

Esquisse sur les grandes zones de sols du sud de l'Inde

Gérard BOURGEON

Pédologue IRAT-CIRAD, Institut Français de Pondichéry, 10 rue St-Louis, B.P. 33, Pondichéry, 605001 Inde

RÉSUMÉ

Le sud de l'Inde présente sur socle archéen, une succession originale de zones de sols. Les facteurs du milieu qui peuvent expliquer cette répartition, géologie, climat et relief sont rappelés. L'accent est mis, dans cette présentation, sur le système morpho-climatique que constituent les Ghâts occidentaux, véritable barrière orographique qui se dresse parallèlement à la côte ouest de la péninsule. Six grandes zones morpho-climatiques sont distinguées et pour chacune d'entre elles, des exemples de paysages morphopédologiques sont décrits. Les sols des zones humides sont des sols ferrallitiques semblables à ceux d'autres régions tropicales, beaucoup sont indurés et la répartition des grands ensembles indurés est indiquée. Les « sols rouges » des zones semi-arides sont de type fersiallitique ce qui constitue un trait pédologique original du sous-continent indien. Les sols d'altitude, très organiques, ne sont qu'évoqués. Une comparaison entre la répartition des couvertures pédologiques indienne et ouest-africaine est esquissée et des arguments sont avancés pour expliquer quelques unes des différences relevées entre ces deux parties du monde tropical.

MOTS-CLÉS : Inde — Sols ferrallitiques — Sols fersiallitiques — Latérite — Géographie des sols — Morphopédologie.

ABSTRACT

OUTLINE OF THE MAJOR SOIL ZONES OF SOUTH INDIA

South India presents an original succession of soil zones on the Archaean shield. The environmental factors which may explain this distribution, i.e., the geology, climate and relief, are described. In this presentation, emphasis is given to the morpho-climatic system constituted by the Western Ghats which are a veritable orographic barrier lying parallel to the western coast of the peninsula. Six major morpho-climatic zones are distinguished, and examples of morpho-pedological landscapes are described for each of them. The soils of the humid zones are ferrallitic soils, similar to those of other tropical regions. Many of them are lateritized (indurated); the distribution of the main lateritic areas is indicated. The « red soils » of the semi-arid zones are of the fersiallitic type, constituting an original pedological feature of the Indian subcontinent. The highly organic soils of high elevations are only mentioned.

A comparison between the pedological cover of India and West Africa is outlined and arguments advanced to explain some of the differences between these two tropical regions of the world.

KEY WORDS : India — Ferrallitic soils — Fersiallitic soils — Laterite — Soil Geography — Morpho-pedology.

INTRODUCTION

La présentation des sols du sud de l'Inde qui est faite ici intéresse la zone comprise entre les 11° et 15° paral-

lèles de latitude nord. Cette zone comprend une grande partie de l'Etat du Karnataka, l'Etat de Goa, le territoire de Pondichéry et une partie seulement des Etats du Kérala et du Tamil-Nadu. La simple lecture de

l'hypsométrie (fig. 1) permet de distinguer les deux zones côtières est et ouest du plateau central du Deccan, les escarpements limitant le plateau portent le nom de Ghâts. Au sud, le plateau se termine par une zone élevée : le massif des Nilgiri.

Pour cette présentation, on s'appuiera essentiellement sur les travaux réalisés par l'Institut Français de Pondichéry (1) dans le cadre des études écologiques du sud de l'Inde. Il est en effet assez difficile de faire référence aux travaux d'inventaire des services pédologiques indiens car il n'existe aucune carte à une échelle appropriée (entre le 1/250 000 et le 1/1 000 000e). A cette première difficulté s'ajoute le problème de la classification pédologique utilisée : les sols cultivés du sud de la péninsule indienne ont longtemps été divisés par les scientifiques indiens en quatre catégories : sols alluviaux,

sols latéritiques, sols rouges et sols noirs (RAYCHAUDURI *et al.*, 1963), les sols forestiers n'étant généralement pas étudiés et non classés (« forest soils »). Récemment, l'introduction de la Soil Taxonomy a conduit à des changements d'appellation et les catégories précédentes ont été assimilées respectivement aux Entisols-Inceptisols, Ultisols-Oxisols, Alfisols et Vertisols, cela souvent sans bien reconsidérer les propriétés des sols en fonction des critères de classification ce qui conduit aujourd'hui certains spécialistes (NAGA BHUSHANA *et al.*, 1987) à conclure que sur 9 séries assimilées aux Alfisols de la « Benchmark soils » de l'Inde (MURTHY *et al.*, 1982), 4 ont des caractéristiques micromorphologiques qui contredisent cette assimilation. Aujourd'hui encore, il est souvent fait référence aux anciennes dénominations.

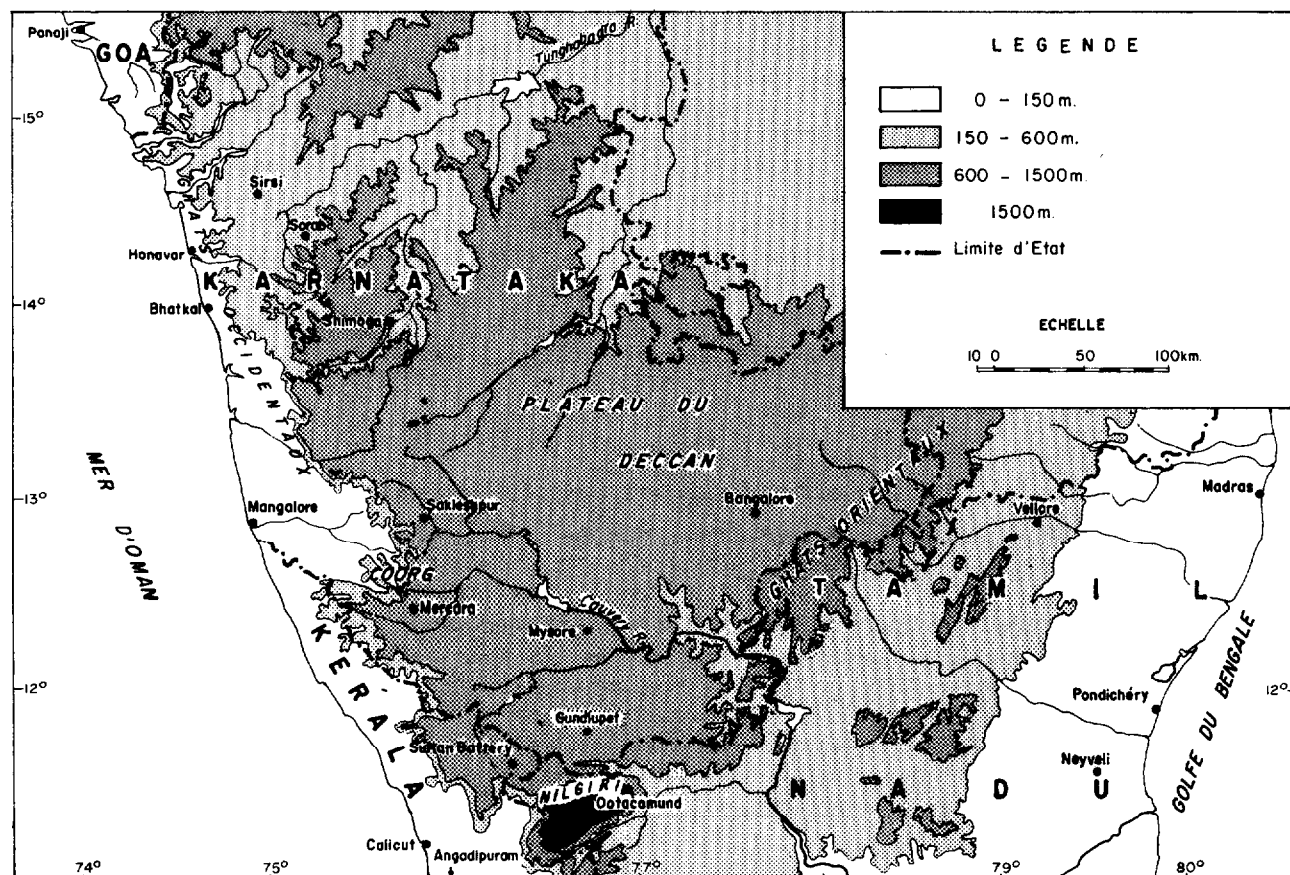


FIG. 1. — Carte de localisation et hypsométrie

(1) Notamment la « Reconnaissance Soil Map of Forest Area » au 1/1 000 000 en cours d'édition ainsi qu'aux travaux en cours sur les sols rouges de la zone semi-aride.

Dans d'autres domaines qui permettent de comprendre la distribution des sols, géologie notamment, de nombreux travaux indiens existent auxquels il sera fait référence.

Une séquence ouest-est sera décrite par grandes unités physiographiques subdivisées en tenant compte des différentes zones bioclimatiques.

1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE

1.1. Géologie (fig. 2)

La péninsule indienne est, dans sa partie méridionale, constituée presque exclusivement de roches archéennes ;

seules les franges côtières sont formées de sédiments plus récents. Les basaltes du Deccan sont situés au nord de la région décrite et les sols qu'ils portent ne seront pas évoqués dans cette note.

LE SOCLE ARCHÉEN

Le socle archéen est constitué de roches cristallines - gneiss, granites et charnockites essentiellement - qui alternent avec d'anciennes séries volcano-sédimentaires - les « schist-belts » très souvent regroupées sous le vocable « schistes de Dharwar » -. Le socle est divisé en trois zones en fonction de l'intensité du métamorphisme. On distingue :

— une zone de schistes verts au nord ouest,

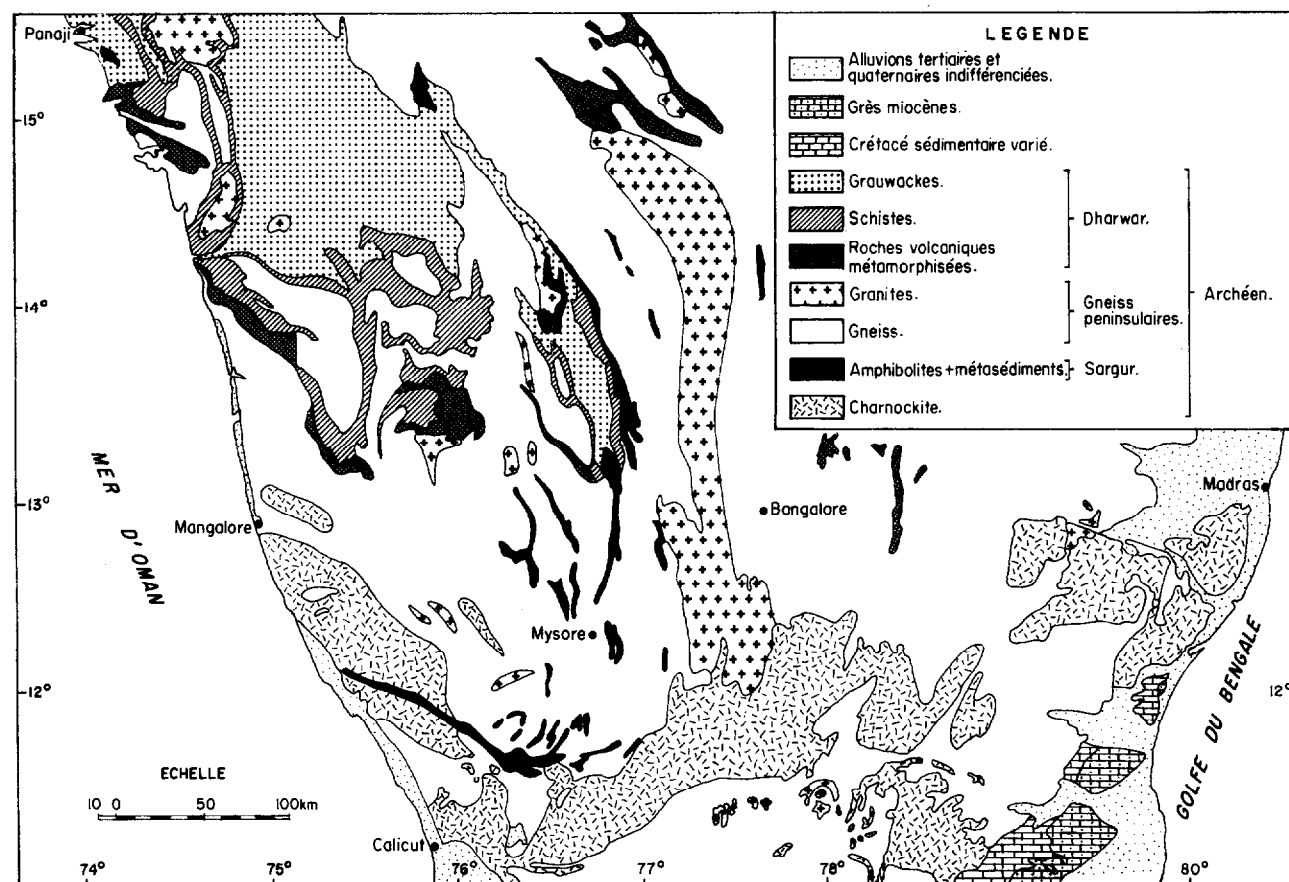


FIG. 2. — Carte géologique

— une zone d'amphibolites au centre ouest,
— une zone granulitique au sud et à l'est où se retrouvent les charnockites.

Ces dernières roches sont considérées comme résultant d'un métamorphisme de profondeur avec circulation de solutions riches en CO₂ (JANARDHAN *et al.*, 1983). Les charnockites forment actuellement les plus

hauts sommets de l'Inde péninsulaire que sont les horsts des Nilgiri et des Palni (ce dernier situé en dehors de la fig. 1).

Les anciennes séries volcano-sédimentaires ont été beaucoup étudiées ces dernières années et les différents auteurs ne sont d'accord ni sur la stratigraphie, ni sur la chronologie de cet ensemble. Le principal problème

réside dans la reconnaissance et l'interprétation de certains conglomérats des plus anciens dépôts, très métamorphisés et très plissés, et en définitive sur l'existence d'une discontinuité majeure au sein de l'ensemble volcano-sédimentaire. Ceux qui reconnaissent en ces conglomérats une limite stratigraphique importante (SWAMI NATH *et al.*, 1981) distinguent :

- . les séries qui se sont déposées avant les conglomérats, correspondant alors à un cycle orogénique, donc à un groupe stratigraphique, le *Sargur Group*, très puissamment métamorphisé

- . les conglomérats et les séries qui se sont déposées ultérieurement, représentant un autre cycle, et auxquels ils réservent l'appellation *Dharwar group*.

C'est l'interprétation qui a été retenue pour l'établissement de la carte (fig. 2) présentée ici.

D'autres géologues (PICHAMUTHU, 1985) considèrent qu'il n'y a qu'un seul groupe stratigraphique : le *Dharwar group*.

HISTOIRE GÉOLOGIQUE POST-ARCHÉENNE

Les formations sédimentaires se sont déposées pendant et après la rupture de l'ancien continent de Gondwana dont l'Inde faisait partie. La rupture de ce continent semble s'être amorcée au Jurassique, pour certains auteurs (KLOOTWIJK, 1976) elle aurait commencé dès avant le Permo-Trias, elle est achevée au Crétacé et l'Inde dérive alors vers le nord pour venir heurter l'Eurasie au Miocène. L'évolution de la péninsule indienne peut être résumée comme suit :

- jusqu'au Trias l'écoulement des rivières se faisait vers le nord (actuel) de la péninsule (CASSHYAP, 1979), le changement de direction de cet écoulement, qui est maintenant essentiellement orienté vers l'est, se produit au Jurassique. Ceci implique un bouleversement de l'organisation générale du relief : apparition d'un premier bombement situé approximativement dans l'axe des Ghâts Occidentaux et ouverture à l'est d'un fossé où viennent s'accumuler les premiers sédiments marins. On a longtemps pensé à des failles pour expliquer la morphologie des Ghâts occidentaux. VAIDYANADHAN (1967) le premier a suggéré l'existence d'une flexure à large courbure.

- un autre fossé apparaît, à l'ouest cette fois, au Crétacé supérieur (100 MA). Les observations réalisées dans ce fossé par sondages off-shore (DESIKACHAR, 1979) montrent au Crétacé des basaltes interstratifiés dans les sédiments, puis des sédiments de faciès peu profond au Paléocène suivis par des sédiments de faciès profond marquant la limite Eocène-Oligocène (30 MA). Ceci indique un effondrement important de cette zone vraisemblablement par le jeu de failles situées légèrement à l'ouest de la côte actuelle.

- au Miocène (10 MA), la plaque indienne entre au

nord en collision avec la plaque eurasiennne, ce qui, par contrecoup, semble provoquer dans le sud d'importants mouvements tectoniques qui s'accompagnent de dépôts grossiers dans les zones côtières : Quillon et Warkalli beds à l'ouest et grès de Cuddalor à l'est (région de Pondichéry notamment). Ces formations seront ensuite altérées et cuirassées.

- à la fin du Tertiaire ou au début du Quaternaire, la péninsule indienne est encore soumise à des mouvements tectoniques importants : soulèvement des zones de charnockite constituant les horsts des Nilgiri et des Palni (VAIDYANADHAN, 1977) ainsi que mise en place des Ghâts Orientaux. Cette tectonique est suivie du décapage des altérations des périodes précédentes dans la zone côtière est (appelée aussi plaine du Tamilnad) qui s'étend entre les Ghâts orientaux et le Golfe du Bengale. L'entaille du réseau hydrographique dans la région côtière ouest, où les alluvions cuirassées tertiaires sont mises en relief, pourrait dater de la même période.

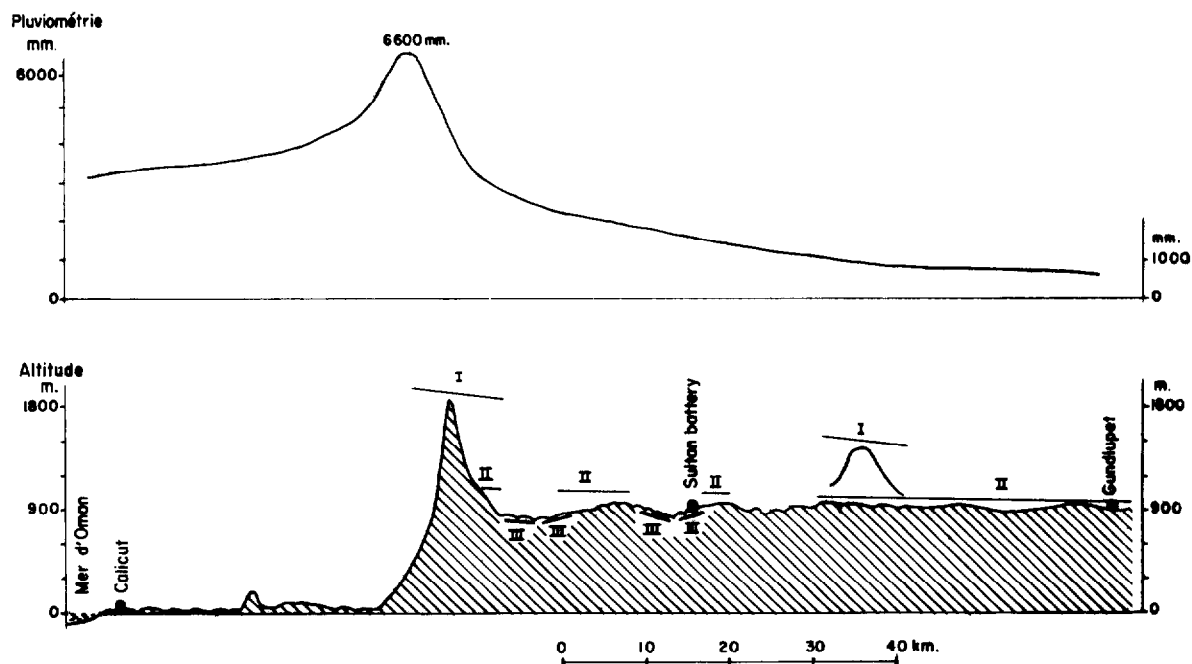
- au Quaternaire récent, les processus d'altération tels que l'on peut les observer actuellement se développent sans grandes modifications du modelé général. DEMANGEOT (1975) propose une chronologie du Quaternaire dans la plaine du Tamilnad, cette chronologie, qui ne tient pas assez compte de la nature des altérations, n'est pas entièrement satisfaisante et un schéma d'évolution quaternaire du sud de l'Inde reste à établir.

1.2. Morphologie

La péninsule, telle qu'on l'observe aujourd'hui, présente une forte dissymétrie est-ouest, la ligne générale de partage des eaux entre l'est (golfe du Bengale) et l'ouest (mer d'Oman) est en effet située à proximité de la côte ouest, elle coïncide le plus souvent avec la crête des Ghâts Occidentaux. Cette morphologie générale conditionne la répartition des climats et, en partie celle des sols. L'origine et la mise en place des Ghâts Occidentaux, selon ce qui vient d'être exposé, peuvent être résumées comme suit : une flexure semble s'être formée à leur emplacement dès le Jurassique. Des mouvements tectoniques ultérieurs, notamment au Miocène et à la fin du Tertiaire, mais surtout la dissection intense du flanc ouest de cette flexure, leur ont ensuite donné leur aspect actuel.

Pendant cette longue période, le plateau du Deccan acquiert sa morphologie actuelle en niveaux d'aplanissement étagés, les plus anciens étant très disséqués. Trois groupes de niveaux ont été retenus lors de la cartographie des sols (fig. 3) :

- un haut niveau qui est peut être à rapprocher de la surface infra-trappéenne de PETIT (1985) et dont les formes résiduelles donnent une série de reliefs surplombant des Ghâts occidentaux au sud du 14^e parallèle.
- des niveaux intermédiaires plus ou moins disséqués qui forment l'essentiel du plateau ;



ZONES GEOGRAPHIQUES	ZONE COTIERE OUEST				GHATS				PLATEAU DU KARNATAKA		
	1	2	3	2	4	5	6	7	8		
PAYSAGES MORPHOPEDO.											
SOLS	FERRALLITIQUES								FERRALLITIQUES + BRUN EUTROPHES		

Coupe est-ouest montrant la répartition des principales zones géographiques de l'ouest de la péninsule indienne. Quelques uns des paysages morphopédologiques présentés dans l'article sont localisés : 1: Formations alluviales côtières récentes. 2: Collines de l'arrière pays côtière. 3: Reliefs résiduels (non présentés). 4: Ghâts occidentaux. 5: Reliefs de la crête des Ghâts. 6: Demi-oranges. 7: Reliefs rejoins. 8: Pédipleine de Mysore. Les trois niveaux géomorphologiques sont indiqués. I: Haut niveau. II: Niveaux Intermédiaires. III: Bas niveau.

FIG. 3. — Le rôle morpho-climatique des Ghâts occidentaux

— un niveau bas qui correspond aux zones à modelé de « demi-oranges »

Les phases rhexistasiques pendant lesquelles l'ablation l'a emporté sur l'altération semblent être au nombre de deux :

- la première au moment du dépôt des grès miocènes,
- la seconde, qui a peut être concernée essentiellement l'est de la péninsule, au moment de la mise en place des Ghâts orientaux.

Une autre conséquence de cette dissection a été l'apparition fréquente de modelés appalachiens formés par le dégagement et la mise en relief des couches dures des séries volcano-sédimentaires.

1.3. Caractéristiques bioclimatiques générales de la péninsule indienne

Pour chaque zone dont les sols seront décrits, un dia-

gramme climatique présentant les principales données sera fourni dans la suite du texte. Le but de ce paragraphe est d'expliquer les grandes tendances et subdivisions du climat de la péninsule indienne. Pour cela ont surtout été utilisés les travaux de LABROUE *et al.*, (1965) et ceux de PASCAL (1982, 1984) ; pour les zones d'altitude, ceux de BLASCO (1971).

La définition de la zone semi-aride qui a été retenue ici est celle de l'I.C.R.I.S.A.T. basée sur les travaux de TROLL (I.C.R.I.S.A.T., 1979 ; SWINDALE, 1982). Cette définition est basée sur le nombre de mois à pluviosité déficitaire et non sur le total pluviométrique ; sont considérées comme semi-arides les zones où l'ETP n'est satisfaite par la pluviosité qu'entre 2 et 7 mois par an (ce qui correspond en Inde à des pluviosités comprises entre 400 et 1 900 mm). A l'intérieur de la zone semi-aride on distingue ensuite une « dry sub-region »

pour un nombre de mois à pluviosité déficitaire compris entre 7,5 et 10 et une « *wet-dry sub-region* » pour un nombre de mois à pluviosité déficitaire compris entre 5 et 7,5 (SWINDALE, *Ibid*).

RÉGIMES PLUVIOMÉTRIQUES

Le type climatique fondamental de l'Inde du sud est un climat subéquatorial à deux saisons des pluies : printemps et automne, ce type de régime est bien observable dans la région de Mysore. Sur les côtes, il subit les modifications suivantes :

— sur la côte occidentale, les pluies de la mousson du sud-ouest viennent renforcer le maximum de printemps et le déplacer vers l'été, ceci est d'autant plus net que l'on se situe à des latitudes plus élevées. De ce fait le maximum d'automne disparaît par comblement du minimum relatif d'été (LABROUE *et al.*) et l'on obtient une répartition des pluies monomodale.

— sur la côte orientale, toujours selon les mêmes auteurs, le maximum de printemps est supprimé et la saison pluvieuse d'automne de plus en plus retardée du nord au sud.

Les régions occidentales, soumises au régime de la mousson du sud-ouest, sont les plus arrosées. Au niveau de la péninsule indienne les pluies de mousson sont déclenchées par le franchissement de la barrière des Ghâts occidentaux et de ce fait largement concentrées à leur niveau, elles s'atténuent très rapidement une fois les Ghâts franchis (fig. 3). Les diagrammes pluviométriques de cette zone ouest présentent un seul mode pendant l'été.

RÉGIMES THERMIQUES (Tabl. I de l'annexe)

D'une façon générale les températures sont assez élevées en Inde du sud : températures moyennes annuelles supérieures à 25°C dans les régions côtières et à 20°C sur le plateau du Deccan (sauf zones montagneuses).

A l'ouest les températures présentent généralement deux maxima, ces deux maxima correspondent aux passages du soleil au zénith au printemps et à l'automne. Il encadrent un minimum qui est lié aux pluies de mousson, ce minimum est relatif, le minimum absolu se situant en hiver.

A l'est de la péninsule, le maximum thermique se situe à la fin du printemps et le minimum en décembre-janvier.

Les températures diminuent de façon sensible avec l'altitude et cet effet est assez net au niveau des Ghâts occidentaux (par exemple à Mercara). Il est encore plus marqué pour les montagnes telles que les Palni ou les

Nilgiri qui présentent des températures moyennes de l'ordre de 15°C sans grandes variations saisonnières (ce qui les différencie des zones véritablement tempérées où les variations saisonnières sont importantes).

HUMIDITÉ RELATIVE (Tabl. II de l'annexe)

Les zones côtières est et ouest, où l'humidité relative moyenne ne descend jamais en dessous de 70 %, contrastent avec le plateau où, au début de l'année pendant la saison sèche, on observe des valeurs moyennes parfois inférieures à 50 % et des amplitudes moyennes mensuelles de 30 à 50 %.

EVAPOTRANSPIRATION ET BILAN HYDRIQUE

L'évapotranspiration potentielle (Penman) figure sur les diagrammes fournis pour chaque zone dans la suite du texte. Cette évaluation de l'évapotranspiration a servi à une estimation des excédents pluviométriques sous la forme d'un « drainage climatique » calculé mensuellement selon la formule : $d = P - ETP$ tous les mois où P est supérieure à ETP ; le drainage climatique annuel (fig. 4) étant égal à la somme des drainages mensuels diminuée arbitrairement de 100 mm pour tenir compte de la réserve en eau des sols. Une autre utilisation de ces calculs d' ETP est l'estimation de la durée de la saison sèche (fig. 5) toujours en utilisant une réserve en eau du sol fixée arbitrairement à 100 mm. Un mois étant déclaré sec si les besoins estimés par l' ETP ne sont pas satisfaits à 70-75 % (à 50 % pour le premier mois de la saison des pluies).

Morphologie et caractéristiques bioclimatiques permettent de définir les régions suivantes (fig. 3 et 6) :

- la zone côtière ouest,
- les Ghâts occidentaux,
- le revers des Ghâts et les collines humides du plateau du Deccan ou malnad (1),
- les zones sub-humides de transition ou semi-malnad (2),
- les plaines semi-arides du plateau du Deccan ou maidan (3),
- la « plaine » de l'est dite du Tamilnad,
- les Hautes Terres (horsts des Nilgiri et des Palni).

2. PRÉSENTATION RÉGIONALE

2.1. La zone côtière ouest

CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES

La station de Coondapoor (fig. 7) située entre Honavar et Mangalore, peut être considérée comme représentative de cette zone : pluviosité élevée à diagramme net-

(1) « Malnad — A largely forested, hilly region of heavy rainfall.

(2) « Semi-malnad — An area having characteristics to some extent of both malnad and maidan. »

(3) « Maidan - An open region (a level land). » Définitions extraites des Gazetteers of India.

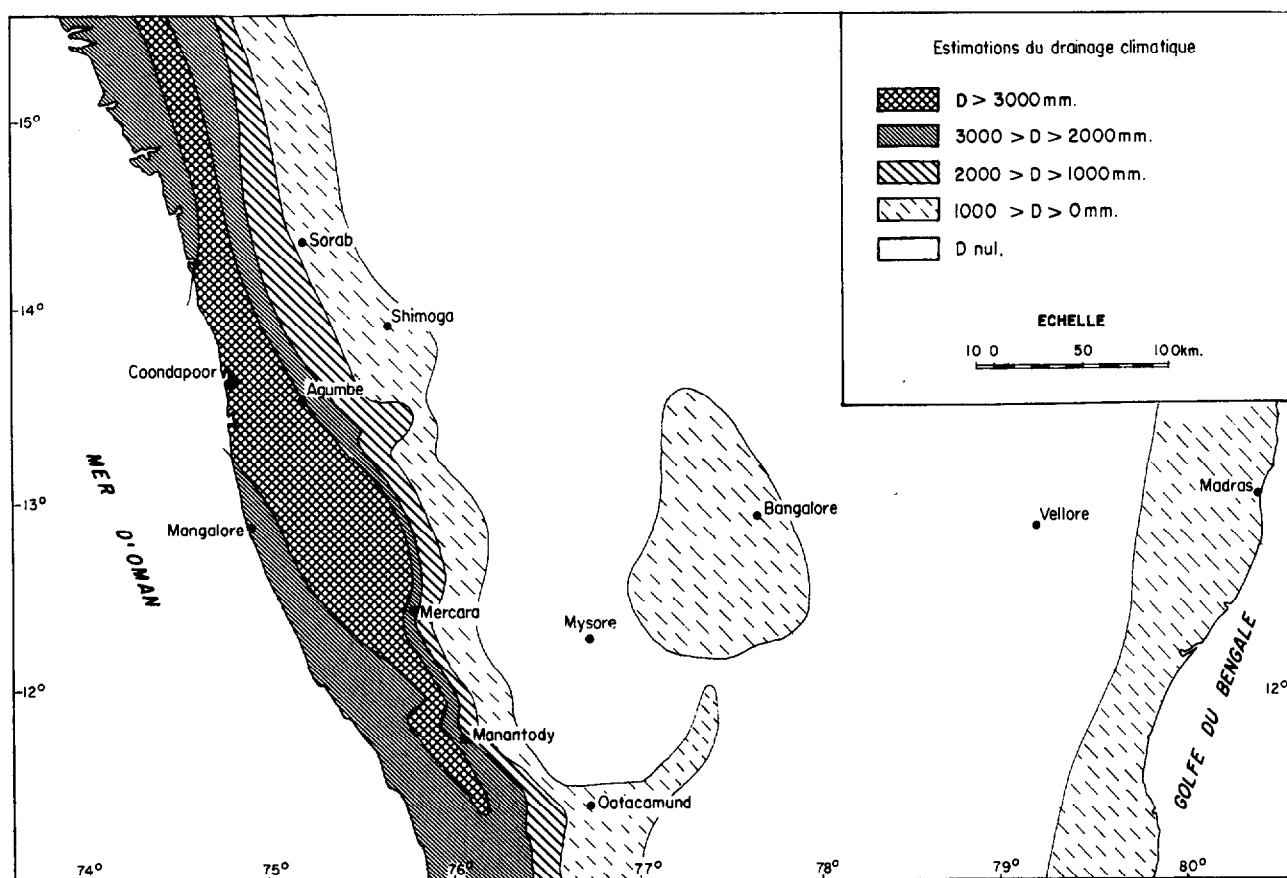


FIG. 4. — Carte du drainage climatique

tement monomodal, saison sèche d'une durée de 5 mois, drainage climatique calculé de l'ordre de 3 m.

SUBDIVISIONS MORPHOPÉDOLOGIQUES

La zone côtière ouest a été très simplement subdivisée en trois types de formations :

- . les formations alluviales récentes,
- . les bowé côtiers,
- . les collines de l'arrière pays.

a) *Les formations alluviales récentes* sont constituées de deux grands ensembles :

- des cordons littoraux sableux, 1 ou 2 selon les endroits. Le cordon actuel porte des sols peu évolués sableux, le plus ancien, situé vers l'intérieur des terres, des sols sableux rubéfiés. Ils sont parfois séparés par des lagunes autrefois occupées par des mangroves, aujourd'hui partiellement remblayées pour la riziculture.
- des plaines de remblaiement alluvial derrière les cordons ; certains de ces remblaiements fossilisent d'anciens sols de mangroves sous une épaisseur de sédiments récents d'environ 2 m. Les sols développés sur le remblaiement sont des sols hydromorphes présentant d'importantes ségrégations ferrugineuses (poupées ferrugineuses).

Ces formations alluviales sont, en de nombreux endroits, dominées par des bowé.

b) *Les bowé côtiers*. Les plus élevés forment des plateaux dominant nettement les niveaux récents. TEIXEIRA (1965), dans sa présentation des « latérites de Goa » précise que, sur socle archéen, un conglomérat sépare toujours cuirasse et roche altérée dans la région qu'il étudie. Il signale d'autre part des niveaux cuirassés à 180 m d'altitude. Ailleurs, c'est-à-dire plus au sud, les bowé sont moins élevés, ils sont généralement constitués par le socle archéen altéré et cuirassé mais peuvent aussi être formés d'alluvions anciennes (non datées et non cartographiées par les géologues).

Les cuirasses de ces bowé sont très puissantes, souvent épaisses d'une dizaine de mètres et exploitées en carrières pour la fabrication de briques. Ce sont des cuirasses essentiellement ferrugineuses mais l'on signale dans les hauteurs dominant les régions de Bhatkal et de Goa des formations bauxitiques (*low level bauxites*). Les analyses effectuées dans cette région montrent des teneurs en fer très variables dans ces cuirasses :

- maximales quand la cuirasse coiffe un gisement de

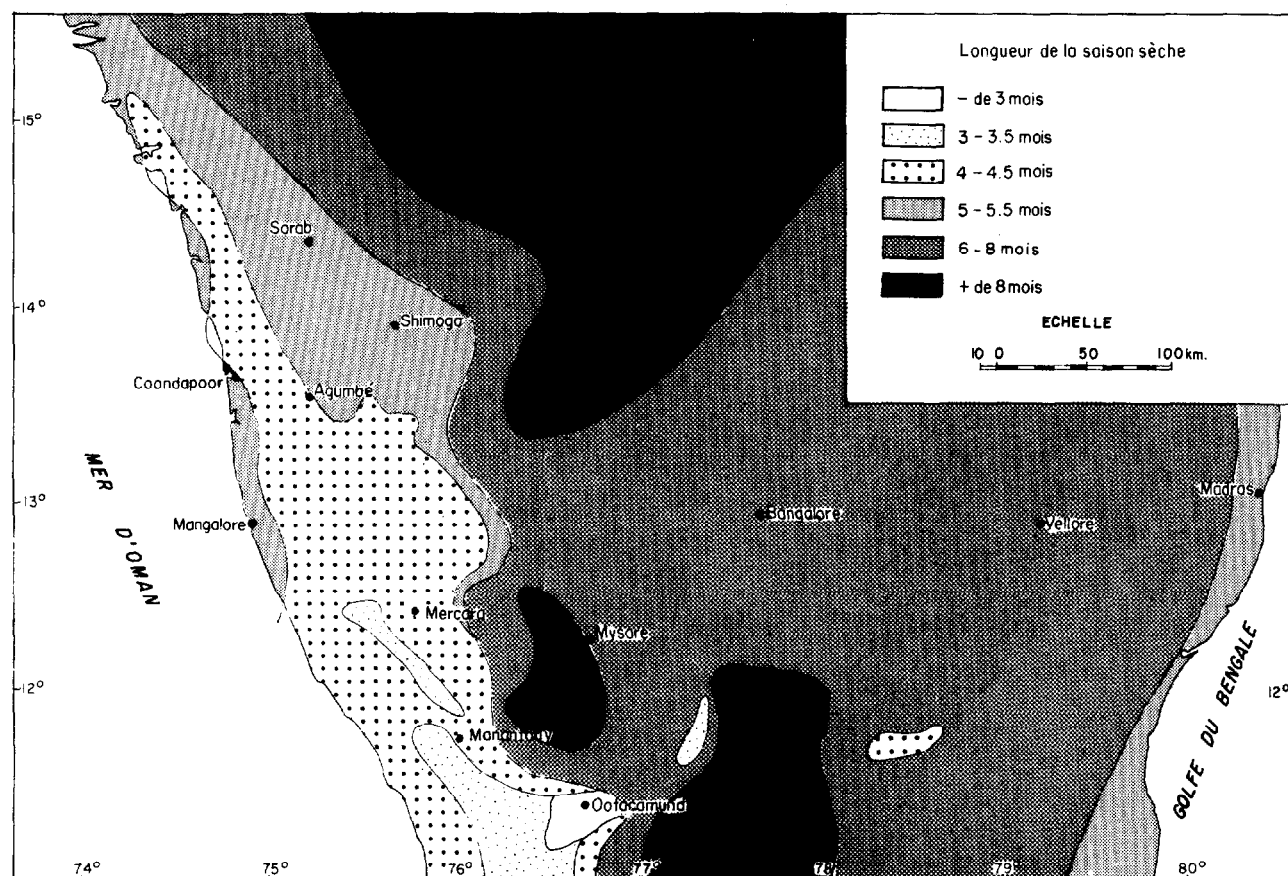


FIG. 5. — Carte de la durée de la saison sèche

fer archéen, 74 % relevés à Honavar, 78 % signalés à Goa (TEIXEIRA, *Ibid*) ;

— plus généralement oscillant entre 30 et 50 %.

La surface de la cuirasse à l'affleurement est noire et présente un aspect scoriacé, en dessous elle est rougeâtre et parcourue par de très nombreux canaux de diamètre centimétrique dont les parois sont revêtues de dépôts ferrugineux. L'intérieur des canaux est souvent rempli de matériau meuble, clair. Des poches de sol meuble peu épais et des fissures dans les dalles de cuirasse permettent le développement d'une couverture végétale discontinue dominée par un arbuste au port caractéristique : *Sapium insigne* (Euphorbiaceae).

Les plateaux cuirassés les plus typiques, ceux qui justifient le mieux le terme de bowal, sont essentiellement situés à proximité de la côte où ils forment de véritables mesas, ils s'insinuent parfois à l'intérieur des terres à la faveur des vallées des rivières principales mais l'arrière-pays de cette zone côtière est essentiellement constitué de collines.

c) *Les collines de l'arrière-pays côtier* sont incisées dans des altérites très épaisses, le plus souvent tachées et indurées. La végétation forestière sempervirente a presque totalement disparu et les collines sont souvent érodées de façon spectaculaire. Les dénivellations entre sommets des collines et bas-fonds voisins sont importantes et atteignent souvent la centaine de mètres, les pentes sont fortes et les versants irréguliers. Le paysage est dominé localement par des buttes ou lanières cuirassées très semblables aux bowé côtiers.

Les sols sont fréquemment indurés à faible profondeur, ils présentent alors :

— un horizon humifère d'une vingtaine de centimètres, de couleur brun-rougeâtre foncé, à structure polyédrique subanguleuse, de texture argileuse sur grau-wackes, argilo-sableuse sur gneiss. Le taux de matière organique peut atteindre 6 à 8 % sous lambeau forestier, il s'abaisse à 2-3 % en zone défrichée. Les pH sont acides, de l'ordre de 5,2-5,5, même sous couvert forestier.

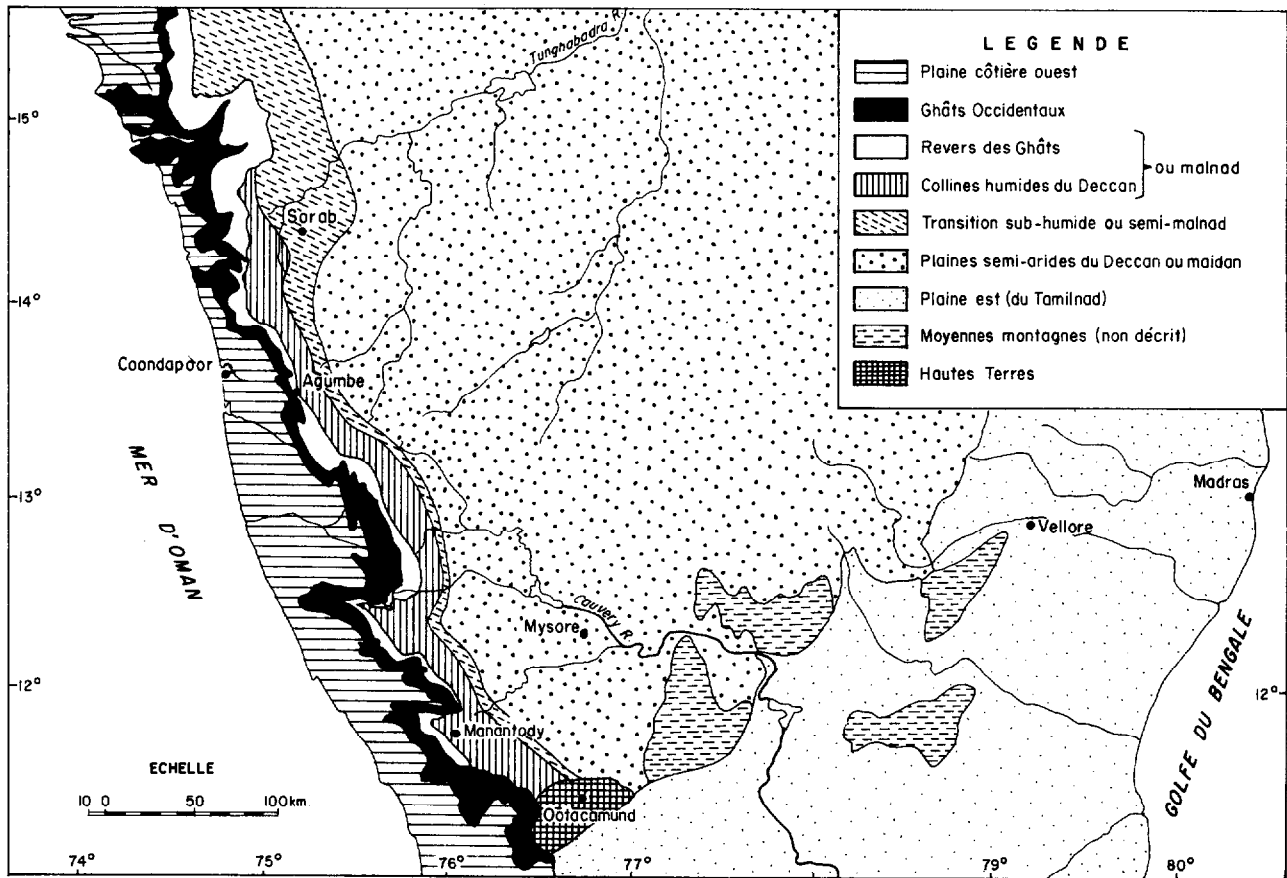


FIG. 6. — Carte de localisation des différentes zones

— des horizons gravillonnaires et caillouteux, contenant de très nombreux fragments de cuirasse, nodules ferrugineux et quartz. La couleur d'ensemble est rouge, la structure polyédrique subanguleuse peu nette, la texture est la même que dans l'horizon humifère de surface. Ces horizons gravillonnaires sont d'épaisseur variable : 30 cm à 1 mètre, et sont souvent discontinus.

— des horizons indurés en une carapace parcourue de canaux. C'est la latérite de BUCHANAN (1807) d'ailleurs décrite dans cet arrière-pays côtier à Angadipuram (fig. 1) qui est une plinthite plus ou moins indurée.

En zone défrichée, l'ablation des horizons supérieurs fait localement affleurer les horizons indurés qui se cuirassent.

Les sols indurés alternent avec d'autres où le profil est meuble sur une grande épaisseur, les horizons supérieurs présentent néanmoins une forte charge en nodules ferrugineux qui semblent résulter d'une évolution *in situ*, on observe alors en effet de bas en haut du profil : — vers 2 m de l'argile à taches faiblement contrastées (couleur d'ensemble 5 YR 5/8, couleur des taches

5 YR 4/6, à structure polyédrique moyennement développée, la répartition des taches est liée à la structure car c'est toujours la partie centrale des éléments structuraux qui présente une couleur différente du reste du sol ;

— vers 1 m les taches deviennent plus cohérentes que le reste de l'horizon, la structure polyédrique s'affirme et se double d'une sur-structure prismatique fine ;

— à partir de 50 cm les nodules ferrugineux aux contours irréguliers deviennent très abondants ;

— les horizons supérieurs présentent aussi de très nombreux nodules, mais plus petits, plus durs et arrondis.

Seule la transition entre l'horizon supérieur humifère et l'horizon sous-jacent est nette, les autres transitions sont très graduelles.

Quel que soit le type de sol, induré ou non, quand le couvert forestier a disparu l'acidité augmente et de l'aluminium échangeable apparaît sur le complexe absorbant, la seule culture alors pratiquée avec succès est celle de l'anacardier.

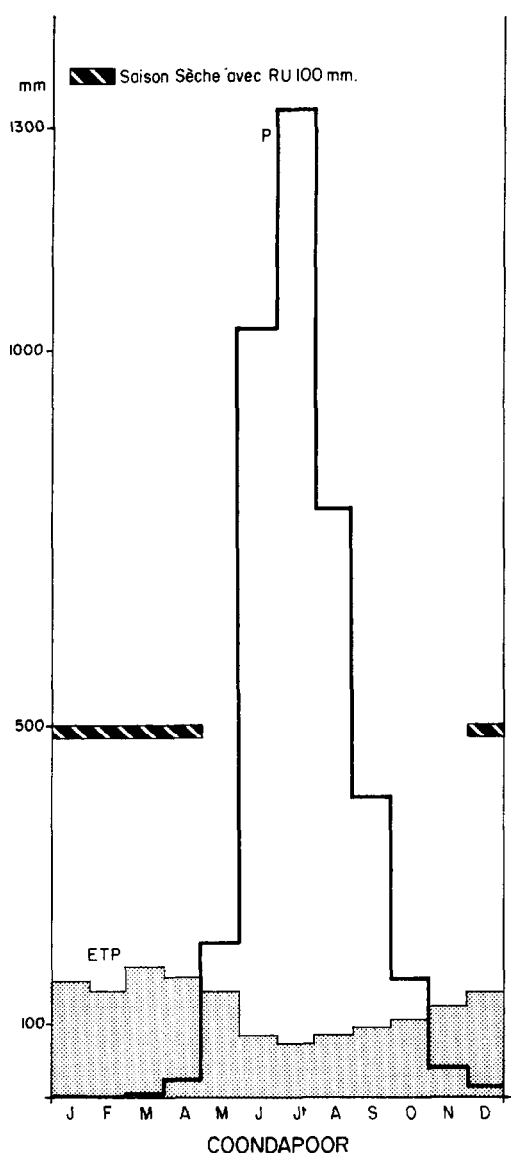


FIG. 7. — Diagramme climatique de la zone côtière ouest

CONTINUITÉ DANS LES PHÉNOMÈNES DE CUIRASSEMENT

Cette zone côtière très arrosée a été, et semble toujours être, le lieu privilégié des plus importants phénomènes de cuirassement du sud de l'Inde péninsulaire. En effet ce type d'induration affecte, en contrebas des bowé, des formes plus récentes entaillées dans les altérites ainsi que des dépôts alluviaux quaternaires postérieurs aux entailles. Ces alluvions ainsi que les entailles sont aussi indurées sur plusieurs mètres, la cuirasse est cependant moins cohérente que celle des bowé, elle est presque toujours recouverte d'un sol meuble cultivé en rizière. TEIXEIRA (*Ibid*) signale des formations cuiras-

sées sous 10 à 20 mètres d'alluvions actuelles dans la région de Goa (en particulier dans la rivière Mandovi en face de la ville de Panaji donc sous le niveau actuel de la mer).

Cette disposition générale des cuirasses en plusieurs niveaux, et l'induration, sur des épaisseurs importantes, de formations alluviales d'âges différents, semblent indiquer plusieurs phases de cuirassement et la possibilité, dans les formations alluviales, d'un apport latéral de fer : cuirasse d'accumulation absolue.

Comme cela a été signalé plus haut, les sols des remblaiements alluviaux récents situés derrière les cordons littoraux sont aussi marqués par des accumulations ferrugineuses, ceci plaide en faveur de l'existence de phénomènes de transport et de redistribution du fer dans les conditions climatiques actuelles de la région côtière : forte pluviosité excédant partout 3,5 m et saison sèche de l'ordre de 4 mois par an.

2.2. Les Ghâts

CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES

Les Ghâts forment une région très peu connue du point de vue climatique car ne possédant pas de station météorologique bien équipée, seuls quelques pluviomètres permettent d'avoir une idée de la quantité d'eau qu'ils reçoivent. C'est une région de transition entre la plaine côtière chaude et humide et le revers du plateau du Deccan tout aussi arrosé mais plus élevé et donc plus frais. Cette transition se traduit sur le plan de la couverture végétale par une succession de types forestiers sempervirents échelonnés selon l'altitude (PASCAL *et al.*, 1982a et b, 1984, PASCAL 1984, 1986).

SUBDIVISIONS MORPHOPÉDOLOGIQUES

Les Ghâts qui ont une importance très grande dans le schéma morpho-climatique du sud de l'Inde ; ont, le plus souvent, une largeur qui n'excède cependant pas 5 km. Ils apparaissent comme très homogènes, les différences lithologiques entre le nord et le sud n'affectent pas fondamentalement les caractéristiques des sols, de même que le gradient altitudinal de température est peu perceptible dans la pédogenèse.

L'escarpement des Ghâts est constituée d'une succession d'affleurements rocheux sub-verticaux et de zones plus altérées où de gros blocs rocheux de plusieurs m³ alternent avec des sols profonds.

Les profils sont généralement peu différenciés et ne présentent ni indurations ni taches, on y observe (sur schistes) :

— des horizons humifères d'une vingtaine de cm d'épaisseur, de couleur brun-rougeâtre, à structure polyédrique subanguleuse moyenne, nette, associée à une structure massive, la texture est généralement argileuse. La porosité de ces horizons est forte, les traces d'acti-

vitité biologique abondantes (termites et vers de terre) et le chevelu racinaire important.

— un horizon de pénétration humifère où la répartition de la matière organique suit des traînées verticales liées à la macroporosité. La couleur d'ensemble de l'horizon est brun-rougeâtre, les traînées humifères présentent une couleur plus sombre, la texture est généralement argileuse.

— des horizons profonds d'épaisseur très variable (50 cm à plusieurs m), rouges, à structure polyédrique moyenne ; les vides entre les éléments structuraux sont habituellement remplis de micro-agrégats, texture argileuse.

Les sols sont faiblement acides en surface, acides en profondeur, la saturation est forte dans les horizons humifères et reste moyenne dans les horizons profonds ; il n'y a pas, dans ces sols, de déficit marqué en éléments minéraux échangeables.

La charge en éléments grossiers (roche altérée et quartz) est extrêmement variable d'un sol à l'autre et les éléments grossiers ne présentent aucune disposition particulière de type « stone-line » dans le profil.

La zone de raccordement entre les Ghâts et les collines de l'arrière-pays côtier présente de nombreux éboulis actuellement couverts par la forêt sempervirente. Leur mise en place implique l'existence d'une phase sèche au cours du Quaternaire qui aurait vu la disparition de la forêt.

2.3. Les collines humides du plateau du Deccan ou « Malnad »

CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES

La zone décrite ici présente une assez grande diversité climatique. La pluviosité, qui dépasse fréquemment 5 m au niveau de la crête des Ghâts, décroît ensuite très sensiblement vers l'est. La station d'Agumbe (fig. 8a) illustre bien la situation de la crête, de grandes quantités d'eau tombent en peu de mois. La station de Manantody sera prise comme exemple (fig. 8b) des conditions moins pluvieuses qui règnent à une dizaine de km seulement de la crête. L'allure générale de la courbe pluviométrique est la même que sur la crête des Ghâts mais le pic de la mousson est déjà très atténué par rapport à ce que l'on observait à Agumbe.

Une saison sèche d'au-moins 4 mois est la règle sur le revers. C'est au nord que la saison sèche est la plus importante et atteint 5 mois. Le drainage climatique est toujours important et dépasse partout 1 m.

SUBDIVISIONS MORPHOPÉDOLOGIQUES

Pour illustrer les principales formations de cette zone, les paysages morpho-pédologiques suivants seront présentés :

— *les reliefs de la crête* qui correspondent à ce qui

reste d'un haut niveau ;

— *les zones cuirassées disséquées et les zones fortement disséquées*. Ces deux formations (essentiellement sur grauwackes) correspondent à deux degrés de dissection des niveaux intermédiaires ;

— *les demi-oranges sur gneiss* qui forment le niveau le plus récent (au sud).

a) *Les reliefs de la crête*

Le paysage du revers des Ghâts, au sud du 14° parallèle, est constitué par une alternance de pelouses localisées essentiellement sur les croupes et de forêts sur les versants, ces forêts prennent souvent un aspect plus ou moins vallicole en haut des versants. Cette disposition est bien visible sur images Landsat car elle contraste avec le couvert exclusivement forestier (même s'il est dégradé) des Ghâts voisins.

Les sols de ces zones, qui recouvrent une grande diversité pétrographique, présentent quelques caractères particuliers :

Au niveau des croupes sommitales l'horizon de surface est fréquemment très acide et appauvri. Le taux de saturation en bases échangeables mesuré à pH7 est constant et voisin de 25 % sur l'ensemble du profil, l'aluminium échangeable est toujours important.

Sur les versants couverts par la forêt sempervirente, les sols sont semblables à ceux de l'escarpement des Ghâts.

b) *Les zones cuirassées disséquées*

Il existe quelques zones cuirassées occupant le revers des Ghâts sur socle, elles sont essentiellement localisées sur les grauwackes riches en fer.

Au nord (entre 14 et 15°), des bowé, assez semblables à ceux qui ont été décrits dans la zone côtière, dominant un paysage formé de collines. Les cuirasses des bowé sont très épaisses et épousent un modelé faiblement ondulé ; elles sont habituellement regroupées sous le nom de « *high level laterites* », un très bel exemple est visible à la latitude de Sirsi. Le démantèlement des cuirasses sur la bordure des bowé produit des éboulis et des sols très riches en nodules ferrugineux, une formation particulière colonise ces zones au nord : la forêt sempervirente à *Memecylon umbellatum* (Melastomataceae) dont les arbres sont bas, tordus et couverts de mousses comme ceux des forêts d'altitude (sholas). Le sol présente sous ces forêts des teneurs très fortes en matière organique, 15 à 20 % ; certains éléments grossiers résistants à un broyage modéré lors de la séparation de la terre fine sont en réalité constitués d'agregats durcis, très organiques, facilement détruits par un traitement à l'eau oxygénée. Les pH sont acides, les textures argileuses.

Plus au sud (sud du 14° parallèle), les cuirasses sont plus discrètes et ne forment pas de buttes importantes.

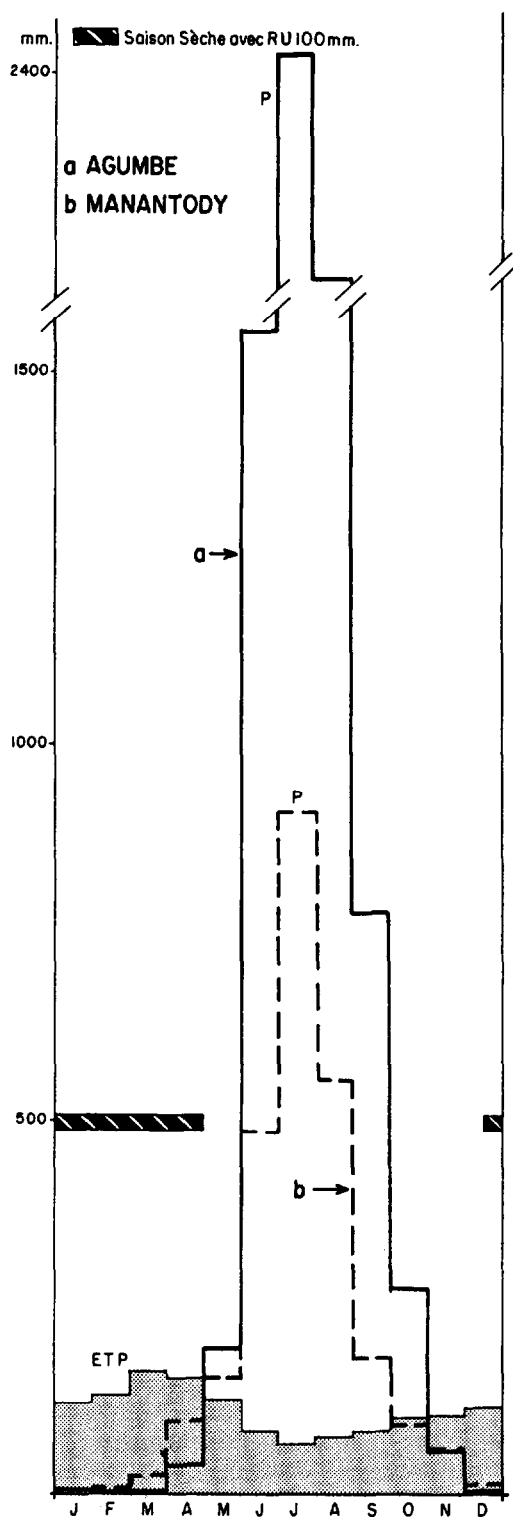


FIG. 8. — Diagramme climatique de la zone des collines humides du Deccan - Malnad

Ces zones cuirassées sont disséquées par le réseau hydrographique coulant vers l'est. Les versants sont occupés par des sols remaniés et rajeunis.

c) Les zones fortement disséquées

Au nord du 14° parallèle, les rivières se jetant à l'ouest dans la mer d'Oman dissèquent une grande partie du revers des Ghâts (fig. 9). Les rivières principales ont profondément entaillé leurs lits. Certains points hauts conservent des témoins cuirassés.

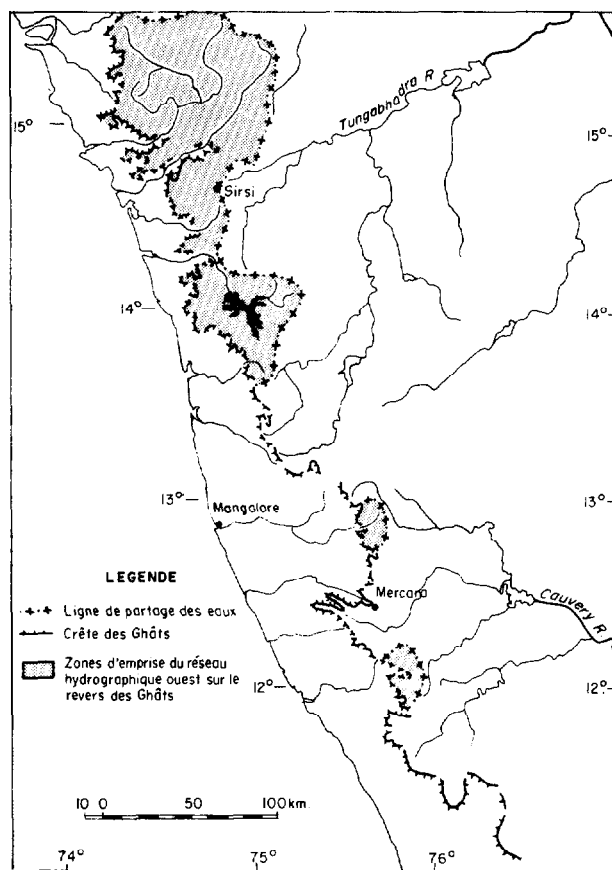


FIG. 9. — Carte des zones du revers de Ghâts soumises à la dissection par le réseau hydrographique ouest

Le réseau hydrographique présente de nombreuses ramifications et le paysage est formé par un semis de petites collines, les vallées sont étroites et ne s'élargissent jamais en bas-fond.

Si l'on examine maintenant les sols, les coupes montrent toujours des signes de rajeunissement et la présence dans les profils, pratiquement dès la surface, de nombreux fragments rocheux incomplètement altérés.

Le profil suivant (BOURGEON *et al.*, 1986) illustre bien les sols de cette région. Ils présentent des caractères assez semblables de haut en bas des versants :

. 0-10 cm - horizon brun foncé ; humifère ; contenant environ 50 % de graviers de grau-wackes très altérés ; structure grumeleuse ; texture limono-argilo-sableuse ; très poreux, très nombreuses racines ;

. 10-30 cm - horizon brun foncé ; humifère ; contenant environ 50 % de graviers de grau-wackes très altérés ; structure polyédrique subanguleuse ; texture limono-argilo-sableuse ; très poreux ; nombreuses racines ;

. 30-80 cm - horizon rouge-jaunâtre ; apparemment non organique ; contenant environ 70 % de cailloux et graviers de grau-wackes altérés ; texture argilo-limoneuse ; poreux ; nombreuses racines ;

. 80-180 cm - horizon rouge-jaunâtre ; blocs de grau-wackes très altérés ; texture de la terre fine entre les blocs limono-argilo-sableuse.

Ces sols sont acides, le taux de matière organique de l'ordre de 6 à 8 %. La capacité d'échange cationique mesurée à pH7 est faible mais relativement bien saturée par les bases échangeables (taux de saturation égal à 50 % dans les horizons profonds). Le rapport Ki est voisin de 2, les analyses d'argile effectuées sur un horizon profond révèlent que la kaolinite est dominante, elle est associée à des traces de goëthite, de gibbsite et d'interstratifiés.

d) Les demi-oranges sur gneiss

Les demi-oranges couvrent, en présentant des caractéristiques pratiquement constantes, trois bassins assez étendus au sud :

— dans la région de Sakleshpur, le bassin de l'Hemavati,

— à la latitude de Mercara, ceux de la Cauvery et de ses principaux affluents,

— dans la région de Sultan-Battery (Kérala), le haut bassin de la Kabani.

Quand la végétation forestière subsiste ou quand elle est remplacée par des cultures arbustives (caféier, bananier, aréquier...) et/ou sous ombrière (poivrier, cardamome), les demi-oranges sont bien visibles sur image satellite où elles contrastent avec le système de bas-fonds environnants rizicultivés. La surface occupée par les demi-oranges présente des alignements sub-parallèles des bas fonds principaux. Ces alignements pourraient résulter de différences lithologiques induisant des vitesses d'altération différentes.

Des zones qui les dominent, les demi-oranges apparaissent comme formant un niveau relativement uniforme où les différences d'altitude entre sommets des convexités et bas-fonds voisins sont de l'ordre d'une cinquantaine de mètres.

Des niveaux d'altération très épais sont la règle avec ce type de modelé : les travaux de construction entrepris

dans ces zones permettent d'observer des coupes d'une dizaine de mètres. Sur ces coupes une mince ligne de gravats, véritable « stone-line », reproduit, à une profondeur d'environ un mètre cinquante, la convexité de la colline. Au Kérala, cette ligne de gravats incorpore et remanie fréquemment une terrasse alluviale faite de galets roulés ; cette terrasse épouse alors la convexité générale du bas de pente. La ligne de gravats isole deux types d'horizons qui se différencient essentiellement par les structures :

— structure massive se réduisant en « poudre de café » sous une faible pression au-dessus de la ligne de gravats, — structure polyédrique en-dessous, seuls les vides inter-agrégats de la structure polyédrique sont remplis de micro-agrégats en « poudre de café ».

Les horizons humifères contiennent peu de matière organique : maximum 4 à 6 % sous lambeaux forestiers.

Les horizons d'altération profonds ont l'aspect et les caractéristiques physico-chimiques d'une isaltérite kaolinique.

Les sols sont acides sur l'ensemble du profil, ils deviennent très acides quand la forêt est complètement défrichée. La kaolinite est l'argile dominante dans ces sols où le rapport Ki est toujours très proche de 2, les déterminations des minéraux argileux effectuées sur quelques échantillons confirment cette interprétation.

Les sols des bas-fonds sont sableux (à sable fin), très acides. Les horizons supérieurs montrent fréquemment des stratifications, ils peuvent localement recouvrir des passées tourbeuses. La roche altérée est peu profonde au niveau des bas-fonds et les lits des ruisseaux présentent de nombreux seuils rocheux. La surface occupée par ces bas-fonds est très importante, de l'ordre de 50 % de la superficie totale ; c'est elle qui, au sens strict, forme le niveau récent, ou niveau bas, du plateau.

La région de Sakleshpur offre un bel exemple de sols acidifiés par suite de la disparition la couverture forestière. Ici la déforestation anthropique, peut être due à l'échec de la caféiculture, semble très probable. On observe de nombreux phénomènes d'érosion rappelant les « *lavakas* » malgaches. Morphologiquement les sols ne présentent aucune modification par rapport à ceux observés sous reliques forestières, les propriétés chimiques sont par contre très affectées :

— le pH baisse de une unité entre le témoin forestier et la parcelle défrichée,

— cette chute du pH s'accompagne d'une quasi totale désaturation du complexe absorbant, S/T est toujours inférieur à 10 % avec des valeurs de S inférieures à 0,3 mé/100 g, l'aluminium devient alors le principal élément échangeable.

Bien que les causes de l'absence de forêts soient vraisemblablement différentes, cette région montre un certain nombre de convergences avec celle des reliefs de

la crête des Ghâts où les sols sont acidifiés. La forêt sempervirente ne parvient à se réinstaller à Sakleshpur, qu'à la faveur des cicatrices d'érosion, là où le sol ne présente plus de toxicité aluminique ; ailleurs, de nombreuses plantations, réalisées par les services forestiers, végètent.

SPÉCIFICITÉ DE LA ZONE HUMIDE DU PLATEAU

Les savanes du sud de l'Inde, qui sont localisées essentiellement dans cette zone du revers des Ghâts, sont dans des conditions écologiques très différentes de celles qui règnent dans la zone des savanes africaines ne serait-ce que par les pluviosités très élevées, de 2,5 à 5 m ou plus par an, qu'elles reçoivent. Ces conditions climatiques devraient permettre l'installation de la forêt sempervirente partout. La déforestation anthropique a souvent été mise en avant pour expliquer l'absence des forêts (LEGRIS, 1963 ; PASCAL, 1984), elle n'explique vraisemblablement que certains cas, Sakleshpur par exemple. Les facteurs édaphiques n'ont semble-t-il pas été assez pris en compte et les premières observations présentées ici montrent qu'ils jouent certainement un rôle important. Une explication vraisemblable de l'origine de certaines de ces savanes est fournie par MONNIER et PETIT (1986), elle est reprise et complétée ci-dessous :

— au Quaternaire récent, entre 22 000 et 16 000 ans BP, on observe une période d'aridité et un recul des forêts humides, ce dérèglement du mécanisme de la mousson et le recul des formations sempervirentes sont attestés par les analyses polliniques de VAN CAMPO (1983). On peut alors supposer que les sols profondément ferrallitisés lors des périodes pluvieuses précédentes se dégradent et s'acidifient, ce sont des phénomènes que l'on observe sur de grandes étendues du continent africain ; — succède ensuite une période plus humide que la période actuelle, l'humidité est maximale vers 11 000 ans BP (VAN CAMPO, *Ibid*), elle permet, la recolonisation des ligneux sempervirents (elle aussi attestée par la palynologie), cette recolonisation progresse normalement dans toutes les entailles récentes et sur les versants décapés par l'érosion, elle est par contre freinée sur les sols acidifiés par l'épisode précédent.

Même en cas de déforestation anthropique, les propriétés des sols peuvent jouer pour empêcher, ou du moins retarder, la réinstallation des formations forestières.

2.4. Les zones sub-humides de transition (2 m > P > 1,2 m) ou Semi-Malnad

Ces zones de transition entre la partie humide et la partie semi-aride du plateau du Deccan ont une extension très variable selon la latitude, leur largeur semble corrélée à l'altitude de la barrière des Ghâts : elle est

d'autant plus importante que les Ghâts sont plus bas, ce qui est le cas au nord du 14^e parallèle (fig. 6).

CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES

La station de Sorab est située dans la zone nord où les zones de transition connaissent leur extension maximale. Le diagramme pluviométrique (fig. 10a) est typiquement mixte : le maximum de la mousson est toujours net mais il est suivi par un maximum secondaire dû aux pluies de convection d'automne. Le bilan hydrique estimé sur les valeurs moyennes fait apparaître un drainage climatique de 1000 mm et une saison sèche de 5,5 mois, la variabilité inter-annuelle forte de la pluviosité affecte surtout le drainage : ainsi en 1952 (fig. 10b), année sèche, le drainage estimé a-t-il été réduit à 300 mm alors que la saison sèche est restée la même qu'en année normale. Ces zones de transition sont pour l'essentiel situées dans la zone semi-aride telle qu'elle est définie par l'I.C.R.I.S.A.T.

SUBDIVISIONS MORPHOPÉDOLOGIQUES

La zone de transition climatique est complexe sur le plan morphologique. Il existe de nombreux témoins hérités de périodes plus humides que l'actuelle, et les paysages morpho-pédologiques de cette zone résultent de l'évolution des niveaux intermédiaires. Deux types d'évolution de ces niveaux ont été mis en évidence :

— au nord et au centre de la zone de transition le démantèlement d'anciennes cuirasses et l'enfoncement lent de la surface topographique ont abouti à des modèles *convexo-concaves* (on pourrait appeler les convexités niveaux démantelés par analogie à ce qui a été décrit en Afrique de l'Ouest par exemple par PELTRE, 1977) ; — au sud, au pied du horst des Nilgiri, le rajeunissement du modelé par une incision plus forte a donné des *reliefs* dits *rajeunis*. L'origine de ce rajeunissement doit certainement être recherchée dans les mouvements de faible amplitude qui ont dû accompagner la mise en place des Nilgiri.

a) Les modèles *convexo-concaves*

La région de Sorab, déjà prise comme illustration des conditions climatiques de la zone de transition, est aussi typique par sa géomorphologie.

Le modelé est constitué de très larges interfluves, la taille moyenne d'un bassin-versant élémentaire est de l'ordre de 5 km². Les dénivellations maximales n'excèdent pas 50 m. L'ensemble du modelé est *convexo-concave* avec une très large prédominance des convexités. Les petits bas-fonds concaves ne sont généralement pas entaillés, par contre les rivières plus importantes sont bordées de terrasses alluviales à sols jaunes.

Au niveau de l'*interfluve* le sol est gravillonnaire et rouge, les gravillons sont constitués d'éléments ferrugineux. Ces gravillons ferrugineux ont été considérés

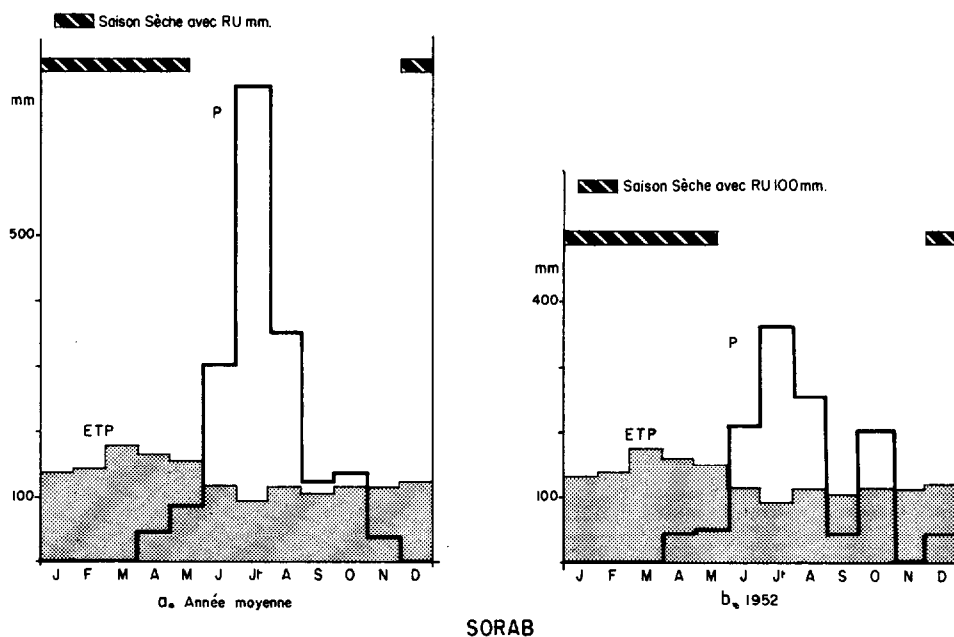


FIG. 10. — Diagramme climatique des zones sub-humides de transition. Semi-Malnad

comme résultant du démantèlement d'une cuirasse préexistante, ceci est confirmé par la présence de blocs résiduels. Le profil suivant, décrit dans la forêt classée de Halagalale est représentatif de ces sols gravillonnaires d'interfluves :

- horizon humifère épais d'une vingtaine de centimètres, brun rougeâtre foncé, contenant environ 10 % de graviers ferrugineux, à structures grumeleuse moyenne et massive associées, texture limono-sableuse, très poreux, très nombreuses racines ;
- de 20 à 40 cm - horizon humifère brun rougeâtre foncé, beaucoup plus riche en gravillons ferrugineux (environ 60 %), à structure polyédrique subanguleuse peu nette et texture limono-argilo-sableuse, très poreux, nombreuses racines ;
- de 40 à 130 cm - horizon rouge ; de pénétration humifère, constitué essentiellement de graviers ferrugineux (environ 80 %), à structure polyédrique subanguleuse peu nette et texture argileuse, très poreux, nombreuses racines.

La capacité d'échange cationique est assez faible dans les horizons profonds (sans matière organique abondante), comprise entre 9 et 11 mé/100 g quand elle est exprimée en fonction du sol total. Calculée par rapport à l'argile seule elle est de l'ordre de 16 mé/100 g. Elle est par contre plus importante et bien saturée par les bases échangeables (taux de saturation variant de 75 à 100 %) dans les horizons organiques. Les déterminations d'argile effectuées sur l'horizon de profon-

deur montrent une nette dominance de la kaolinite et des traces d'illite et de smectite.

Un court *versant* fréquemment induré fait suite à l'interfluve. L'induration semble être due à l'incision du réseau hydrographique qui a induit le piégeage, dans les altérites soumises au battement de nappe, des oxyhydroxydes libérés par la destruction de la cuirasse d'interfluve.

Le *bas-fond* est totalement bouleversé par l'activité humaine et souvent élargi au détriment des zones non indurées du versant. Il est aménagé en rizières et réservoirs.

A cette organisation morphopédologique particulière correspond la répartition suivante de la végétation :

- les interfluves convexes sont couverts de forêts qui sont des formations sempervirentes quand elles ne sont pas trop dégradées. Ces forêts portent le nom local de « Kan forests » ce qui souligne leur distribution en îlots séparés les uns des autres ;
- les versants sont le domaine d'une savane arbustive ou arborée ;
- les bas-fonds sont cultivés, riz et canne à sucre sont les principales spéculations.

L'intérêt de cette région réside dans le fait qu'elle présente de grandes analogies avec d'autres situées en Afrique de l'Ouest au niveau du contact forêt-savane. Dans ces zones de contact, des îlots forestiers sont fréquemment situés au milieu de savanes, sur des sols résultant du démantèlement d'anciens niveaux cuirassés, le plus souvent Haut Glacis cuirassé. Les interprétations

(PELTRE, 1977) de cette disposition particulière soulignent la forte réserve en eau utile des sols gravillonnaires, que l'on nomme en Afrique de l'ouest sols ferrallitiques remaniés ; cette propriété est utilisée pour la localisation des parcelles dans le cadre de projets d'aménagement (BERTRAND *et al.*, 1980, 1984).

b) Les modelés de dissection

Vers 12°N de latitude, la largeur de la zone de transition est limitée à une dizaine de kilomètres. Aux demi-oranges succède un modelé convexo-concave mais les sols sont toujours ferrallitiques. Les premiers changements d'ordre pédologique concernent les horizons de surface et surtout l'horizon gravillonnaire (nappe de gravats) qui deviennent plus massifs et plus cohérents alors qu'en dessous l'altérite est toujours nettement du type isaltérite kaolinique. Ensuite le modelé s'adoucit encore et aux formes plus planes correspondent des matériaux et des sols différents, moins filtrants car la nature des argiles et l'arrangement textural différent. Ceci est particulièrement net en saison des pluies : les zones les moins arrosées sont celles où les flaques persistent le plus longtemps. Il semble qu'à ces variations morphologiques globales correspondent des variations très progressives des minéraux argileux.

L'intérêt de cette transition est évident car elle est progressive mais rapide et elle s'effectue dans un modelé rajeuni, donc en dehors de l'influence d'héritages trop importants, son étude détaillée est en cours.

2.5. Les plaines semi-arides du plateau du Deccan (« maidan »)

CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES

Toute la région des plaines semi-arides est caractérisée par une pluviosité inférieure à 1200 mm et pouvant atteindre 500 mm, cette pluviosité est généralement répartie en deux saisons des pluies (fig. 11). Le drainage climatique calculé est partout nul sauf dans la région de Bangalore où il reste très faible (fig. 4), la durée de la saison sèche varie entre 6 et 10 mois.

MODELÉ ET SOLS (BOURGEON, 1987a et b)

Ces plaines forment ce que les habitants de ces régions nomment le « Maidan » par référence à leur morphologie. Les géomorphologues (DEMANGEOT, 1975), désignent ces plaines sous le nom de surface de Mysore. Dans le détail elles sont formées de glacis dont on peut imaginer qu'ils ont été façonnés sous un climat semblable à l'actuel et sous une végétation naturelle très ouverte. Glacis de dénudation selon la terminologie de TRICART et CAILLEUX (1969), ou encore véritables pédiments (le mot étant pris dans le sens de plan incliné sans aucune référence à un quelconque piedmont), ces glacis forment ce qu'il est convenu d'appeler une pédi-

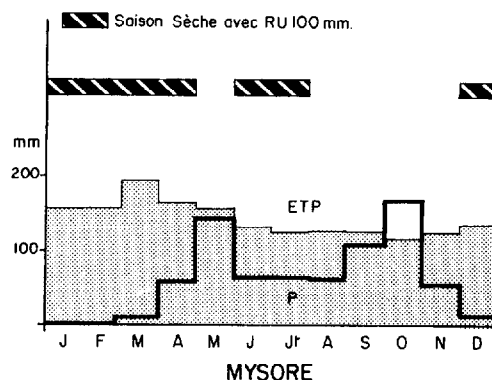


FIG. 11. — Diagramme climatique de la zone des plaines semi-arides du Deccan-Maidan

plaine. De très nombreux affleurements rocheux parsèment les glacis ce qui fait souvent dire que les sols sont peu épais.

Quand la pente devient très faible, à la faveur des axes hydrographiques les plus importants, on observe de vastes dépressions. Alors que les glacis sont occupés par des sols rouges quand ils ne sont pas trop érodés, les dépressions sont le domaine privilégié des sols noirs.

a) Les sols rouges des glacis, le profil type comporte :

- des horizons de surface brun-rouge (5 YR 3/3 humide), de texture légère (sableux à sablo-limoneux), à structure massive ;
- des horizons beaucoup plus rouges (2,5 YR 3/6 humide), de texture plus argileuse (limono-argilo-sableux), à structure polyédrique grossière, parfois massive, des luisances sur les faces des agrégats sont fréquentes ;
- une nappe de gravats résultant de l'accumulation différentielle sur place des éléments les plus résistants de la roche ainsi que des quartz ;
- l'horizon d'altération, est une arène où la roche désagrégée est encore très reconnaissable. L'altération peut être assez profonde et la roche désagrégée sur plusieurs mètres d'épaisseur.

Tous les sols sont très bien pourvus en calcium sous forme échangeable. Il peut être aussi présent sous forme de carbonate :

- précipité dans l'horizon d'altération sous forme d'un encroûtement en réseau occupant les fissures alors que plus haut dans le profil il est évacué,
- en encroûtement nodulaire (nodules de formes très irrégulières) dans les horizons « B » qui deviennent « Bk »,
- en croûte très bien cristallisée, très dure et affleurante, mais il s'agit peut être là d'accumulations héritées.

Caractéristiques analytiques :

— le taux de matière organique est très faible dans tous les sols cultivés, il peut par contre atteindre 6 % sous végétation naturelle de forêt décidue sèche.

— les pH sont le plus souvent compris entre 5.5 et 6.5 et augmentent avec la profondeur, le ΔpH (pH eau-pH KCl) est toujours positif et important et atteint son maximum, voisin de 2, dans les horizons d'altération. Le taux de saturation du complexe absorbant est élevé et augmente aussi généralement avec la profondeur.

— les analyses d'argiles effectuées aussi bien pour les horizons « B » que pour les zones d'altération montrent la présence de minéraux interstratifiés 10-14 Å (illite-smectite) à côté de minéraux à 7 Å, généralement de la kaolinite.

— le rapport Ki obtenu par analyse triacide de la terre fine est légèrement supérieur à 2 en surface et dans les horizons « B » et s'accroît dans les horizons d'altération jusqu'à des valeurs reflétant la composition des feldspaths.

L'argilification et la rubéfaction s'accompagnent d'une importante perte de silice ; elles ont lieu :

— soit par poches au sein de l'horizon d'altération : le matériau constituant ces poches présente alors les caractéristiques des horizons « B »,

— soit seulement au niveau des horizons « B ».

b) Les sols noirs des dépressions

Les profils sont peu différenciés et constitués :

— d'horizons supérieurs gris très sombres (10 YR 3/1), massifs quand ils sont sablo-argileux, mieux structurés et polyédriques quand ils sont argileux ;

— d'horizons profonds un peu plus clairs (10 YR 3/2) ou bruns (10 YR 5/2), où l'on observe souvent des formes d'accumulation de carbonate de calcium en amas friables ou en nodules, parfois des faces de glissement.

Les coupes présentent très souvent des stratifications nettes, les caractères vertiques sont souvent embryonnaires et ces sols doivent donc être considérés comme des sols encore peu évolués.

SPÉCIFICITÉ DE LA ZONE SEMI-ARIDE INDIENNE

La spécificité de la zone semi-aride indienne réside dans la présence de sols rouges très différents, dans leur morphologie aussi bien que dans leurs propriétés, des sols ferrugineux tropicaux africains.

2.6. La zone côtière est ou « plaine du Tamilnad »

CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES

Le climat de la plaine tamoule, à tendance semi-aride, diffère cependant un peu de celui de la zone semi-aride du Deccan : le maximum pluviométrique d'automne est d'autant plus tardif que l'on se rapproche de la côte, le maximum pluviométrique de printemps disparaît (fig.12

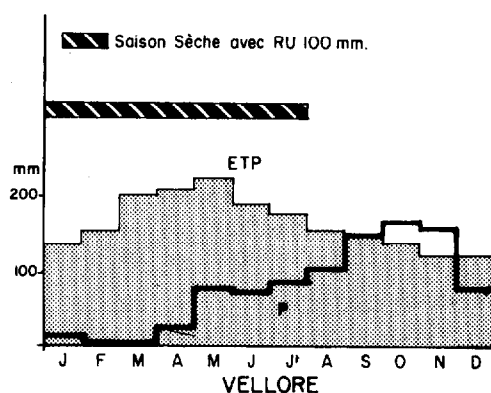


FIG. 12. — Diagramme climatique de la plaine côtière est (station de l'intérieur)

et 13), l'humidité relative n'est vraiment élevée que pour la frange côtière (Tabl. II de l'annexe).

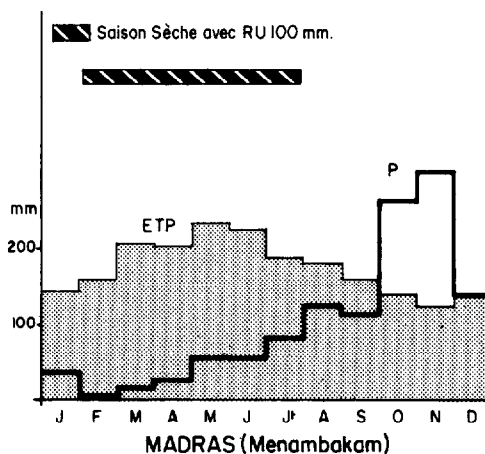


FIG. 13. — Diagramme climatique de la plaine côtière est (frange côtière)

Le drainage climatique est nul sauf sur une bande côtière d'une cinquantaine de km de large et la durée de la saison sèche est partout de l'ordre de 6 mois, 5,5 mois seulement sur la côte proprement dite.

SUBDIVISIONS MORPHOPÉDOLOGIQUES

La zone côtière est a été subdivisée en trois, ici l'arrière-pays est constitué de *glacis sur socle* archéen et la pédiplaine qu'ils forment est assez semblable à la surface de Mysore. Le reste de la zone c'est-à-dire la plaine côtière proprement dite, est formé d'alluvions : *formations alluviales* récentes et alluvions anciennes des « plateaux rouges ».

a) *Les glacis sur socle*

Les glacis sur socle cristallin sont semblables à ceux des plaines du Deccan et ne seront rappelés ici que pour mémoire. La distinction entre les deux niveaux que constituent d'une part le plateau de Mysore et d'autre part la plaine du Tamilnâd tient à leur histoire géomorphologique mais les formes actuelles, les altérations et les sols sont suffisamment semblables pour pouvoir être confondus au niveau d'une présentation synthétique.

b) *Les formations alluviales*

Le modelé général est celui d'une plaine alluviale où toutes les formes de relief ont été effacées par la mise en valeur et la pratique séculaire de l'irrigation. Depuis très longtemps les eaux sont détournées des cours des rivières et réparties dans les bassins d'irrigation, les sédiments qu'elles contiennent matelassent de façon homogène ces bassins et les différents dépôts alluviaux originaux. Ce n'est qu'à la faveur de tranchées que l'on retrouve leur trace. Pour désigner ces formations particulières, les auteurs anglo-saxons emploient le terme « silted-basins ». Dans les petites plaines alluviales tamoules ces dépôts ne prennent pas l'ampleur qu'ils peuvent présenter, par exemple, en Mésopotamie mais les conséquences sur les propriétés des sols restent les mêmes : homogénéisation des textures par rapport à ce que l'on observe dans une plaine alluviale non aménagée.

Les sols de ces plaines ne présentent donc pas de tri granulométrique. Etant pour la plupart développés sur des dépôts très récents ils ne sont pas affectés, non plus, par une évolution pédologique marquée (autre que certaines salinisations locales). Quand le matériau est très argileux on peut observer des faces de glissement. Les pH sont généralement légèrement alcalins, les bases échangeables et le taux de saturation élevés.

c) *Les « plateaux rouges »*

Les plateaux rouges dominent les plaines alluviales récentes d'une quarantaine de mètres, ils jalonnent la région côtière depuis le delta de la Cauvery au sud jusqu'à la latitude de Madras au nord. Ils sont formés de grès miocènes. Le plateau de Neyveli, qui est le plus étendu, servira de modèle à cette présentation.

La surface du plateau est légèrement vallonnée et quand on observe la répartition des sols en liaison avec ce modelé peu marqué on constate que toutes les parties hautes correspondent à des sols cuirassés peu épais alors que les larges vallons présentent des profils peu différenciés très profonds, les puits creusés dans ces zones peuvent traverser des formations meubles sur une vingtaine de mètres. Le modelé actuel peut donc être interprété comme résultant de l'oblitération d'un modelé ancien plus accusé par comblement partiel des axes de

drainage. Le matériau de comblement est vraisemblablement constitué par les horizons supérieurs de sols ferrallitiques, ce matériau est aussi très répandu sur le pourtour des plateaux rouges, notamment autour de celui d'Auroville à proximité de Pondichéry.

Les sols sont essentiellement de deux types : sols cuirassés en place et sols profonds sur matériau remanié.

Le profil des sols cuirassés présente l'organisation suivante :

- de 0 à 20 cm, horizon faiblement humifère, brun rougeâtre (5 YR 4/6), sablo-limoneux, massif, friable ;
- horizon rouge (2,5 YR 4/6), d'épaisseur variable : 20 cm à 1 m, de texture argilo-sableuse, massif ;
- cuirasse d'une cinquantaine de centimètres d'épaisseur, généralement disloquée en blocs, les blocs dans la partie supérieure de la zone cuirassée sont bien disjointes et présentent une patine nette, ils sont très durs, la partie inférieure de la zone cuirassée est fragmentée par un réseau de diaclases et parcourue de canaux aux parois vernissées par les oxydes métalliques ; sur les cassures fraîches, la cuirasse apparaît comme un grès à ciment ferrugineux rouille ou violacé, elle est aussi beaucoup moins dure que dans sa partie supérieure ;
- sous la cuirasse on passe par une transition très graduelle à un matériau rouge (2,5 YR 4/6), de texture limono-sableuse à nombreux sables grossiers, à structure prismatique moyennement développée et revêtements argileux sur les agrégats.

Il existe de nombreuses variantes possibles pour ces sols cuirassés, la cuirasse peut affleurer en blocs, plus rarement en dalles, elle peut aussi avoir été partiellement tronquée et c'est alors la base peu cimentée de la zone cuirassée qui est à l'affleurement.

Ces sols cuirassés constituent de piètres terres agricoles et sont souvent laissés en friches. Quand le recouvrement sur la cuirasse est épais, la culture de l'anacardier est généralement pratiquée car l'acidité est très élevée (pH eau de 4,5 et pH KCl inférieur à 4).

Les profils non cuirassés des parties basses sont beaucoup plus simples et ne comportent généralement que deux types d'horizons :

- des horizons supérieurs appauvris, brun-rougeâtre clair (5 YR 5/6), sableux ou limono-sableux, à tendance particulière, peu humifères (moins de 1 % de carbone organique), d'épaisseur variable, 5 à 40 cm ;
- des horizons profonds constitués par le matériau non évolué, rouge (2,5 YR 5/6), de texture limono-argilo-sableuse, massif.

Ces sols présentent des propriétés physico-chimiques plus favorables que les précédents et souvent modifiées par les amendements.

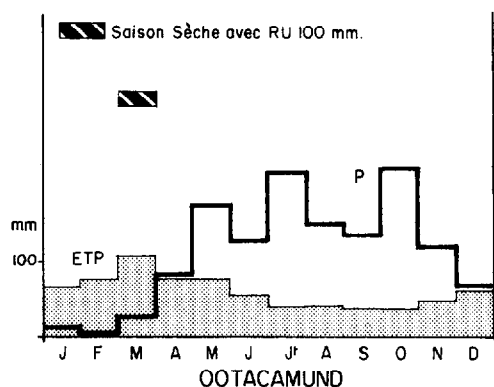


FIG. 14. — Diagramme climatique de la zone de Hautes-Terres

2.7. Les Hautes Terres

CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES (fig. 14)

Les caractéristiques bioclimatiques des Hautes-Terres sont très particulières et contrastent avec celles des plaines et plateaux. Elles ont été bien étudiées notamment par BLASCO (1971) et VON LENGERKE (1977).

L'effet de l'altitude sur les températures est très net et les moyennes annuelles sont de l'ordre de 15° C sans grandes variations au cours de l'année ; les amplitudes thermiques journalières sont plus importantes, surtout en saison sèche.

La pluviosité est plus variable, mais exceptées les bordures ouest des massifs, qui sont soumises aux pluies de la mousson du sud-ouest et qui ne constituent en quelque sorte que des cas particuliers du revers des Ghâts, l'ensemble des Hautes-Terres reçoit des pluviosités généralement comprises entre 1500 et 2000 mm.

Le drainage climatique est estimé à 700 mm pour la station d'Oocatamund sur les Nilgiri et la longueur de la saison sèche y est de l'ordre de 1 mois en moyenne (mars). Mais comme le fait remarquer BLASCO pour ses calculs de durée de la saison sèche effectués selon la méthode de BAGNOULS et GAUSSEN, les valeurs trouvées sur les moyennes ne reflètent que très mal la réalité climatique des Hautes-Terres et les saisons sèches réelles sont souvent beaucoup plus importantes.

MODELÉ ET SOLS

Les formes molles et convexes du centre des massifs contrastent avec les fortes pentes des flancs des horsts. Ces différences ont été soulignées par de nombreux auteurs : BLASCO (1971), DEMANGEOT (1973), VAIDYANADHAN (1977), TROY *et al.*, (1977), TROY (1979), et les formes molles interprétées comme les témoins surélevés d'une ancienne surface.

Sur les parties centrales le raccordement entre collines convexes et bas-fonds se fait par une concavité

marquée et les bas-fonds ont la forme d'un U très évasé ; ils peuvent être tourbeux.

Les sols de ces Hautes-Terres ont été décrits en détail par TROY (1979) et il sera fait ici référence à ses descriptions. Les profils présentent généralement la séquence d'horizons suivante :

- un « A 11 » très humifère, noir, qui peut être épais d'une cinquantaine de cm, pauvre en éléments grossiers, à structure finement grumeleuse bien développée ;
- un « A 12 » brun très foncé, à forte charge en éléments grossiers (60 à 80 % de graviers et cailloux), d'une épaisseur généralement comprise entre 30 et 70 cm ;

- un horizon brun, de texture sablo-limoneuse, de pénétration humifère, peu épais et à limites irrégulières ;
- des horizons d'altération, de type isaltérite, d'épaisseur variable pouvant atteindre plusieurs mètres.

La limite entre les horizons « A 11 » et « A 12 » est nette, très nette dans les zones herbeuses, alors que la limite entre horizon « A 12 » et horizon brun de transition est diffuse et irrégulière et la limite entre ce dernier horizon et l'altérite est nette et irrégulière.

TROY s'intéresse aux sols peu épais sur charnockite qu'il considère comme les sols « normaux », les Hautes-Terres ayant, selon ses hypothèses, connu un « épisode rhéxistatique relativement violent, et suffisamment bref pour n'avoir pas effacé les formes et le modelé d'ensemble hérités des morphogenèses anciennes ». De l'analyse des cortex d'altération et de bilans géochimiques réalisés sur des profils complets, il déduit que la pédogenèse actuelle est ferrallitisante et compliquée par des phénomènes d'accumulation de la matière organique liés à l'altitude.

Les interprétations que l'on peut donner de ces paysages peuvent être totalement différentes, il paraît en effet logique de considérer que, si la morphologie est héritée, les altérations liées à cette morphologie le sont aussi : les sols « normaux » sont donc les sols épais. On serait donc ici en présence d'un ensemble cohérent de formes convexes et d'isaltérites épaisses compatibles avec l'hypothèse d'un paléoclimat tropical chaud et humide avant la montée des horsts. La présence de sols peu épais et d'affleurements est tout à fait compatible avec cette hypothèse car ces situations se retrouvent ailleurs, par exemple dans les paysages de demi-oranges ; elles sont certainement favorisées par la présence de charnockites, roches qui ne s'altèrent pas aussi facilement, et surtout de façon moins homogène, que le gneiss. Les cortex d'altération (kaolinique ou gibbsitique) des dalles sub-affleurantes peuvent aussi très bien être hérités.

Dans cette hypothèse, il faut considérer que seuls les horizons supérieurs des sols correspondent à la pédogenèse actuelle à laquelle l'isaltérite ferrallitique sert

de roche mère, les graviers et cailloux représentant des fragments indurés de l'altérite. L'ancien sol ferrallitique apparaît alors comme digéré par la nouvelle pédogenèse et la ligne de gravats comme un résidu peu transformé. Ceci explique assez bien l'allure, aberrante pour un profil ferrallitique, de la transition entre horizons humifères, qui correspondent au nouveau sol, et altérite, qui représente un paléosol.

L'accumulation de matière organique semble être un processus actuel d'ailleurs décrit comme un cas général des sols de montagne du Sud-Est asiatique : « peaty soils » de BURNHAM (1986). Cet auteur considère le « sol tourbeux » comme le sol qui correspond à la forêt sempervirente aux troncs couverts de mousses en altitude.

Il est beaucoup plus délicat, sur la base de simples observations, de définir quel est le mécanisme de transformation de l'altérite et quelle est la nature de l'altération à la base des profils. Dans les zones légèrement plus basses, plus arrosées et plus chaudes, du flanc est des Nilgiri, l'altération est comparable à celle des sols rouges de la zone semi-aride ; cette observation conforte l'hypothèse de l'impossibilité d'une altération ferrallitique fonctionnelle dans les conditions à la fois plus froides et moins humides des Hautes-Terres.

SPÉCIFICITÉ DES HAUTES-TERRES

La pédogenèse sur ces Hautes-Terres reste donc encore pour une bonne part à étudier et à comparer aux processus qui conduisent à l'acidification et à l'accumulation de matière organique dans les « sholas » de certaines parties du revers des Ghâts pourtant situées à des altitudes nettement inférieures.

3. DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS

3.1. Discussion, premières comparaisons entre Inde du Sud et Afrique de l'Ouest

LES DIFFÉRENCES

La couverture pédologique du sud de l'Inde apparaît moins originale par la nature des sols, semblables à ceux d'autres régions tropicales, que par leur répartition. Celle-ci présente en effet des traits particuliers que l'on ne retrouve pas, par exemple, en Afrique de l'Ouest bien connue de l'Ecole Pédologique Française ; deux spécificités importantes de la répartition des sols en Inde péninsulaire sont :

— la localisation des zones cuirassées dans des milieux bioclimatiques à forte pluviosité alors qu'en Afrique de l'Ouest les zones cuirassées sont pour l'essentiel situées en zone semi-aride où elles ont été étudiées notamment par MAIGNIEN (1958), NAHON (1976), LEPRUN (1979), BAUDET *et al.* (1986) et cartographiées jusqu'aux confins du Sahara par BLANCK (1968).

— les caractères fersiallitiques ou brun-eutrophes des sols de la zone semi-aride indienne alors qu'en Afrique de l'Ouest ils sont principalement de type ferrugineux tropical pour les mêmes conditions climatiques : cf. les cartes de synthèse au 1/5 000 000 par BOULET *et al.* (O.U.A.-I.F.A.N., 1972) et au 1/10 000 000 réalisée à l'occasion du cinquantenaire de l'AFES (ESCHENBRENNER *et al.*, 1984) ainsi que les travaux de CHAUVEL (1977), LEVEQUE (1977) et BOULET (1978).

Ces deux différences majeures font qu'environ 90 % de la couverture pédologique indienne n'obéit pas aux schémas de zonalité définis en Afrique (PEDRO, 1985).

Ces deux différences souffrent cependant quelques exceptions en ce sens que certaines situations locales africaines rappellent le cas général indien :

— les cuirasses de la région côtière guinéenne (MAGNIEN, 1958) qui sont dans une zone climatiquement semblable à la côte ouest indienne,

— les sols fersiallitiques du Nord-Cameroun (MARTIN *et al.*, 1966 ; BRABANT *et al.*, 1985) qui ressemblent beaucoup aux sols de la zone semi-aride indienne.

Les différences entre sols des zones semi-arides indienne et africaine se traduisent par des potentialités différentes, les impacts possibles de telles différences sur le développement ont été soulignées ailleurs (BOURGEON, 1987a et b).

Sur le plan de la répartition des formations végétales, l'Inde surprend par l'absence de formations savanicoles en zone semi-aride. Par contre des formations végétales herbeuses occupent des zones très humides (revers de Ghâts et Hautes Terres) sur sols très acides. La forêt sèche caractérise la zone semi-aride indienne, elle est par contre absente d'une grande partie de l'Afrique ; mais surtout, sur ce continent, elle est toujours séparée des forêts sempervirentes par une bande de savanes (SCHNELL, 1976). La nature des sols pourrait ici aussi expliquer une partie des différences : les savanes étant associées dans les deux cas à des sols présentant des problèmes d'acidité (qu'ils soient ferrugineux tropicaux en Afrique ou fersiallitiques en Inde) ; dans cette hypothèse, les savanes apparaîtraient alors plus comme des formations édaphiques que comme des formations dont la répartition est bioclimatique.

ÉLÉMENTS D'EXPLICATION ET HYPOTHÈSES

Il est possible de proposer quelques éléments d'explication des différences entre l'Inde et Afrique de l'Ouest.

L'importance relative des héritages en Afrique et en Inde semble différente, à cela plusieurs raisons possibles : — le décapage d'anciennes altérites a été actif en Inde où de nombreux témoins attestent d'une ancienne couverture d'altérations kaoliniques ; ces témoins ont le plus souvent la forme de buttes (DEMANGEOT, 1978) dominant d'une quarantaine de mètres ou plus les

surfaces où évoluent actuellement les sols rouges. En Afrique tel n'est pas le cas : les sols ferrugineux sont pour la plupart le résultat de la transformation des anciennes altérations kaoliniques (CHAUVEL, 1977 ; DABIN *et al.*, 1979 ; ESCHENBRENNER *et al.*, 1984), les deux pédogenèses se succédant sur la même surface topographique.

— la répartition des types bioclimatiques semble avoir été plus stable en Inde. Dans ce domaine il faut avancer avec prudence car si les sols semblent en meilleur équilibre avec les conditions climatiques, les indices de variations de ces conditions abondent, plusieurs ont été signalés dans cette synthèse. La relative stabilité dans la répartition des types bioclimatiques peut cependant s'expliquer par le déterminisme essentiellement orographique (fig. 3) de la répartition des pluies dans la région ouest ; le gradient d'extinction de la mousson sur le plateau du Deccan est de ce fait très important (PASCAL, 1982) et une diminution de l'ordre de 30 % des pluviosités ne provoquerait un déplacement de la limite entre zones humides et semi-arides que d'une vingtaine de kilomètres. Une diminution des pluviosités de cet ordre en Afrique aurait des conséquences beaucoup plus marquées sur les extensions des grandes zones bioclimatiques.

La zonalité des phénomènes est latitudinale en Afrique de l'Ouest alors qu'elle est essentiellement longitudinale en Inde. La séquence décrite en Inde du sud se situe approximativement à latitude constante et de ce fait les climats humides sont tous de type tropical à saison sèche marquée quelle que soit la pluviosité (PASCAL, 1982). En Afrique de l'Ouest les climats les plus humides sont généralement à tendance équatoriale sans saison sèche importante alors que les climats moins humides sont de type tropical à une ou deux saisons sèches (O.U.A., 1968). Cette différence, qui affecte surtout les zones humides, peut très bien expliquer celles que l'on observe, entre les deux continents, dans la répartition des cuirasses.

3.2. Conclusions

La tendance est grande, quand une vaste zone est bien connue, de considérer qu'elle correspond à un cas géné-

ral et que l'on peut y établir des lois de corrélation entre les différentes composantes du milieu naturel. C'est ce qui s'est passé dans plusieurs domaines chez les tropicalistes français dont les conceptions sont en général fortement teintées d'« *Africanie* ». Ainsi :

— le vocabulaire de bioclimatologie tropicale a beaucoup utilisé des noms formés à partir de régions africaines pour caractériser des climats d'autres parties du monde ;

— la savane apparaît aux yeux de beaucoup comme la formation végétale normale des régions semi-arides ;

— en géomorphologie climatique on est allé jusqu'à scinder les domaines tropicaux en deux régions sur la base de la répartition des végétaux en Afrique de l'Ouest : les régions humides devenant les régions de forêts et les régions semi-arides celles des savanes.

Dans le domaine pédologique les sols ferrugineux tropicaux ont été considérés comme les sols normalement en équilibre avec le climat de la zone semi-aride et les cuirasses comme un autre élément de cette même zone.

Ayant dénoncé les interprétations abusives causées par l'étude du seul cas africain, il serait tout aussi dangereux de considérer le cas indien comme un modèle universel. L'étude comparative des deux situations incite à la plus grande prudence et la principale conclusion sera de souligner l'importance du facteur temps pour l'étude des sols tropicaux. Celui-ci ne doit plus seulement être considéré sous le seul aspect de la durée mais aussi sous celui des variations enregistrées (FAURE, 1984). Il est relativement satisfaisant de classer les processus d'altération par grands types bioclimatiques (PEDRO, 1984). Il s'avère beaucoup plus difficile de procéder de la même façon pour des profils pédologiques qui intègrent des modifications au cours du temps dans les processus d'altération ainsi que des transformations importantes surimposées à des matériaux pédologiques déjà évolués. Les sols tropicaux apparaissent de plus en plus comme étant des sols polyphasés et leur classification se heurte à ce problème.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 22 août 1989

ANNEXE
TABLEAU I
Sud de l'Inde, températures

		jan.	fev.	mars	avr.	mai	juin	juil.	aout	sept.	oct.	nov.	dec.	Moy. an.
Honavar côte ouest	Max.	31,9	31,3	31,9	32,4	32,3	29,3	28,2	28,3	28,8	30,6	32,5	32,7	30,9
	Min.	20,0	20,5	22,7	25,2	25,8	24,1	23,5	23,5	23,2	23,2	21,9	20,9	22,9
	Moy.	26,0	25,9	27,3	28,8	29,1	26,7	25,9	25,9	26,0	26,9	27,2	26,8	26,9
	Ampl.	11,9	10,8	9,2	7,2	6,5	5,2	4,7	4,8	5,6	7,4	10,6	11,8	
Mangalore côte ouest	Max.	31,4	31,1	31,7	32,4	32,1	29,4	28,5	28,5	28,7	29,8	31,1	31,7	30,5
	Min.	21,7	22,8	24,5	26,1	26,0	23,9	23,5	23,6	23,5	23,8	23,2	21,9	23,7
	Moy.	26,6	27,0	28,1	29,3	29,1	26,7	26,0	26,1	26,1	26,8	27,2	26,8	27,1
	Ampl.	9,7	8,3	7,2	6,3	6,1	5,5	5,0	4,9	5,2	6,0	7,9	9,8	
Calicut côte ouest	Max.	31,7	31,9	32,6	32,9	32,5	29,5	28,2	28,7	29,5	30,4	31,1	31,6	30,9
	Min.	22,0	23,1	24,7	25,8	25,6	23,8	23,3	23,6	23,7	23,8	23,4	22,2	23,8
	Moy.	26,9	27,5	28,7	29,4	29,1	26,7	25,8	26,2	26,6	27,1	27,3	26,9	27,3
	Ampl.	9,7	8,8	7,9	7,1	6,9	5,7	4,9	5,1	5,8	6,6	7,7	9,4	
Mercara collines humides du Deccan	Max.	24,6	26,8	28,5	27,9	26,3	21,9	20,2	20,7	22,0	23,7	23,6	23,5	24,1
	Min.	14,2	15,1	16,6	17,9	18,3	17,4	17,1	17,1	16,9	17,0	16,1	14,6	16,5
	Moy.	19,4	21,0	22,6	22,9	22,3	19,7	18,7	18,9	19,5	20,4	19,9	19,1	20,3
	Ampl.	10,4	11,7	11,9	10,0	8,0	4,5	3,1	3,6	5,1	6,7	7,5	8,9	
Belgaum plaines semi-arides du Deccan	Max.	30,1	32,2	35,0	35,7	34,0	27,5	25,2	25,6	27,0	30,1	29,3	29,3	30,1
	Min.	14,0	15,1	18,0	19,5	20,6	20,6	19,8	19,4	19,0	18,6	17,1	13,9	18,0
	Moy.	22,1	23,7	26,5	27,6	27,3	24,1	22,5	22,5	23,0	24,4	23,2	21,6	24,0
	Ampl.	16,1	17,1	17,0	16,2	13,4	6,9	5,4	6,2	8,0	11,5	12,2	15,4	
Gadag plaines semi-arides du Deccan	Max.	30,3	33,0	36,0	37,3	36,5	31,1	28,5	28,9	29,7	30,8	29,8	29,1	31,8
	Min.	16,7	18,6	21,0	22,5	22,6	21,9	21,2	20,9	20,5	20,2	18,4	16,5	20,1
	Moy.	23,5	25,8	28,5	29,9	29,6	26,5	24,9	24,9	25,1	25,5	24,1	22,8	25,9
	Ampl.	13,6	14,4	15,0	14,8	13,9	9,2	7,3	8,0	9,2	10,6	11,4	12,6	
Chitradurga plaines semi-arides du Deccan	Max.	28,9	32,0	34,9	36,3	35,1	30,6	28,1	28,1	29,1	29,6	28,4	28,0	30,8
	Min.	17,1	19,2	21,5	22,7	22,3	21,4	20,8	20,5	20,3	20,3	18,4	16,7	20,1
	Moy.	23,0	25,6	28,2	29,5	28,7	26,0	24,5	24,3	24,7	25,0	23,4	22,4	25,4
	Ampl.	11,8	12,8	13,4	13,6	12,8	9,2	7,3	7,6	8,8	9,3	10,0	11,3	
Shimoga plaines semi-arides du Deccan	Max.	30,5	32,9	35,3	35,7	33,8	29,0	26,8	27,1	28,6	29,2	29,1	28,9	30,6
	Min.	14,6	16,1	19,1	22,2	22,5	21,7	21,1	21,0	20,5	20,3	17,3	14,4	19,2
	Moy.	22,6	24,5	27,2	29,0	28,2	25,4	24,0	24,1	24,6	24,8	23,2	21,7	24,9
	Ampl.	15,9	16,8	16,2	13,5	11,3	7,3	5,7	6,1	8,1	8,9	11,8	14,5	
Hassan plaines semi-arides du Deccan	Max.	28,1	30,5	32,9	33,2	31,5	26,8	24,8	25,5	26,7	27,6	27,0	26,8	28,5
	Min.	14,7	16,1	18,2	20,1	20,3	19,4	18,9	18,8	18,4	18,6	16,9	15,0	18,0
	Moy.	21,4	23,3	25,6	26,7	25,9	23,1	21,9	22,2	22,6	23,1	22,0	20,9	23,2
	Ampl.	13,4	14,4	14,7	13,1	11,2	7,4	5,9	6,7	8,3	9,0	10,1	11,8	
Mysore plaines semi-arides du Deccan	Max.	28,3	31,2	33,5	34,0	32,6	28,9	27,3	27,9	28,7	28,4	27,4	27,0	29,6
	Min.	16,4	18,2	20,2	21,4	21,2	20,2	19,7	19,6	19,3	19,6	18,3	16,5	19,2
	Moy.	22,4	24,7	26,9	27,7	26,9	24,6	23,5	23,8	24,0	24,0	22,9	21,8	24,4
	Ampl.	11,9	13,0	13,3	12,6	11,4	8,7	7,6	8,3	9,4	8,8	9,1	10,5	
Bangalore plaines semi-arides du Deccan	Max.	26,9	29,7	32,3	33,4	32,7	28,9	27,2	27,3	27,6	27,5	26,3	25,7	28,8
	Min.	15,0	16,5	19,0	21,2	21,1	19,7	19,2	19,2	18,9	18,9	17,2	15,3	18,4
	Moy.	21,0	23,1	25,7	27,3	26,9	24,3	23,2	23,3	23,3	23,2	21,8	20,5	23,6
	Ampl.	11,9	13,2	13,3	12,2	11,6	9,2	8,0	8,1	8,7	8,6	9,1	10,4	
Vellore plaine du Tamilnad	Max.	28,9	31,6	34,5	36,8	38,4	36,0	34,3	34,1	33,5	31,8	29,3	28,1	33,1
	Min.	18,2	19,2	21,4	25,0	26,6	26,3	25,5	25,0	24,4	23,0	20,7	18,7	22,8
	Moy.	23,6	25,4	28,0	30,9	32,5	31,2	29,9	29,6	29,0	27,4	25,0	23,4	28,0
	Ampl.	10,7	12,4	13,1	11,8	11,8	9,7	8,8	9,1	9,1	8,8	8,6	9,4	
Salem plaine du Tamilnad	Max.	31,1	33,7	36,1	36,9	36,8	34,9	33,4	33,2	33,1	31,9	30,5	30,1	33,5
	Min.	19,2	20,2	22,5	25,1	25,5	24,4	23,6	23,4	23,3	22,8	21,2	19,6	22,6
	Moy.	25,2	27,0	29,3	31,0	31,2	29,7	28,5	28,3	28,2	27,4	25,9	24,9	28,0
	Ampl.	11,9	13,5	13,6	11,8	11,3	10,5	9,8	9,8	9,8	9,1	9,3	10,5	
Madras côte est	Max.	28,8	30,6	32,7	34,9	37,6	37,3	35,2	34,5	33,9	31,8	29,2	28,2	32,9
	Min.	20,3	21,1	23,1	26,0	27,8	27,6	26,3	25,8	25,4	24,4	22,5	21,0	24,3
	Moy.	24,6	25,9	27,9	30,5	32,7	32,5	30,8	30,2	29,7	28,1	25,9	24,6	28,6
	Ampl.	8,5	9,5	9,6	8,9	9,8	9,7	8,9	8,7	8,5	7,4	6,7	7,2	
Cuddalore côte est	Max.	27,9	29,0	30,8	32,8	35,7	36,9	35,4	34,5	33,8	31,5	29,0	27,9	32,1
	Min.	20,8	21,2	22,9	25,7	27,1	27,0	26,1	25,4	25,1	24,3	22,8	21,5	24,2
	Moy.	24,4	25,1	26,9	29,3	31,4	32,0	30,8	30,0	29,5	27,9	25,9	24,7	28,1
	Ampl.	7,1	7,8	7,9	7,1	8,6	9,9	9,3	9,1	8,7	7,2	6,2	6,4	
Ootacamund Hautes Terres	Max.	19,9	20,6	21,9	22,1	21,8	18,0	16,4	17,3	18,2	18,7	18,9	19,7	19,5
	Min.	5,1	6,3	8,4	10,2	11,2	11,1	10,9	10,9	10,4	10,0	8,3	6,3	9,1
	Moy.	12,5	13,5	15,2	16,2	16,5	14,6	13,7	14,1	14,3	14,4	13,6	13,0	14,3
	Ampl.	14,8	14,3	13,5	11,9	10,6	6,9	5,5	6,4	7,8	8,7	10,6	13,4	

TABLEAU II
Sud de l'Inde, humidité relative

		jan.	fev.	mars	avr.	mai	juin	juil.	aout	sept.	oct.	nov.	dec.	Moy. an.
Honavar côte ouest	8H30	68	75	79	78	79	89	92	92	91	85	70	63	80
	17H30	59	64	67	70	72	86	90	88	84	79	66	59	74
	Moy.	64	70	73	74	76	88	91	90	88	82	68	61	77
	Ampl.	9	11	12	8	7	3	2	4	7	6	4	4	
Mangalore côte ouest	8H30	71	75	75	73	77	89	91	91	89	85	77	69	80
	17H30	61	66	67	69	72	85	88	87	83	79	69	62	74
	Moy.	66	71	71	71	75	87	90	89	86	82	73	66	77
	Ampl.	10	9	8	4	5	4	3	4	6	6	8	7	
Calicut côte ouest	8H30	74	76	74	75	81	90	92	92	88	85	80	75	82
	17H30	64	66	69	71	76	85	89	86	82	78	72	64	75
	Moy.	69	71	72	73	79	88	91	89	85	82	76	70	79
	Ampl.	10	10	5	4	5	5	3	6	6	7	8	11	
Mercara collines humides du Deccan	8H30	79	73	72	82	88	95	97	96	94	89	83	82	86
	17H30	55	53	54	71	80	94	96	95	91	85	73	58	75
	Moy.	67	63	63	77	84	95	97	96	93	87	78	70	81
	Ampl.	24	20	18	11	8	1	1	1	3	4	10	24	
Belgaum plaines semi-arides du Deccan	8H30	66	61	62	72	78	85	90	92	89	81	70	67	76
	17H30	30	30	32	46	58	76	92	87	81	64	47	35	57
	Moy.	48	46	47	59	68	81	91	90	85	73	59	51	66
	Ampl.	36	31	30	26	20	9	2	5	8	17	23	32	
Gadag plaines semi-arides du Deccan	8H30	61	54	58	71	78	88	84	84	83	75	64	63	72
	17H30	35	31	31	41	49	68	73	70	66	57	46	41	51
	Moy.	48	43	45	56	64	78	79	77	75	66	55	52	61
	Ampl.	26	23	27	30	29	20	11	14	17	18	18	22	
Chitradurga plaines semi-arides du Deccan	8H30	65	56	55	67	75	79	83	84	83	79	73	71	73
	17H30	33	24	24	30	39	63	69	69	63	55	50	40	47
	Moy.	49	40	40	49	57	71	76	77	73	67	62	56	60
	Ampl.	32	32	31	37	36	16	14	15	20	24	23	31	
Shimoga plaines semi-arides du Deccan	8H30	76	76	77	75	78	83	88	87	85	86	82	76	81
	17H30	33	27	27	44	57	73	81	78	74	70	57	43	55
	Moy.	55	52	52	60	68	78	85	83	80	78	70	60	68
	Ampl.	43	49	50	31	21	10	7	9	11	16	25	33	
Hassan plaines semi-arides du Deccan	8H30	74	69	71	76	80	85	88	85	86	83	78	76	79
	17H30	37	31	31	47	64	77	81	79	75	70	58	46	58
	Moy.	56	50	51	62	72	81	85	82	81	77	68	61	69
	Ampl.	37	38	40	29	16	8	7	6	11	13	20	30	
Mysore plaines semi-arides du Deccan	8H30	75	69	71	75	79	81	84	84	83	85	80	78	79
	17H30	30	25	21	34	51	66	70	67	61	61	54	43	49
	Moy.	53	47	46	55	65	74	77	76	72	73	67	61	64
	Ampl.	45	44	50	41	28	15	14	17	22	24	26	35	
Bangalore plaines semi-arides du Deccan	8H30	77	67	63	70	75	82	86	86	85	83	78	78	78
	17H30	40	29	24	34	46	62	68	66	62	64	59	51	50
	Moy.	59	48	44	52	61	72	77	76	74	74	69	65	64
	Ampl.	37	38	39	36	29	20	18	20	23	19	19	27	
Vellore plaine du Tamilnad	8H30	85	79	75	69	62	62	66	69	71	80	83	85	74
	17H30	52	41	37	39	42	47	51	54	56	65	64	59	51
	Moy.	69	60	56	54	52	55	59	62	64	73	74	72	62
	Ampl.	33	38	38	30	20	15	15	15	15	15	19	26	
Salem plaine du Tamilnad	8H30	73	72	69	70	71	74	78	79	77	80	78	75	75
	17H30	43	35	32	41	47	51	56	55	54	62	61	52	49
	Moy.	58	54	51	56	59	63	67	67	66	71	70	64	62
	Ampl.	30	37	37	29	24	23	22	24	23	18	17	23	
Madras côte est	8H30	83	80	77	72	63	58	65	69	73	81	83	84	74
	17H30	67	63	64	68	66	59	61	64	69	76	76	71	67
	Moy.	75	72	71	70	65	59	63	67	71	79	80	78	71
	Ampl.	16	17	13	4	3	1	4	5	4	5	7	13	
Cuddalore côte est	8H30	83	84	79	75	67	63	68	73	73	81	83	83	76
	17H30	71	70	69	73	72	62	60	66	70	75	76	74	70
	Moy.	77	77	74	74	70	63	64	70	72	78	80	79	73
	Ampl.	12	14	10	2	5	1	8	7	3	6	7	9	6
Ootacamund Hautes Terres	8H30	67	67	61	71	76	88	91	91	88	86	82	72	78
	17H30	66	60	56	68	75	85	89	88	85	85	80	71	76
	Moy.	67	64	59	70	76	87	90	90	87	86	81	72	77
	Ampl.	1	7	5	3	1	3	2	3	3	1	2	1	

BIBLIOGRAPHIE

- BAGNOULS (F.), GAUSSEN (H.), 1957. — Les climats biologiques et leur classification. *Ann. de Géogr.*, 355 : 193-220.
- BEAUDET (G.), COQUE (R.), 1986. — Les modelés cuirassés des savanes du Burkina Faso (Afrique Occidentale). *Rev. Géol. Dyn. et de Géogr. Phys.*, 27 (34) : 213-224.
- BERTRAND (R.), ANGE (A.), BOURGEON (G.), 1980. — Conception des études pédologiques nécessaires à la création d'un complexe agro-industriel sucrier. *Agron. Trop.* 35(1) : 9-19.
- BERTRAND (R.), BOURGEON (G.), ANGE (A.), GREGOIRE (J.M.), 1984. — Les paysages morphopédologiques du complexe sucrier de Borotou-Koro (Côte-d'Ivoire). Caractéristiques et genèse. *Agron. Trop.*, 39 (2) : 107-120.
- BLASCO (F.), 1971. — Montagnes du sud de l'Inde ; forêts, savanes écologie, *Inst. fr. Pondichéry, trav. sec. sci. tech.*, 10 (1), 536 p.
- BLANCK (J.P.), 1968. — La Boucle du Niger (Mali). Cartes géomorphologiques et notice ; projet d'aménagement. C.G.A., Strasbourg, 12 cartes, 30 et 42 p.
- BOULET (R.), 1978. — Toposéquences de sols tropicaux en Haute-Volta. Equilibre et déséquilibre pédobioclimatique. *Mémoire O.R.S.T.O.M.* n° 85 : 272 p.
- BOURGEON (G.), 1987a. — Les « sols rouges » des régions semi-arides du sud de l'Inde. I. Propriétés et classification pédologique. *Agron. Trop.*, 42 (3) : 153-164.
- BOURGEON (G.), 1987b. — Les « sols rouges » des régions semi-arides du sud de l'Inde. II. Potentialités, rôle dans les systèmes agraires. *Agron. Trop.*, 42 (3) : 165-170.
- BOURGEON (G.). — Reconnaissance soil map of forest area, 1/1 000 000 scale, sheet MANGALORE-PANAJI. *Inst. fr. Pondichéry, trav. sec. sci. tech.*, Hors série n° 20 (en préparation).
- BOURGEON (G.), PASCAL (J.P.), 1986. — Influences des héritages morphopédologiques dans la répartition des formations forestières : région de Sorab-Siddapur (Inde du sud). *Bois et Forêts des Tropiques*, 214 : 3-21.
- BRABANT (R.), GAVAUD (M.), 1985. — Les sols et les ressources en terres du Nord-Cameroun. O.R.S.T.O.M.-M.E.S.R.E.S.-I.R.A. *Notice explicative* n° 103, ORSTOM, Paris, 285 p.
- BUCHANAN (F.), 1807. — A journey from Madras through the countries of Mysore, Canara, and Malabar. Asian Educational Services, rééd. 1988.
- BURNHAM (C.P.), 1986. — The forest environment : soils. In : *Tropical Rain Forests of the Far East* by T.C. Whitmore. Oxford, ELBS Ed. : 137-154.
- CASSHYAP (S.M.), 1979. — Patterns of sedimentation in Gondwana basins. In : *Fourth International Symposium, Geological Survey of India, Calcutta, janv. 1977, vol. II, Hindustan publishing corporation. Delhi* : 525-551.
- CHAUVEL (A.), 1977. — Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Evolution et réorganisation des sols rouges de moyenne Casamance, Sénégal, Paris, *Trav. et Doc. de l'ORSTOM*, n° 62 : 532 p.
- DABIN (B.), MAIGNIEN (R.), 1979. — Les principaux sols d'Afrique de l'Ouest et leurs potentialités agricoles. *Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Pédol.*, 17 (4) : 235-257.
- DEMANGEOT (J.), 1973. — Une montagne tropicale : les Nilghiri (Inde du sud). *Finesterra, Revista Portuguesa de Geografia*, 8 (16) : 292-307.
- DEMANGEOT (J.), 1975. — Recherches géomorphologiques en Inde du sud. *Zeitschr. Geomorph. N.F.*, 19 (3) : 229-272.
- DEMANGEOT (J.), 1978. — Les reliefs cuirassés de l'Inde du Sud. *Trav. et Doc. de Géogr. Trop.*, n° 33 : 99-111.
- DESIKACHAR (S.W.), 1979. — Evolution of the indian subcontinent in terms of the new global tectonics and its implications for exploration of hydrocarbons. In : *Fourth International Symposium, Geological Survey of India, Calcutta, janv. 1977, vol. II. Hindustan publishing corporation, Delhi* : 734-747.
- ESCHENBRENNER (V.), VOLKOFF (B.), PEDRO (G.), 1984. — Ressources mondiales en sols. Les grands ensembles de sols du monde (esquisse au 1/10 000 000).
- FAURE (H.), 1984. — Paléolatitudes et altérations. *Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Géol.*, 14 (2) : 184-186.
- International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 1979. — *Agroclimatology, report of work 1977-78. Hyderabad, Inde, I.C.R.I.S.A.T.* : 55 p.
- JANARDHAN (A.S.), NEWTON (R.C.), HANSEN (E.G.), 1983. — Transformations of peninsular gneiss to charnockite in southern Karnataka. In *Precambrian of South-India, proceedings of the Indo - U.S. workshop, 12-15 janv. 1982, Hyderabad. Mem. Geol. Soc. India*, n° 4 : 417-435.
- KLOOTWIJK (C.T.), 1976. — The drift of the indian subcontinent, an interpretation of recent palaeomagnetic data. *Geol. Rundschau* 65 : 885-909.
- KRISHNASWAMY (V.S.), 1981. — The Deccan volcanism episode, related tectonism and geothermal manifestations. In : *Deccan volcanism and related basalt provinces in other parts of the world, proceedings of the group discussion held at Bombay-Khandala, 18-26 nov. Memoir of the Geological Society of India*, n° 3 : 1-7.
- LABROUE (L.), LEGRIS (P.), VIART (M.), 1965. — Bioclimats du sous-continent indien. *Inst. fr. Pondichéry, trav. sec. sci. tech.*, 3 (3), 32 p. 4 cartes.
- LEGRIS (P.), 1963. — La végétation de l'Inde : écologie et flore. Pondichéry, *Inst. fr. Pondichéry, trav. sec. sci. tech.*, 6, 596 p.

- LEPRUN (J.C.), 1979. — Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique Occidentale sèche. Genèse, transformations, dégradation. *Mém. Sci. Géol.* n° 58 : 224 p.
- LEVEQUE (A.), 1977. — Fraction argileuse des sols du socle granito-gneissique au Togo. *Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Pédol.*, 15 (2) : 109-130.
- MAIGNIEN (R.), 1958. — Le cuirassement des sols en Guinée. *Mémoires du service de la carte géologique d'Alsace et de Lorraine*, n° 16 : 239 p.
- MARTIN (D.), SIEFFERMAN (G.), VALLERIE (M.), 1966. — Les sols rouges du Nord-Cameroun. *Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Pédol.*, 4(3) : 3-28.
- MONNIER (Y.), PETIT (M.), 1986. — Charge biotique et dynamique des paysages. L'exemple du Coorg, Inde péninsulaire méridionale. *Cah. d'Outre-Mer* 39 (153) : 29-50.
- MURTHY (R.S.), HIREKERUR (L.R.), DESHPANDE (S.B.), VENKATA RAO (B.V.), 1982. — Benchmark soils of India : morphology, characteristics and classification for resource management. Nagpur, National Bureau of Soil Survey & Land Use Planning (I.C.A.R.), 374 p.
- RAO (B.V.), 1982. — Benchmark soils of India : morphology, characteristics and classification for resource management. Nagpur, National Bureau of Soil Survey & Land Use Planning (I.C.A.R.), 374 p.
- NAGA BHUSHANA (S.R.), SHANKARANARAYANA (H.S.), SHIVAPRASAD (C.R.), 1987. — Classification requirements of red soils of India for transfert of technology. In Alfisols in the semi-arid tropics, proceedings of the consultants' workshop on the state of the art and management alternatives for optimizing the productivity of SAT Alfisols and related soils, 1-3 déc. 1983, I.C.R.I.S.A.T., Patancheru, Inde : 1-13.
- NAHON (D.), 1976. — Cuirasses ferrugineuses et encroûtements calcaires au Sénégal Occidental et en Mauritanie. Systèmes évolutifs : géochimie, structures, relais et coexistence. *Mém. Sci. Géol.*, n° 44 : 232 p.
- O.U.A., 1968. — Atlas International de l'Ouest africain, 1^{re} livraison (Cartes climatiques).
- O.U.A., I.F.A.N., 1972. — Atlas International de l'Ouest africain, 2^e livraison (Carte des sols).
- PASCAL (J.P.), 1982. — Bioclimats des Ghâts occidentaux, *Inst. fr. Pondichéry, trav. sec. sci. tech.*, Hors série n° 17, 2 cartes.
- PASCAL (J.P.) 1984. — Les Forêts denses humides sempervirentes des Ghâts Occidentaux de l'Inde. *Inst. fr. Pondichéry, trav. sec. sci. tech.*, 20 : 364 p.
- PASCAL (J.P.), 1986. — Explanatory booklet on the Forest Map of South India. *Inst. fr. Pondichéry, trav. sec. sci. tech.*, Hors série n° 18 : 88 p.
- PASCAL (J.P.) (With the collaboration of SHYAM-SUNDER (S.), MEHER-HOMJI (V.M.)), 1982a. — Forest Map of South India, 1/250 000 scale, sheet Mercara-Mysore, *Inst. fr. Pondichéry, trav. sec. sci. tech.* Hors série n° 18a.
- PASCAL (J.P.) (With the collaboration of SHYAM-SUNDER (S.), MEHER-HOMJI (V.M.)), 1982b. — Forest Map of South India, 1/250 000 scale, sheet Shimoga. *Inst. fr. Pondichéry, trav. sec. sci. tech.*, Hors série n° 18b.
- PASCAL (J.P.) (with the collaboration of SHYAM-SUNDER (S.), MEHER-HOMJI (V.M.)), 1984. — Forest map of South India, 1/250 000 scale, sheet Belgaum-Dharwar-Panaji, *Inst. fr. Pondichéry, trav. sec. sci. tech.* Hors série n° 18 c.
- PEDRO (G.), 1984. — La genèse des argiles pédologiques *Sci. Géol. Bull.*, n° 37(4) : 333-348.
- PEDRO (G.), 1985. — Les grandes tendances des sols mondiaux, *ORSTOM Actualités*, 11 : 11-14.
- PELTRE (P.), 1977. — Le « V Baoulé » (Côte-d'Ivoire Centrale) Héritage Géomorphologique et Paléoclimatique dans le tracé du contact Forêt-Savane. *Trav. et Doc. O.R.S.T.O.M.*, n° 80 : 198 p.
- PETIT (M.), 1985. — Deux bassins dans les socles tropicaux le Mutara granitique (Rwanda) et les Baba Budan Hills métavolcaniques (Inde Péninsulaire méridionale), *Phisio. Géol.* 13 : 83-49.
- PICHAMUTHU (C.S.), 1985. — *Archaeon Geology*. Oxford and I.B.H. Publishing Co, New Delhi, Bombay, Calcutta : 420 p.
- RAYCHAUDURI (S.P.), AGARWAL (R.R.), DATTA BISWAS (N.R.), GUPTA (S.P.), THOMAS (P.K.), 1963. — Soils of India. New-Delhi, I.C.A.R., 496 p.
- SCHNELL (R.), 1976. — Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux, 3, la flore et la végétation de l'Afrique Tropicale. Gauthier-Villars, Paris : 470 p.
- SWAMI NATH (J.), RAMAKRISHNAN (M.), 1981. — Present classification and correlation. In : Early Precambrian Supracrustals of Southern Kamataka. Mémoire of the Geological Survey of India, n° 112 : 23-38, 2 cartes, 1 tableau.
- SWINDALE (L.D.), 1982. — Distribution and use of arable soils in the semi-arid Tropics. Transactions of the 12th International Congress of Soil Science, New-Delhi, Inde, 8-16 février, vol. 1 : « Managing soil ressources », New-Delhi, I.S.S.S. A.I.S.S. I.B.G., 67-100.
- TEIXEIRA (C.), 1965. — Les latérites de Goa et le problème de leur genèse, *Revista da Junta de Investigações do Ultramar*, 13 (1) : 69-86.
- TRICART (J.), CAILLEUX (A.), 1969. — *Traité de géomorphologie*. Tome IV : Le modelé des régions sèches, Paris, Sedes, 472 p.
- TROY (J.P.), 1979. — Pédogenèse sur roches charnockitiques en région tropicale humide de montagne dans le sud de l'Inde. Rôle du milieu, essai de reconstitution historique. Thèse Université de Nancy.
- TROY (J.P.), LEGRIS (P.), SOUCHIER (B.), 1977. — Aspects d'écologie globale dans les montages des Palni et des Nilgiri (Inde du sud). *Bull. Ecol.*, 8 (2) : 151-172.
- VAIDYANADHAN (R.), 1967. — An outline of the geomorphic history of India, south of N latitude 18°. Seminar on geomorphological studies in India, Sagar, Inde, 14-19 novembre 1965 Sagar, University of Saugar, Center for Advance Studies in Geology : 121-130.

- VAIDYANADHAN (R.), 1977. — Recent advances in geomorphic studies of peninsular India. *Ind. Jnl. of Earth Sci. S. Ray* Vol. : 13-35.
- VAN CAMPO (E.), 1983. — Paléoclimatologie des bordures de la mer d'Arabie depuis 150 000 ans, analyse pollinique et stratigraphie isotopique. Thèse U.S.T.L., Montpellier : 114 p. + annexes.
- VON LENGERKE (H.J.), 1977. — The Nilgiris, weather and climate of a mountain area in South India. *Beiträge zur Südasienforschung Südasien-Institut Universität Heidelberg*, Band 32, 340 p.