences climatiques d'Inde du Sud et d'Afrique de l'Ouest. Les ceintures isoplèthes sont plus larges en Afrique en raison d'un gradient bioclimatique moins fort. Pour des valeurs de R équivalentes, la sensibilité des sols à l'érosion n'est toutefois pas identique en Inde et en Afrique en raison des héritages.

Reference Base (ISSS Working Group RB, 1998) commet la maladresse de réinterpréter les "Chromic Luvisols" de la version précédente en "Lixisols", ce qui constitue un obstacle intellectuel sérieux à la compréhension de la géographie des sols et de leur sensibilité à l'érosion. Or, fait majeur, les terres fersiallitiques indiennes se trouvent dans une situation d'équilibre morpho-pédologique sans équivalent en Afrique (Gunnell, 2000), ce qui semblerait en même temps leur conférer certains atouts exceptionnels de stabilité vis-à-vis de l'érosion accélérée.

1.2. L'érosion réelle

1.2.1. Erosion ravinante : un bilan discret

Gunnell et Lageat (1998) ont signalé l'extrême rareté des stigmates de l'érosion mécanique sur les hautes terres cristallines indiennes. Les domaines où le ravinement existe sont d'extension spatiale limitée et restreints au seul secteur semi-aride, localisé au centre de la péninsule, où affleurent d'épais profils d'altération kaolinique marqués par la présence de tables cuirassées. Ces profils monosiallitiques sont désormais situés en dehors de la zone de ferrallitisation actuelle et sont donc des héritages morpho-pédologiques. Cette zone de reliques ferrallitiques (*sensu hic*) occupe un modeste total de ~ 3000 km² autour de Bangalore et se distingue donc par son exigüité.

1.2.2. Erosion en nappe : l'avantage des sols eutrophes sur profil d'altération bisiallitique

Le ravinement, pour les pratiques agricoles, est ambigu : en effet, il modifie le système de pentes de manière souvent irréversible pour le passage d'instruments aratoires — pour peu que l'agriculture soit mécanisée — mais il permet aussi d'accéder aux réserves minérales des arènes dans les régions d'épaisses couvertures ferrallitiques fortement désaturées. L'érosion en nappe est également ambiguë : sans profondément modifier les systèmes de pentes, elle décape ou squelette les horizons superficiels des sols. Les effets de l'érosion en nappe sont particulièrement néfastes dans le cas des profils où stone-lines, plinthites ou horizons gravillonnaires sont sub-affleurants. Ce risque est particulièrement élevé dans les régions de reliques monosiallitiques, très répandues sur le bouclier ouest-africain mais rares sur le bouclier indien.

La plupart des études sur l'érosion des sols insistent sur le rôle fondamental des 20 premiers centimètres de la surface, dans lesquels s'enracinent les cultures, et dont la plus forte teneur en matière organique est également un gage de stabilité structurale. Ceci est toutefois surtout vrai pour les sols dont la fraction minérale est chimiquement pauvre et dont l'horizon cendreux issu, par exemple, d'un essartage constituera le meilleur support à une culture à cycle court. Dans le cas des profils bisiallitiques de l'Inde du Sud, l'érosion des horizons superficiels n'est pas un handicap généralisé : certes, l'horizon organique naturel est maigre ou inexistant, et la texture grossière et peu agrégée (densités apparentes de 1,5 à 1,7) de la fraction minérale rend les horizons de surface sensibles à la battance et au décapage ; mais le Tableau 1 montre, sinon un accroissement, en tout cas un maintien, pour ces sols eutrophes, de bons paramètres chimiques avec la profondeur. Ces caractéristiques sont incomparablement meilleures que ce que pourrait laisser croire le rangement des sols respectivement ferrugineux et fersiallitiques dans la même catégorie taxonomique. Ceci signifie qu'un décapage des quelques centimètres de la surface ne constitue pas obligatoirement une gêne sérieuse aux rendements agricoles. Ces derniers sont certes modestes (5 qx/ha sans engrais chimique pour les millets) mais, atout majeur, la fertilité chimique naturelle permet une mise en culture continue de la plupart des parcelles. En fait, les profils de Luvisols tronqués sont réputés meilleurs pour l'agriculture que les profils intacts (ISSS Working Group RB, 1998), ce qui n'est pas le cas des Lixisols — d'où le problème des confusions relatives à la classification mondiale des sols. Les sols rouges monogéniques indiens sont de trois sortes : sols fersiallitiques les-

sivés, calcimorphes ou décalcifiés, respectivement, en fonction du régime pluviométrique actuel (Bourgeon, 1994), et sont tous fortement différenciés. Les profils d'altération sont relativement épais, (~ 10 m), ce qui néanmoins paraît peu par rapport aux profils de la zone soudano-sahélienne (parfois > 30 m). Avec une diminution de la pente des versants au niveau des bas-fonds, les sols bruns eutrophes (sur relief résiduel) et rouges (sur glacis : Bourgeon, 1992) sont relayés en aval par des Vertisols. Malgré la vulnérabilité physique de ces derniers, l'érosion (notamment ravinante) y est faible car ils occupent les points bas du paysage sur des pentes infimes. C'est donc l'ensemble caténaire des unités morpho-pédologiques qui semble bénéficier d'une stabilité globale.

Prof. cm	pH H ₂ O	C org. %	Argile %	Bases échangeables				CEC	
				Ca	Mg	K	Na	(1)	(2)
GU01 - 11° 47' N, 76° 38' E - Karnataka (Bourgeon 1992)									
0-10	6,9	0,84	16,4	3,4	1,8	0,3	0,0	6,1	37
10-70	6,6	0,64	32,3	7,0	3,0	0,1	0,1	10,3	32
70-100	6,8	0,58	33,3	11,7	4,1	0,2	0,2	15,0	45
100-115	7,1		19,7	11,3	4,5	0,2	0,1	18,3	93
115-150	8,3		7,5	10,5	3,9	0,1	0,3	14,4	192
SING2 - 10° 47' N, 76° 58' E - Tamil Nadu (Bourgeon 1992)									
0-15	6,4	0,31	6,3	2,6	0,9	0,2	0,1	4,2	67
15-30	6,7		20,7	8,8	2,6	0,2	0,1	12,1	58
50	7,2		5,8	4,1	0,9	0,1	0,0	5,0	86
100	8,0		11,7	16,0	1,4	0,2	0,0	10,9	93
PATANCHERU - 17° 35' N, 78° 17' E - Andhra Pradesh (Sohan Lal <i>et al.</i> 1994)									
0-10	6,5	0,84	17,9	5,8	1,9	0,3	0,1	8,1	45
10-20	6,5	0,79	18,4	5,6	2,1	0,3	0,2	8,4	46
20-30	6,7	0,85	32,5	10,8	2,9	0,2	0,2	14,6	45
30-49	6,7	0,85	34,5	11,0	3,1	0,2	0,2	15,1	44
49-102	7,8	0,48	39,5	14,3	3,4	0,2	0,3	17,0	43
102-145	7,0	0,23	24,3	18,9	4,7	0,2	0,4	22,2	91
RAYALPADU - 13° 00' N, 78° 24' E - Karnataka (Sohan Lal <i>et al.</i> 1994)									
0-13	5,8	0,20	12,3	1,7	1,4	0,1	0,1	7,5	61
13-42	5,8	0,30	49,2	8,7	3,7	0,2	0,2	15,9	32
42-60	5,5	0,30	42,3	10,2	3,0	0,1	0,2	14,7	35
60-92	5,8	0,50	26,2	8,3	3,0	0,1	0,2	14,6	55

Tableau 1.

Caractérisation de la fertilité chimique de quelques profils de sols rouges de l'Inde du Sud. Noter l'impact limité que peut avoir sur la capacité d'échange cationique l'érosion des quelques décimètres superficiels, ainsi que le maintien relatif des bases échangeables avec la profondeur. Autres indicateurs de fertilité : pH voisin de 7, réserves minérales (attaques triacides) très élevées, carence modeste en N et P, remédiable (Bourgeon, 1987) avec 40 à 60 kg/ha de N et 5 à 10 kg/ha de P sur les variétés améliorées de mil et de sorgho.

CEC mesurée à l'acétate d'ammonium à pH 7 et exprimée : (1) en cmol(+) / kg de terre fine ; (2) en cmol(+) / kg d'argile

En définitive, aucune érosion accélérée d'origine anthropique, autre que la regradation chronique des glacis-versants agricoles, ne semble avoir affecté les hautes terres du Karnataka dans un passé récent. Les sociétés traditionnelles ont bien saisi cette consanguinité des unités morpho-pédologiques (trilogie relief résiduel / glacis / bas-fond), pour qui gérer la fertilité se conçoit de façon globale, dans le cadre de micro-potentialités de terroir réparties au sein d'un système de transfert et de renouvellement des couvertures pédologiques. Très répandus, les sols rouges ne sont pas identifiés par les agriculteurs, ni par les autorités, comme étant des sols à problèmes.

2. Gestion de l'érosion par capture et recyclage des eaux de ruissellement

Un aperçu des conditions agroclimatiques et des pratiques culturales dans l'Inde méridionale des millets a été synthétisé par Gunnell (1999). On se focalisera ici sur le rôle fondamental du *runoff harvesting* en tant que clé de voûte du système homme-érosion dans les paysages à sols rouges.

2.1. Le système traditionnel des *tanks*

Le déficit hydrologique lié au drainage profond faible à nul en Inde du Sud semi-aride est compensé par des flux d'eau dans les parties superficielles des sols et par des temps de concentration assez courts, ce qui permet l'organisation d'une petite hydraulique efficace dans toute la zone des sols rouges (von Oppen, 1987). Des réservoirs villageois, appelés *tanks*, sont utilisés depuis le Moyen Age au Karnataka et en pays tamoul pour l'irrigation des bas-fonds (Fig. 1). Cette transformation du paysage de la zone sèche des hautes terres correspond à la volonté politique de propagation, et au succès culturel, de la riziculture à partir du foyer tamoul de la riziculture irriguée dans le delta de la Cauvery, et s'est appuyée sur des pouvoirs dynastiques puissants et d'une assez grande longévité.

L'irrigation par *tank* se double souvent d'une série de puits situés en aval du *tank* : les eaux issues de celui-ci rechargent la nappe souterraine située plus en aval et ce recyclage permet d'assurer un appoint, sinon une récolte supplémentaire par système d'exhaure. Les *tanks* seraient au nombre de ~ 39 000 au Tamil Nadu (1,084 Mha irriguables par ce système), ~ 36 000 au Karnataka (1,600 Mha irriguables). La superficie individuelle d'un *tank* varie de 1,5 à 50 ha. Fermés par des digues appelées *bunds* et placées en travers des bas-fonds, les réservoirs forment souvent des chapelets (*chain tanks*) dans l'axe de ces derniers. Tous créent autant de niveaux de base localisés qui fractionnent le parcours de l'eau, bloquent l'érosion et retiennent, par décantation, les transferts de matière au sein du finage villageois. Le degré d'intégration et de structuration du système agromorpho-pédologique est donc élevé. On distingue les *system tanks*, qui sont alimentés par un canal de dérivation à partir d'une rivière pérenne mais ne constituent que moins de 15% des cas au Tamil Nadu, et les *non-system tanks*, qui reçoivent surtout les eaux de ruissellement sur les glacis, mais aussi les écoulements temporaires de bas-fonds si le *tank* se situe dans une chaîne.

Inévitablement, les *tanks* se colmatent. Il incombait traditionnellement aux villageois, jusqu'à ce que leur gestion soit remise en 1872 au service des ponts-et-chaussées (Public Works Department), de les curer pour le bien collectif (la récolte) dans le cadre du système vivrier irrigué de l'*ayacut* (aire inondable, souvent rizicole, en aval immédiat du *tank*). Les limons du *tank*, issus de la squelettisation des parcelles en culture sèche dans l'aire contributive située en amont, sont encore aujourd'hui restitués aux parcelles par charrettes entières (ce qui n'empêche pas l'utilisation croissante d'engrais minéraux pour optimiser certains aspects chimiques de la fertilité) en vue de rééquilibrer la texture des sols rouges. Ces derniers sont, en effet, souvent sableux et donc battants en raison de la squelettisation liée au ruissellement superficiel. Le remplissage limono-argileux des *tanks* en est d'ailleurs le reflet direct. Les agriculteurs effectuent ainsi un véritable travail de Sisyphe, qui consiste non pas simplement à endiguer l'érosion, mais (dans une certaine proportion seulement) à la déjouer. Le compostage des résidus de culture et l'apport de fumure bovine et ovine sont également couramment pratiqués, soit par tradition, soit suite à l'intervention des multiples corps d'ingénieurs qui mettent en œuvre une politique rurale étatique, qui se conjugue à la diffusion de la Révolution Verte. Parmi les Etats de l'Inde, les réformes agraires au Karnataka ont été plutôt bénéfiques, et il se trouve que la partie méridionale des hautes terres, qui est aussi la plus riche en sols rouges et en *tanks*, est aussi celle où la sécurisation foncière est la plus ancienne

(plus de 88% de paysans-proprétaires, toutes tailles d'exploitation confondues) — même si 42% des agriculteurs de l'état sont ouvriers agricoles sans terres. Outre les stratégies culturelles traditionnelles visant à assurer une couverture végétale maximale en saison des pluies (Gunnell, 1999), la création de bandes d'arrêt enherbées ou complantées et de bourrelets de diversion en bordure de parcelles de culture pluviale est très répandue : elle optimise la distribution de l'eau pluviale au sein de la parcelle individuelle et limite l'érosion mécanique. Cette pratique, associée au nivellement des parcelles (*land levelling*) sur des pentes même très faibles (1°), s'est manifestement diffusée vers les glacis en culture pluviale à partir de la tradition des casiers de paddy à diguettes des périmètres rizicoles (*table-top bench terracing*).

De nombreux facteurs concourent ainsi, globalement, à une assez bonne Gestion Conservatoire de l'Eau, de la biomasse et de la fertilité des Sols (ou GCES, cf. Roose, 1994, et appelée, en Inde, *Total Watershed Planning and Biomass Optimization Strategy*) en Inde du Sud semi-aride, facilitée par une pleine intégration, multiséculaire, de l'agriculture et de l'élevage et de fortes concentrations de main d'œuvre.

2.2. Conditions démographiques et gestion de l'érosion : quelques hypothèses

Il serait certes naïf de penser que les ressources de la zone semi-aride de l'Inde méridionale sont illimitées et que les agrosystèmes sont invulnérables. Von Oppen (1987) considère à ce sujet que la relation entre la densité de population et la superficie occupée par les *tanks* n'est pas linéaire : la création de *tanks* deviendrait économiquement rentable à partir d'un seuil de densités humaines de l'ordre de 50-60 hab. km⁻², puis croîtrait linéairement jusqu'à un second seuil de 220 hab. km⁻² au delà duquel l'intérêt à construire et entretenir des *tanks* diminue. En effet, cette tendance repose sur l'argument économique selon lequel la valeur de la terre occupée par la mise en eau d'une superficie *a priori* arable (bas-fond) augmente avec la pression démographique sur la terre. Du coup, la pertinence du *tank* en tant que ressource gérée communautaire est remise en question, aussi bien par les riches propriétaires, qui ont les moyens de creuser des puits privés dont ils seront les seuls à profiter, que par les paysans sans terres. En effet, le lit du réservoir, enrichi en fines et donc fertile durant la saison sèche, est soumis à des empiètements agricoles, ce qui introduit les germes d'une implosion du système communautaire conforme au scénario bien connu de la Tragédie des Communs. La devise selon laquelle des densités humaines plus importantes sont la garantie d'un plus grand soin de la terre serait donc valable à l'intérieur d'une fourchette de densités comportant un plancher mais aussi un plafond. La réalité d'un tel plafond, en tout cas, est probablement pertinente tant qu'un certain seuil agro-technique, permettant de produire davantage dans de nouvelles conditions socio-économiques, n'est pas franchi (Roose, 1994); mais il est également possible que des seuils de déséconomies et de perturbation agro-écologique irréversibles soient franchis si certains seuils agro-techniques sont transgressés dans un environnement particulièrement sensible : le concept de fourchette optimale conserve donc, sans doute, toute sa validité. Au Karnataka, les densités actuelles dans les zones d'agriculture pluviale sur sols rouges, avec présence de *tanks* d'appoint, sont comprises entre 100 et 200 hab. km⁻². Dans les bassins à sols noirs, où l'irrigation s'effectue par canaux de dérivation depuis de grands lacs de barrage, les densités atteignent localement 300 hab. km⁻² et sont actuellement des terres d'immigration. Dans un tel contexte de grande hydraulique récente, ainsi que dans les régions de sols rouges où l'irrigation par forage (*tubewells*) s'est répandue durant ces 15 dernières années et s'ajoute aux *tanks*, on bascule cependant dans d'autres logiques socio-économiques et d'autres échelles de gestion de l'eau, des sols et de l'érosion.

2.3. La maîtrise de l'érosion, clé de l'harmonie sociale

Le rôle pivot de la maîtrise hydraulique dans la conservation des sols rouges au Karnataka est reflété par l'urgence et l'ampleur des grands programmes actuels de réhabilitation et de curage des *tanks* (avec financements de l'Union européenne, de la Banque Mondiale, et l'intervention d'ONG). En effet, suite à plus d'un siècle d'incurie, la désaffectation pour l'entretien des *tanks* depuis leur transfert sous la tutelle de l'Etat se solde aujourd'hui par une perte de capacité de stockage à un taux moyen estimé de 1%/an. Celle-ci encourage au creusement effréné par les fermiers de puits individuels, en zone d'*ayacut* mais aussi en site d'interfluve. Le risque imminent est une faillite intégrale du système de production en zone sèche hors des périmètres des grands barrages, car le surpompage en terrain granitoïde fracturé aboutit à des puits taris bien qu'atteignant parfois 30 à 40 m de profondeur, ainsi qu'une faillite du système social puisqu'un nouveau fossé se creuse entre les propriétaires de puits et les autres. Les puits de bas-fond ou de bas de versant en zone d'*ayacut* (surtout dans les *ayacuts* inférieurs à 40 ha, plus performants en termes de conservation de l'eau), présentaient l'avantage de pouvoir suppléer aux récoltes irriguées durant les années (même dans le cas de deux années consécutives) de déficit pluviométrique. Ceci provient du fait que le cycle de l'eau est à deux vitesses : si la recharge des *tanks* est saisonnière et utilisable autant de fois qu'il y a de pics pluviométriques annuels, la recharge des aquifères du socle exige un temps de latence d'une période de 1,5 à 2 ans. Ainsi, les pluies d'une année n ne seront profitables à l'irrigation par puits que durant l'année $n+2$. Il est clair qu'avec une surmultiplication des puits, encouragée par l'électricité gratuite pour les motopompes dans certains états comme le Tamil Nadu, cet avantage est menacé.

La capture du ruissellement (*runoff harvesting* : cf. les *tanks*), l'infiltration totale (*water absorption* : cf. les puits d'*ayacut*) et la dissipation de l'énergie de ruissellement (*runoff spreading* : *bunds* en tous genres autour des parcelles) doivent ainsi fonctionner de concert, et le curage des *tanks* en demeure la pièce maîtresse. Dans des sols chimiquement fertiles et modestement agressés par une érosion accélérée, les stratégies de lutte anti-érosive sur les versants interviennent surtout pour rallonger la demi-vie des réservoirs et ralentir les vitesses de comblement. Celui-ci étant néanmoins inévitable, c'est surtout sur le recyclage de la fertilité par curage des *tanks*, donc la *maîtrise* communautaire et non l'*abolition* (impossible) de l'érosion, que repose la durabilité du système. Certes, vu ses origines et le degré de saturation de l'espace aujourd'hui atteint par les *tanks* en Inde du Sud, le système n'est pas nécessairement aussi "indigène" et "traditionnel" que certains oseraient le souhaiter : il faut, en effet, reconnaître que ce système s'est développé sous l'influence de rois, de seigneurs et de riches parrainages religieux dont les agents d'exploitation, dans les villages, pourraient être comparés à des ingénieurs, "développeurs" ou technocrates de l'Etat moderne. Il n'en demeure toutefois pas moins que cette gestion de l'érosion et de l'eau à l'échelle locale se démarque aujourd'hui radicalement, du point de vue des impacts sur l'environnement et de la durabilité du système, de la grande hydraulique et de l'ensablement des grands barrages, qui constitue l'autre visage de la relation technocratique entre érosion et développement dans l'Inde indépendante.

3. Un éclairage indien sur l'hydrodynamisme des sols en Afrique soudano-sahélienne

En Afrique de l'Ouest, les désavantages de couvertures ferrallitiques épaisses dont le couvert forestier a disparu en raison d'un changement climatique sont multiples.

1 - Les nappes phréatiques sont plus profondes, donc plus difficiles à exploiter avec des moyens techniques limités. Contrairement à l'Inde du Sud, la petite hydraulique n'a ainsi pas pu se développer et donc la possibilité de compenser les déficits hydriques de saison sèche par une irrigation de type *tank* demeure difficile — notamment dans un contexte historique de faibles densités.

2 - La redistribution des constituants par séparation du fer, des quartz et des argiles qui caractérise le remaniement des vieilles altérites kaoliniques de la zone soudano-sahélienne est un phénomène aujourd'hui bien connu (Kaloga, 1987). Les conséquences de cette déstructuration sur l'érodabilité des horizons sableux superficiels, ainsi que sur la mosaïque caténaire qui peut résulter de la troncature plus ou moins profonde de ces profils à différents niveaux du versant, est considérable. Le morcellement hydrodynamique du paysage est ainsi plus élevé qu'en Inde, ce qui exige des solutions plus complexes, plus localisées et plus empiriques de gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (v. Roose, 1994).

4. Un éclairage indien sur la capture des eaux de ruissellement dans le Brésil semi-aride

Avec les sols brésiliens se pose l'irritant problème des correspondances dans les classifications. Il est difficile, faute de corrélations croisées, de savoir si les "sols podzoliques jaunes-rouges" sur socle cristallin du Nordeste, dont le climat actuel est comparable à plusieurs sites de l'Inde du Sud, sont équivalents des sols fersiallitiques indiens ou des sols ferrugineux tropicaux africains. Guichard (1970) reconnaît que le caractère eutrophe de nombreux profils analysés suggère une nature bisiallitique affirmée, et compare certains sols du bassin du Jaguaribe aux sols fersiallitiques de l'Angola décrits par Botelho da Costa (1959). Bourgeon (1992), dans son étude détaillée des sols fersiallitiques du sud de l'Inde, s'en est aussi référé aux sols rouges angolais. Il semble donc raisonnable, dans l'état actuel des connaissances, de considérer que les sols rouges et bruns du Nordeste sont comparables à ceux du Karnataka semi-aride. Si tel est bien le cas, les interprétations de Leprun (1994) sur le caractère climacique de ces sols brésiliens et la relative stabilité des agro-écosystèmes, dont la fertilité chimique naturelle et la résistance aux agressions physiques même après mise en cultures, est bonne, concorde admirablement avec nos conclusions sur les sols fersiallitiques indiens. Dans ce cas également, la transformation des chromic Luvisols du Nordeste sur la carte UNESCO-FAO en Lixisols dans la World Reference Base n'est pas plus justifiée que dans le cas indien. Les profils d'altération sont de faible épaisseur, portent des sols eutrophes et ont un comportement hydrodynamique comparable à ceux du Karnataka. La topographie en glacis plutôt courts et un système de pentes plus raide qu'en Afrique de l'Ouest sahélienne a permis la multiplication des *açudes*, ou réservoirs de stockages des eaux superficielles comparables aux *tanks* indiens.

Conclusion

L'étude des provinces de sols rouges en Inde du Sud permet de dresser le bilan suivant.

1 - Dans la zone intertropicale à saisons contrastées, les zones fragiles à l'échelle continentale sont les couvertures ferrallitiques héritées d'un passé plus humide survivant actuellement dans des conditions qui mettent en échec le maintien d'une végétation forestière couvrante. L'hypertrophie des ceintures altérologiques relictuelles de l'Afrique subsaharienne en offre un exemple extrême et préoccupant.

2 - Il existe une relation fondamentale entre érosion des sols et érosion des continents. A partir d'environnements latéritiques et donc semblables durant l'ère tertiaire (Inde, Afrique, Brésil), une

bonne partie des boucliers ouest-africain, brésilien et indien ont subi des bifurcations morpho-pédologiques différentes : ferruginisation (Lixisols) sur le craton ouest-africain, fersiallisation sur le craton indien. L'érosion à l'échelle des temps géologiques, que l'on appellera *démudation* et qui est liée aux régimes tectoniques, pèse ainsi lourdement sur l'agression actuelle des manteaux d'altération, que l'on appelle couramment *érosion* et que l'on relie plus volontiers à l'énergie cinétique de la pluie. Cette dernière, de l'Inde à l'Afrique, n'est pas fondamentalement différente : ce qui fait la différence, c'est le terrain sur lequel cette pluie se répartit.

3 - Il est parfois artificiel d'opposer érosion mécanique et fertilité des couvertures pédologiques, car il s'agit de deux tableaux complémentaires sur lesquels peut jouer l'agriculteur dans une stratégie qui tantôt favorisera les transferts de matière, tantôt les endiguera selon la nature eutrophe ou oligotrophe des différents horizons du sol. C'est justement cette fine mosaïque que les agriculteurs africains ont appris à exploiter en fonction des caractéristiques physico-chimiques locales et du calendrier des pluies : sous les dehors d'un manque de maîtrise, les cultivateurs africains utilisent leur environnement, aussi faibles soient ses potentialités, avec un degré très élevé de finesse. Quarante années de développement agronomique en Afrique tropicale sembleraient confirmer que la maîtrise scientifique et technocratique des zones de reliques ferrallitiques n'est pas chose aisée (Roose, 1994).

4 - L'érosion est gérée par les populations agraires comme un système de redistribution de la fertilité au sein d'unités morpho-pédologiques fonctionnelles et non nécessairement perçue comme un tonnage de terre exporté définitivement d'une parcelle de mesure. Les pratiques agricoles conservatrices jouent incontestablement un rôle majeur dans la préservation du patrimoine pédologique, mais on peut malgré tout affirmer que des conditions naturelles favorables au départ facilitent grandement la sédentarisation des sociétés paysannes et le niveau de gestion intégrée qu'elles apportent à leurs finages. Le "système des *tanks*" et le paysage agraire très ordonné de l'Inde méridionale, qui contraste avec l'aspect plus hirsute des paysages africains à jachère longue, en fournit une remarquable illustration.

5 - S'il y avait des transferts de connaissances à effectuer entre l'Inde du Sud et un autre bouclier tropical, ce serait peut-être moins vers l'Afrique (ce que préconise Gourou, 1991) que vers le Nordeste brésilien. Par rapport au Karnataka, les densités humaines du Nordeste brésilien sont faibles, mais l'hypothèse qui peut ressortir de cette comparaison est que le Nordeste, contrairement à une certaine image négative que l'on reçoit de son statut de "polygone des sécheresses", n'est pas contraint par des conditions naturelles fondamentalement plus répulsives que la zone intérieure du Karnataka.

En définitive, l'érosion des sols est une question d'économie politique, et donc de pratiques : faut-il mettre en défens les sites les plus sensibles, ou intensifier habilement les sites les moins sensibles ? Encore faut-il parvenir à distinguer les uns des autres, aussi bien à l'échelle locale du glacis-versant qu'à celle des continents. Les spécialistes de la gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols doivent apporter aux sociétés agraires des réponses nuancées suivant les particularités du milieu physique.

Bibliographie

- BABU, R., TEJWANI, K.G., AGARWAL, M.C., BHUSHAN, L.S., 1978 - Distribution of erosion index and iso-erodent map of India. *Indian Journal of Soil Conservation*, 6(1) : 1-12.
- BOTELHO DA COSTA J.V., 1959 - Ferrallitic, tropical fersiallitic and tropical semi-arid soils. Definitions adopted in the classification of the soils of Angola. In "Comptes Rendus de la 3e Conférence Inter africaine des Sols". Document n° 91, 317-319.
- BOURGEON G., 1987 - Les « sols rouges » des régions semi-arides du sud de l'Inde. II - Potentialités, rôle dans les systèmes agraires. *L'agronomie tropicale*, 42, 165-170.
- BOURGEON G., 1992 - Les « sols rouges » de l'Inde péninsulaire méridionale : pédogenèse fersiallitique sur socle cristallin en milieu tropical. Publications du département d'écologie, Institut Français de Pondichéry, n° 31, 271 p.
- BOURGEON G., 1994 - Degré d'aridité, dynamique du calcium et pédogenèse en Inde péninsulaire. *Sécheresse*, 5 : 185-190.
- BOURGEON G., GUNNELL Y., 1998 - Rôle du régime tectonique et du taux de dénudation sur la géographie et les propriétés des sols tropicaux. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Paris, Sér. IIa*, 326 : 167-172.
- FAO-UNESCO, 1974 - Carte mondiale des sols au 1 : 5 000 000, feuille VII-1, Asie du Sud. Unesco, Paris.
- GOUROUP P., 1991 - L'Afrique tropicale, nain ou géant agricole ? Flammarion, Paris, 229 p.
- GUICHARD E., 1970 - Les sols du bassin du val Jaguaribe (Brésil). *Mémoire ORSTOM*, Paris, 40, 146 p.
- 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*, 605, 46-66.
- GUNNELL Y., 2000 - The characterization of steady state in earth surface systems: findings from the gradient modelling of an Indian climosequence. *Geomorphology*, sous presse.
- GUNNELL Y., BOURGEON G., 1997 - Soils and climatic geomorphology on the Karnataka Plateau, peninsular India. *Catena*, 29 : 239-262.
- GUNNELL Y., LAGEAT Y., 1998 - Erosion 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*, 51 : 113-140.
- ISSS WORKING GROUP RB, 1998 - World Reference Base for Soil Resources: Atlas (BRIDGES E.M., BATJES N.H., NACHTERGAELE F.O., eds). ISRIC-FAO-ISSS-Acco, Leuven, 79 p.
- KALOGA B., 1987 - Le manteau kaolinique des plaines du centre-sud de la Haute-Volta. Etudes et Thèses, ORSTOM, Paris, 344 p.
- 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. *Etude et Gestion des Sols*, 1 : 45-65.
- ROOSE E.J., 1994 - Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bulletin pédologique de la FAO*, 70, 420 p.
- SOHAN LAL, DESHPANDE S.B., SEHGAL J.L., 1994 - Soil series of India. Nagpur, National Bureau of Soil Survey & Land Use Planning (ICAR), Publ. n° 40.
- VON OPPEN M., 1987 - Tank irrigation in South India : adapting a traditional technology to modern socioeconomic conditions. In PATHAK P., EL-SWAIFY S.A., SARDAR SINGH (coord.) "Alfisols in the semi-arid Tropics : a Consultant's Workshop". Proceedings of the consultant's Workshop on the state of the art and management alternatives for optimizing the productivity of SAT Alfisols and related soils, 1-3 December 1983, ICRISAT Centre, Patancheru, India : 89-93.

**RESEAU
EROSION**



Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION

Pour citer cet article / How to cite this article

Gunnell, Y. - Gestion traditionnelle de l'eau et des sols en Inde du sud semi-aride, pp. 69-79, Bulletin du RESEAU EROSION n° 19, 1999.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : beep@ird.fr