

Étude palynologique d'un nouveau sondage dans les marais de Sandynallah (massif des Nilgiri, Sud-Ouest de l'Inde)

A New Pollen Diagram from the Sandynallah Swamps (Nilgiri Hills, South West India)

Palynologische Studie einer neuen Probebohrung von den Sümpfen von Sandynallah (Nilgiri-Gebirge, Südwestindien)

Jean-Pierre Sutra, Raymonde Bonnefille et Michel Fontugne

Volume 51, numéro 3, 1997

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/033140ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/033140ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (imprimé)

1492-143X (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Sutra, J.-P., Bonnefille, R. & Fontugne, M. (1997). Étude palynologique d'un nouveau sondage dans les marais de Sandynallah (massif des Nilgiri, Sud-Ouest de l'Inde). *Géographie physique et Quaternaire*, 51(3), 415–426. <https://doi.org/10.7202/033140ar>

Résumé de l'article

Cet article présente des données polliniques pour un nouveau sondage de 9 mètres de profondeur réalisé dans un des marais de la région de Sandynallah (11°26'N, 76°38'E, alt. 2200 m), situé dans le massif des Nilgiri. Ces montagnes du Sud-Ouest de l'Inde sont soumises à un régime de mousson d'été. Quatorze datations au radiocarbone ont été obtenues sur neuf échantillons de sédiment brut par la méthode conventionnelle. Les datations de la partie profonde du sondage s'étalent entre 27 000 et 35 000 ans BP. Elles indiquent clairement que le début du remplissage date d'avant le dernier maximum glaciaire. L'analyse pollinique a porté sur 65 échantillons. Des comptages élevés ont permis d'identifier 95 taxons polliniques parmi lesquels 55 sont du pollen d'arbres et d'arbustes dont certains spécifiquement forestiers. Sur l'ensemble des taxons, le pollen de Gramineae, Cyperaceae et d'autres plantes marécageuses représente plus de 80 % du total compté. La période glaciaire est caractérisée par la prédominance de Gramineae en C4 associées à Artemisia et aux Apiaceae. Une phase à Michelia (Magnoliaceae), un arbre semi-décidu des forêts d'altitude, a été attribuée à l'Holocène supérieur autour de 3800 ans BP. La présence régulière, mais en faible quantité, d'autres taxons forestiers comme Olea, Ilex, Glochidion et Rapanea sur l'ensemble de la séquence montre que la mosaïque forêt-savane a existé dans ces régions bien avant que l'Homme n'intervienne sur la forêt.

ÉTUDE PALYNOLOGIQUE D'UN NOUVEAU SONDAGE DANS LES MARAIS DE SANDYNALLAH (MASSIF DES NILGIRI, SUD-OUEST DE L'INDE)

Jean-Pierre SUTRA, Raymonde BONNEFILLE* et Michel FONTUGNE ; les deux premiers auteurs : Institut français de Pondichéry, B.P. 33, Pondichéry, 605001 Inde ; troisième auteur : Centre des faibles radioactivités, CNRS-CEA, 91198, Gif-sur-Yvette ; France.

RÉSUMÉ Cet article présente des données polliniques pour un nouveau sondage de 9 mètres de profondeur réalisé dans un des marais de la région de Sandynallah (11°26'N, 76°38'E, alt. 2200 m), situé dans le massif des Nilgiri. Ces montagnes du Sud-Ouest de l'Inde sont soumises à un régime de mousson d'été. Quatorze datations au radiocarbone ont été obtenues sur neuf échantillons de sédiment brut par la méthode conventionnelle. Les datations de la partie profonde du sondage s'étalent entre 27 000 et 35 000 ans BP. Elles indiquent clairement que le début du remplissage date d'avant le dernier maximum glaciaire. L'analyse pollinique a porté sur 65 échantillons. Des comptages élevés ont permis d'identifier 95 taxons polliniques parmi lesquels 55 sont du pollen d'arbres et d'arbustes dont certains spécifiquement forestiers. Sur l'ensemble des taxons, le pollen de Gramineae, Cyperaceae et d'autres plantes marécageuses représente plus de 80 % du total compté. La période glaciaire est caractérisée par la prédominance de Gramineae en C₄ associées à *Artemisia* et aux Apiaceae. Une phase à *Michelia* (Magnoliaceae), un arbre semi-décidu des forêts d'altitude, a été attribuée à l'Holocène supérieur autour de 3800 ans BP. La présence régulière, mais en faible quantité, d'autres taxons forestiers comme *Olea*, *Ilex*, *Glochidion* et *Rapanea* sur l'ensemble de la séquence montre que la mosaïque forêt-savane a existé dans ces régions bien avant que l'Homme n'intervienne sur la forêt.

ABSTRACT A new pollen diagram from the Sandynallah swamps (Nilgiri hills, South West India). This paper presents pollen data from the Nilgiri hills in South-West India subjected to the summer monsoon climatic regime. The sequence comes from a new 9-m core (A2) collected in one of the Sandynallah swamps (11°26'N, 76°38'E) at an elevation of 2200 m. Forteen conventional radiocarbon dates have been obtained from nine bulk samples. They clearly indicate that the lower part was deposited during the last glacial period and confirm previous information from this area. The oldest dates, 27,000 to 35,000 yr BP, measured at the Laboratoire souterrain de Modane (France), present consistent results. The lower part of the pollen sequence dates from the last glacial period (isotopic stage 3) before the last glacial maximum. The upper three metres were deposited during the last 5000 years. The record of the lower Holocene is apparently missing. Pollen analysis was undertaken on 65 samples. The pollen flora appears to be strongly dominated by grasses and swamp plants accounting for more than 80 % of the total counts. High counts were done which allow to recognize 95 distinct taxa among which 55 are attributed to tree forest elements. The glacial period is dominated by C₄ grasses associated with a significant signal of *Artemisia* and Apiaceae. During the late Holocene a sharp peak of *Michelia*, a semi-deciduous tree of the montane forest among the Magnoliaceae is dated at around 3800 yr BP. Its association with other forest components such as *Olea*, *Glochidion*, *Ilex* and *Rapanea* favour the interpretation that a mosaic of grassland and forest existed in the Nilgiri hills since a few thousand years, well before human impact on forest.

ZUSAMMENFASSUNG Palynologische Studie einer neuen Probebohrung von den Sümpfen von Sandynallah (Nilgiri-Gebirge, Südwestindien). Dieser Artikel befasst sich mit den Pollendaten von einer neuen 9m tiefen Probebohrung in einem der Sümpfe des Sandynallah-Gebiets (11°26' N, 76°38'O, Höhe 2200 m) im Nilgiri-Gebirge. Diese Berge im Südwesten Indiens unterliegen einem Sommer-Monsun-System. Man hat vierzehn konventionelle Kohlestoffdatierungen auf neun Roh-Sedimentproben erhalten. Die Datierungen des unteren Teils der Probebohrung reichen von 27000 bis 35000 Jahre v.u.Z. Sie lassen eindeutig erkennen, dass der Beginn der Auffüllung vor das letzte glaziale Maximum reicht. Die Pollen-Analyse wurde auf 65 Proben durchgeführt. Zahlreiche Zählungen führten zur Identifizierung von 95 Pollen-Taxa, von denen 55 Baum- und Buschpollen sind, einige davon spezifisch Wald zugehörig. In der Gesamtheit der Taxa repräsentieren die Pollen von Gramineae, Cyperaceae und anderen Sumpfpflanzen mehr als 80%. Die Glazialzeit zeichnet sich durch das Vorherrschen von C₄-Gramineae aus, welche mit *Artemisia* und Apiaceae in Verbindung gebracht werden. Eine Phase mit *Michelia* (Magnoliaceae), ein Halb-Laubb Baum der Hochwälder, wird dem späten Holozän um 3800 Jahre v.u.Z. zugeordnet. Das regelmässige Vorkommen anderer Wald-Taxa wie *Olea*, *Ilex*, *Glochidion* und *Rapanea*, wenn auch in geringen Mengen, in der gesamten Sequenz zeigt, dass ein Wald-Savanne-Mosaik in diesen Gebieten lange vor Einwirken des Menschen auf den Wald bestand.

INTRODUCTION

Le massif des Nilgiri constitue un élargissement de la chaîne des Ghâts occidentaux qui domine la côte ouest de l'Inde entre 8 et 12° de latitude (Demangeot, 1973, 1975). Ce massif, situé au nord de la trouée de Palghat (11°30'N), s'élève à plus de 2000 m (fig.1) et présente, dans l'étage montagnard, un paysage de savanes associées à des forêts de dimensions variables, mais, actuellement, souvent réduites en superficie. Elles sont appelées sholas (Blasco, 1971).

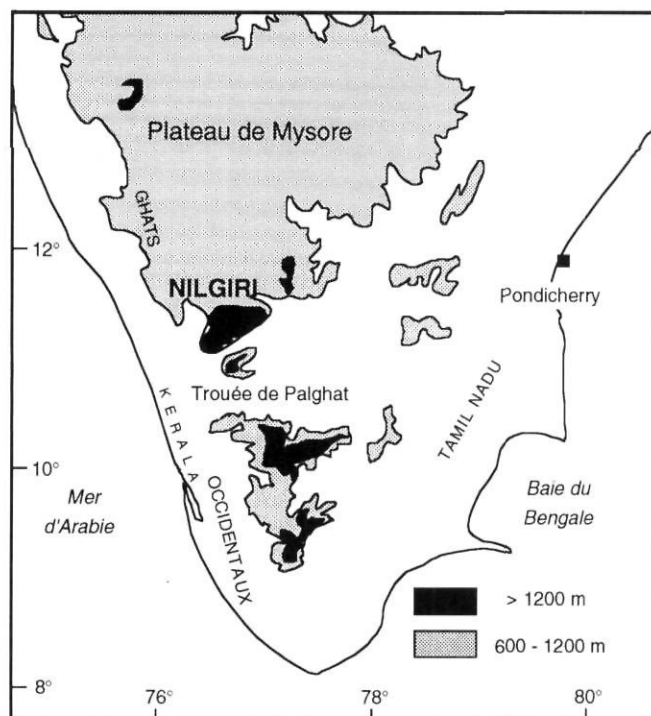


FIGURE 1. Localisation du massif des Nilgiri dans la chaîne des Ghâts occidentaux (Inde)

Location of Nilgiri hills in Western Ghats (India).

Les régions les plus occidentales du massif des Nilgiri sont soumises directement aux pluies de la mousson du sud-ouest durant les mois de juin à septembre, alors que les versants orientaux reçoivent aussi, en octobre et novembre, les pluies cycloniques en provenance du golfe du Bengale. Une décroissance selon un gradient ouest-est de la pluviosité moyenne caractérise le régime pluviométrique du massif des Nilgiri. Depuis les lignes de crête occidentales, les valeurs enregistrées varient en moins de 25 km de 2000 à 800 mm, à l'est (Legris et Blasco, 1969) (fig. 2).

La flore des Nilgiri est connue depuis des travaux commencés dès le XIX^e siècle (Leschenault de la Tour, 1822 ; Fyson, 1932 ; Gamble, 1916-1936) ainsi que ceux plus récents de l'équipe de Sharma et d'autres botanistes indiens (Sharma et al, 1977 ; Nair et Henry, 1983 ; Nair et al, 1987).

Parmi les forêts de l'Inde, les sholas des Nilgiri ont été considérées comme appartenant au groupe des forêts tempérées humides de montagne (Champion et Seth, 1968) caractérisées, dans le sud de l'Inde, par un mélange de genres tropicaux et tempérés (Legris et Meher-Homji, 1977). Du point de vue de la succession altitudinale, la limite inférieure pour ces forêts s'établit à 1800-1900 m. Elles font suite aux forêts sempervirentes de montagne (1600-1800 m) à *Schefflera* sp., *Meliosma arnottiana* et *Gordonia obtusa* qui sont situées au dessus de la zone des forêts à Lauraceae entre 1400-1600 m d'altitude (Pascal, 1991). Les espèces forestières présentes dans les sholas ne sont pas totalement identiques de l'ouest à l'est du massif.

La végétation des prairies humides d'altitude (*southern montane wet grasslands*) (Champion et Seth, 1968) et des savanes arbustives (Meher-Homji, 1967) a été étudiée ainsi que les relations entre les sols et le couvert végétal (Troy et al., 1977). La strate graminéenne principale de ces formations ouvertes est toujours plurispécifique avec des genres comme *Chrysopogon*, *Arundinella*, *Themeda*, *Isachne* et *Pollinia*. Elle est continue et de hauteur moyenne dans le cas des savanes ou faible dans le cas des prairies.

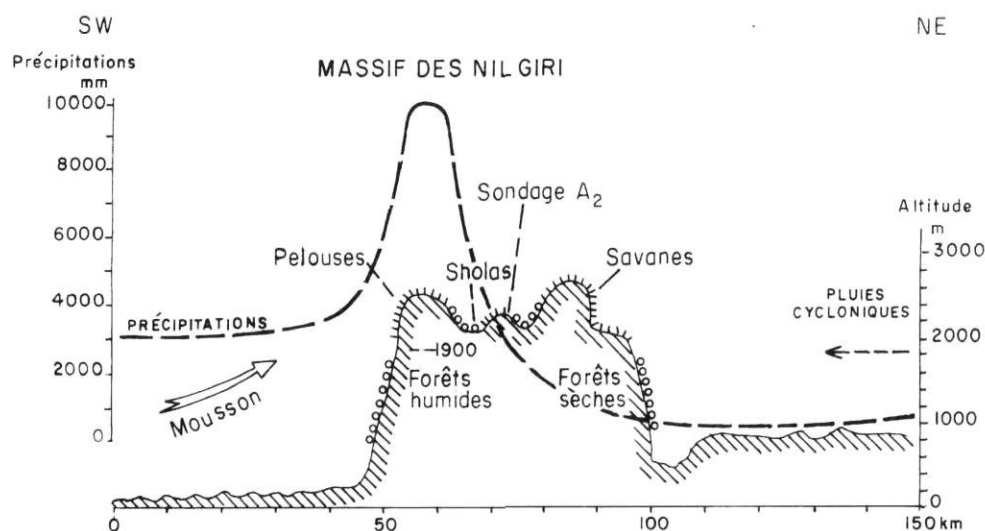


FIGURE 2. Profil topographique simplifié du massif des Nilgiri et précipitations moyennes annuelles (d'après Demangeot, 1973).

Schematic topographic profile of the Nilgiri hills and mean annual precipitation (after Demangeot, 1973).

La question de l'origine de la mosaïque forêt-savane a depuis longtemps été l'objet d'hypothèses contradictoires. Parmi les deux hypothèses principales, la première est celle d'une dominance alternée en fonction des variations passées du climat : dominance de la savane sous des climats secs et dominance de la forêt sous des climats humides (Gupta et Shankarnarayan, 1962 ; Vishnu-Mittre et Gupta, 1968 ; Blasco, 1971). La deuxième hypothèse envisage, en fonction des conditions édaphiques, orographiques et climatiques de cette région, le maintien d'un équilibre ancien avec une mosaïque forêt-savane stable depuis plusieurs millénaires (Ranganathan, 1938 ; Troy, 1979). De plus, l'intervention humaine (pâturages et incendies) a été souvent invoquée pour expliquer l'extension de la savane depuis les périodes préhistoriques récentes (Vishnu-Mittre et Gupta, 1968 ; Whyte, 1968 ; Blasco, 1971).

L'analyse pollinique de sédiments fournit des données sur l'histoire des successions végétales et est susceptible d'apporter des éléments de réponse quant à la mise en place de la mosaïque forêt-savane. Plusieurs études entreprises antérieurement avaient déjà été orientées dans ce sens.

TRAVAUX PALYNOLOGIQUES ANTÉRIEURS

Entre 1968 et 1988, des recherches palynologiques ont été réalisées par différents auteurs sur des sédiments prélevés par sondages ou tranchées dans plusieurs marais du massif des Nilgiri (fig. 3).

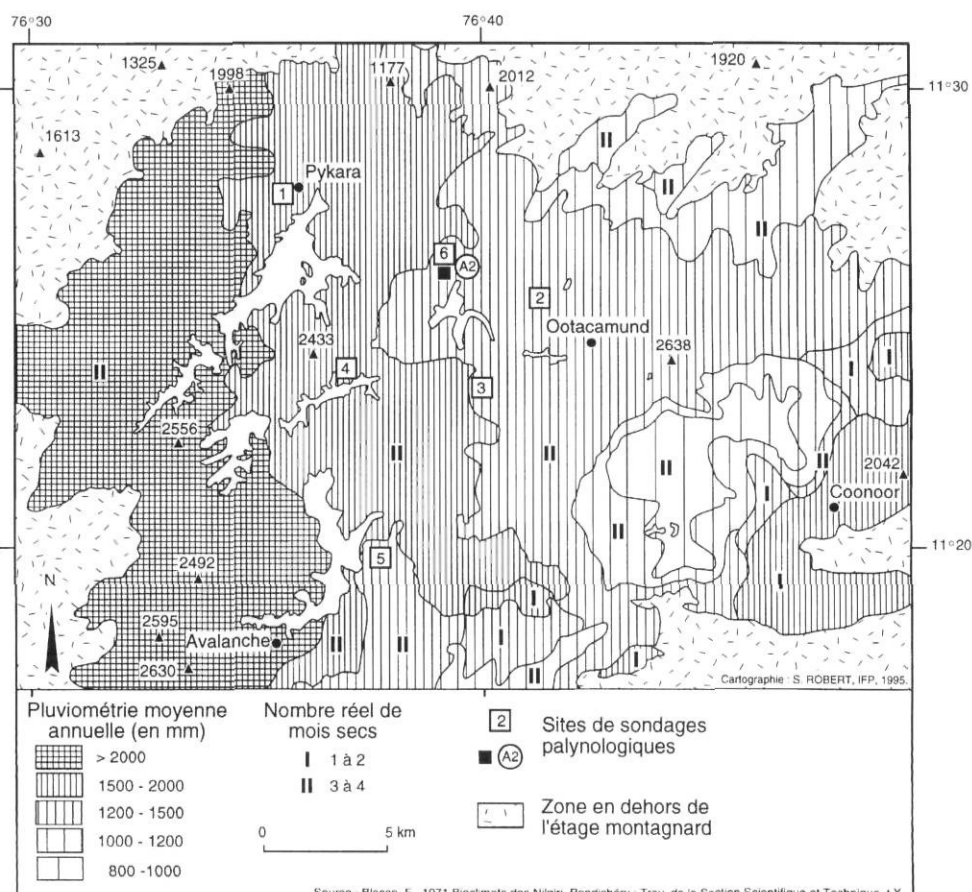
Les premières investigations palynologiques ont été entreprises sur des sédiments organiques de la région de Pykara (site 1, fig. 3) à environ 5 km au nord-ouest de Sandynallah (Menon, 1968). Le sondage de 175 cm de profondeur n'est pas daté, mais un comptage de plus de 3000 grains (soit environ 200 grains par niveau) met en évidence la prédominance de grains de pollen de plantes herbacées, parmi lesquels les Gramineae sont les plus abondantes. On note aussi des pourcentages élevés pour les spores de Ptéridophytes.

Les travaux ultérieurs (Blasco, 1971 ; Blasco et Thanikaimoni, 1974) sur deux sites, à Pykara et Pearson's Valley (sites 1 et 4 fig. 3), correspondent respectivement à des sondages de 215 et 375 cm de profondeur. Les résultats ne mentionnent pas de comptages détaillés mais confirment la prédominance du couvert herbacé avec, cependant, une indication d'éléments forestiers (Myrtaceae, Lauraceae, Araliaceae, *Elaeocarpus*, *Ilex*, *Celastraceae*, *Symplocos*, etc.) atteignant 8 % à Pearson's Valley. Dans le diagramme de Pykara, un pic des taxons attribués à la bordure forestière (*Strobilanthes* sp., Melastomataceae, Ptéridophytes, dont Lycopodiaceae) est signalé entre 180 et 190 cm de profondeur. Simultanément se produit une baisse des pourcentages des grains de pollen d'herbacées. Aucune datation qui pourrait permettre de situer cet épisode forestier dans la chronologie n'est fournie pour les sondages de Pykara et de Pearson's Valley (Blasco, 1971 ; Blasco et Thanikaimoni, 1974).

FIGURE 3. Localisation des sites palynologiques et zones bioclimatiques du massif des Nilgiri pour l'étage montagnard (Blasco, 1971).

Location of the palynological sites and bioclimatic zones at high elevation in the Nilgiri hills (Blasco, 1971).

Sites: 1) Pykara (Menon, 1968 ; Blasco, 1971 ; Blasco et Thanikaimoni, 1974). 2) Kakathope (Gupta, 1971). 3) Rees Corner (Gupta, 1971). 4) Pearson's Valley (Blasco, 1971 ; Blasco et Thanikaimoni, 1974). 5) Colgrain (Gupta et Prasad, 1985). 6) Sandynallah (Vasanthi, 1988). A2) Sandynallah A2.



Le site de Kakathope au sud de Sandynallah (site 2, fig. 3) a été étudié de façon plus approfondie (Vishnu-Mittre et Gupta, 1968 ; Gupta, 1971 ; Gupta, 1990). Les analyses polliniques portent sur un sondage de 570 cm de profondeur effectué à la sonde Hiller. Il est daté $24\,275 \pm 760$ ans BP à 320-350 cm et $15\,415 \pm 350$ ans BP à 220-230 cm. Le diagramme pollinique indique que les maxima de Gramineae et d'*Artemisia* sont situés entre 24 275 ans BP et 15 415 ans BP. À Rees Corner (site 3, fig. 3), aussi étudié par Gupta, la dominance de pollen d'herbacées reste le caractère marquant comme dans les autres sondages. Deux augmentations notables de grains de pollen d'arbres et d'arbustes sont toutefois signalées, l'une antérieure à la datation de 24 275 ans BP due à *Jasminum* (Oleaceae) et l'autre postérieure à la datation de 15 415 ans BP avec la présence de *Gordonia*, *Ilex*, *Evonymus* et *Eleocarpus* (Gupta, 1971).

Les analyses polliniques effectuées sur des sédiments d'un sondage de 250 cm sur le site de Colgrain, vers le sud (site 5, fig. 3), concernent 13 échantillons, avec un comptage d'environ 460 grains par niveau. Quatre datations existent pour cette séquence, $27\,446 \pm 1000$ ans BP à 235 cm de profondeur, $21\,345 \pm 458$ ans BP à 130 cm, $14\,475 \pm 930$ ans BP à 85 cm et 7854 ± 140 ans BP (50 à 20 cm) (Rajagopalan *et al.*, 1978). Le maximum de pollen de Gramineae est enregistré entre 27 446 ans BP et 21 345 ans BP, au moment de la dernière période glaciaire des zones tempérées. Une faible augmentation des arbres située dans la partie récente de la séquence de Colgrain après 7854 ans BP est marquée par *Elaeocarpus*, *Gordonia*, *Toddalia* et *Evodia* (Gupta et Prasad, 1985).

À environ 10 km au nord de Colgrain, dans la région de Sandynallah (2200 m d'altitude), les analyses polliniques faites sur des sédiments prélevés à la faveur d'une tranchée de 230 cm (site 6, fig. 3) ont pu mettre en évidence la prédominance de savanes à Gramineae et Compositae pendant la période glaciaire, datée $30\,000 \pm 1500$ ans BP à 185-195 cm (Vasanthy, 1988). Dans ce sondage, deux datations, 8500 ± 100 ans BP (100-120 cm) et 3470 ± 70 ans BP (80-100 cm), ont été obtenues sur des sédiments à des profondeurs adjacentes. L'écart de près de 5000 ans qui les sépare pourrait indiquer une absence de sédimentation durant l'Holocène inférieur et moyen. Cette étude sur Sandynallah a porté sur un comptage important (9000 grains pour 20 niveaux analysés) et a mis en évidence une rareté des grains entre 3400 et 8000 BP, attribuable à des conditions arides au moment de la discontinuité sédimentaire. Par contre, la période après 3470 BP est bien connue. Une faible augmentation des grains de *Dodonaea*, *Ilex* et *Rhododendron*, postérieurement à la date 2480 ± 70 ans BP (60-80 cm) indique la présence d'éléments forestiers durant la période récente (Vasanthy, 1988).

Faisant suite à ces études, le travail que nous présentons ici concerne l'analyse pollinique d'un nouveau sondage de 900 cm de profondeur effectué dans un autre marais de la région de Sandynallah (site A2 fig. 3), très proche de celui étudié par Vasanthy (1988). Des investigations récentes ayant montré l'intérêt de comparer données isotopiques (Sukumar *et al.*, 1993) et données polliniques, l'étude d'une nouvelle

séquence s'est imposée pour compléter les lacunes dans les données et obtenir une reconstitution continue de l'histoire de la végétation.

PRÉSENTATION DU SITE ÉTUDIÉ

La région de Sandynallah est située dans l'étage montagnard où règne un climat frais avec des températures moyennes du mois le plus froid comprises entre 10 et 15 °C (Legris et Blasco, 1969 ; Van Lengerke, 1977 ; Van Lengerke et Blasco, 1989). En tenant compte des zones bioclimatiques définies par Blasco (1971) pour cet étage de végétation, la région de Sandynallah est localisée dans la zone bioclimatique 35 pour laquelle la pluviosité moyenne annuelle est comprise entre 1500 et 1200 mm avec une saison sèche de 3 à 4 mois (fig. 3). L'écologie et la dépendance de la végétation au climat ont été approfondies dans plusieurs travaux importants (Blasco, 1971 ; Legris et Meher-Homji, 1977).

Dans cette région, le paysage naturel a typiquement l'aspect d'une mosaïque formée de « savanes » (ou de prairies selon les cas) et de sholas (forêts). Le paysage actuel inclut également de nombreuses zones maraîchères et des plantations de thé. Les arbres sont pour la plupart sempervirents. Ils comprennent des espèces appartenant aux familles des Lauraceae (*Cinnamomum macrocarpum*, *Litsea oleoides*, *Phoebe wightii*), des Elaeocarpaceae (*Elaeocarpus oblongus*), des Celastraceae (*Microtropis ovalifolia*), des Myrsinaceae (*Rapanea wightiana*), des Myrtaceae (*Syzygium arnottiana*, *Syzygium montanum*), des Aquifoliaceae (*Ilex denticulata*) et des Oleaceae (*Olea glandulifera*). Mais il existe également des espèces semi-décidues parmi les Magnoliaceae (*Michelia nilgiriensis*) et les Ulmaceae (*Celtis wightii*). Les quelques formations de shola perturbées autour du marais comprennent aussi des espèces comme *Daphniphyllum neilgherense* (Euphorbiaceae), *Turpinia nepalensis* (Staphyleaceae), *Eugenia tamilnadensis* (Myrtaceae), *Lasianthus acuminatus* et *Ixora notoniana* (Rubiaceae), *Symplocos foliosa* (Symplocaceae) et *Xantolis tomentosa* (Sapotaceae).

La tourbière mesure environ 3 km de longueur pour une largeur moyenne évaluée à 60 m. La surface du marais est actuellement couverte par des Cyperaceae, *Eriocaulon*, *Impatiens* ainsi que par des Gramineae dont les genres majeurs pour l'étage montagnard sont *Themeda*, *Chrysopogon* et *Arundinella*. Les eaux du marécage ont un pH relativement bas (pH 5) et des plantes spécifiques de ces milieux acides, telles que *Drosera*, sont présentes.

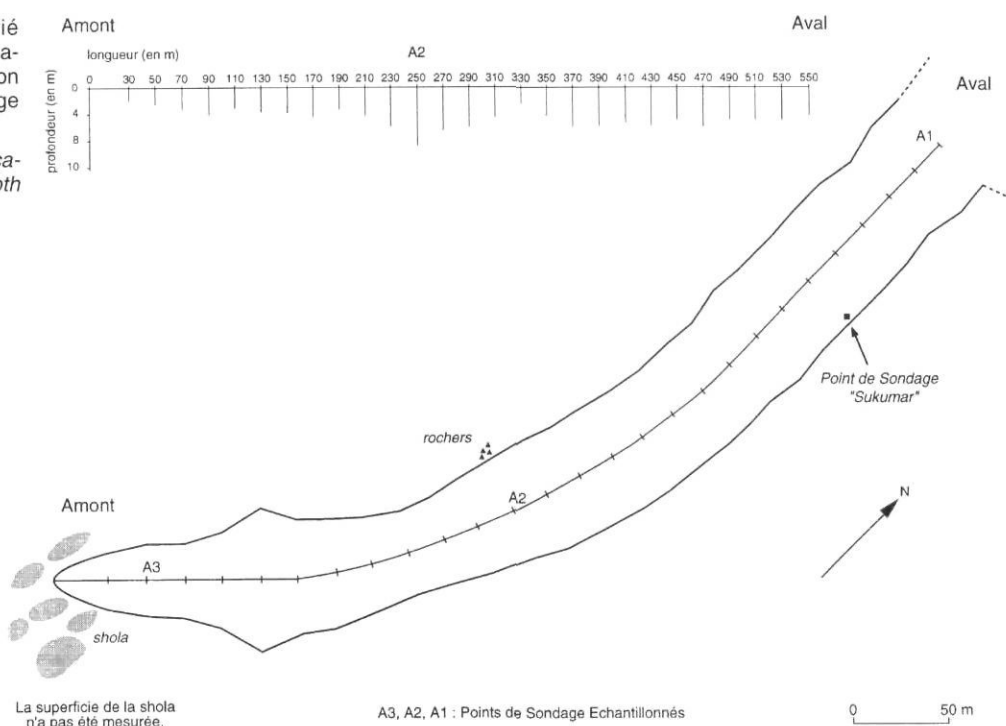
MATÉRIEL ET MÉTHODES

SONDAGE

Avant de prélever les échantillons sur les sondages palynologiques, une prospection de la profondeur du remplissage a été menée, pendant la saison sèche, depuis l'amont où se situent des bribes de shola résiduelle, sur une distance d'environ 500 m vers l'aval (fig. 4). Trois sondages palynologiques ont été effectués en avril 1994, respectivement à 50 m (A3), 250 m (A2) et 550 m (A1) de distance de la tête de vallée. Le sondage A2, choisi pour cette étude,

FIGURE 4. Croquis simplifié d'une partie du marais avec emplacement des sondages et indication des profondeurs du remplissage organique.

A sketch of the swamp with location of the cores and peat depth indicated.



correspond au remplissage le plus épais de cette partie de la dépression. La technique utilisée pour sonder est celle du carottier russe qui permet de prélever le sédiment dans un demi-cylindre fermé, par segments de 50 cm de long, alternés dans deux forages distants de 150 cm. On peut ainsi recueillir les sédiments en évitant la contamination par les parois ou les niveaux supérieurs au cours du carottage (Morley, 1976 ; Thanikaimoni, 1987 ; Bonnefille et Rioulet, 1988).

La stratigraphie du sondage A2 montre deux parties nettement distinctes (fig. 5). De la surface à 300 cm de profondeur, le sédiment tourbeux est peu évolué avec des fragments végétaux de différentes tailles. De 300 cm à 890 cm, il est bien décomposé et de couleur noire. De 890 à 900 cm, le matériel sédimentaire est argileux, de couleur blanc-gris. Au delà, on atteint un niveau impénétrable qui représente probablement le substrat rocheux.

MÉTHODES DE TRAITEMENT ET D'ANALYSE

Les prélèvements de sédiment destinés à l'analyse palynologique correspondent à des tranches de 2 cm d'épaisseur. La teneur en eau des échantillons est évaluée par différence de poids après désydratation à l'étuve, 60 °C pendant 48 heures (fig. 5). Le traitement chimique pour les préparations palynologiques est classique : fraction minérale éliminée par attaques aux acides (HCl 10 % et HF 48 %), rinçage à l'acide chlorhydrique dilué 20 % à chaud, puis traitement à la potasse (KOH) diluée 10 % pendant 5 minutes dans un bain-marie à 90 °C, et passage aux ultra sons (Caratini, 1980). Le culot est ramené à un volume constant mesuré par adjonction de glycérine. Une fraction de 22 µl est montée entre lame et lamelle pour une estimation quantitative des grains de pollen (Cour, 1974). Dans ce travail, 65 niveaux ont été analysés. Il a parfois été nécessaire de compter de grandes

quantités de grains en raison de la dominance des taxons herbacés qui peuvent masquer la présence des taxons arborés. Le total des grains dénombrés est supérieur à 130 000 grains pour l'ensemble de la séquence.

Pour l'identification taxonomique, nous avons utilisé la collection de référence du laboratoire de palynologie de l'Institut français de Pondichéry, ainsi que les ouvrages et atlas de morphologie pollinique pour la flore de l'Inde (Guinet, 1962 ; Vasanthy, 1976 ; Tissot *et al.*, 1994) ou d'autres régions tropicales (Roubik et Moreno, 1991 ; Huang, 1972). Nous avons identifié 95 taxons polliniques, parmi lesquels 55 correspondent à des arbres et arbustes. Les identifications des taxons polliniques sont faites au niveau de la famille ou du genre. *Justicia* et le type *Strobilanthes* sont distingués parmi les Acanthaceae, *Teucrium* et le type *Leucas* parmi les Lamiaceae. Les fluctuations de leurs pourcentages calculés par rapport à la somme totale sont représentés sur le diagramme pollinique (fig. 6). Le pourcentage de grains indéterminés est toujours inférieur à 3. Certains taxons identifiés au niveau du genre mais pour lesquels le nombre de grains est resté peu élevé lors des comptages ont été regroupés sous la catégorie de la famille. Les taxons non illustrés sur le diagramme figurent aux tableaux II et III.

RÉSULTATS DES DATATIONS

Neuf échantillons de sédiment brut ont été traités pour la datation. Les datations au ^{14}C ont été effectuées par la méthode conventionnelle grâce à des compteurs proportionnels à gaz (CO_2) au Centre des faibles radioactivités (Gif-sur-Yvette) et au Laboratoire souterrain de Modane dans les Alpes françaises. Le développement de nouvelles installations de

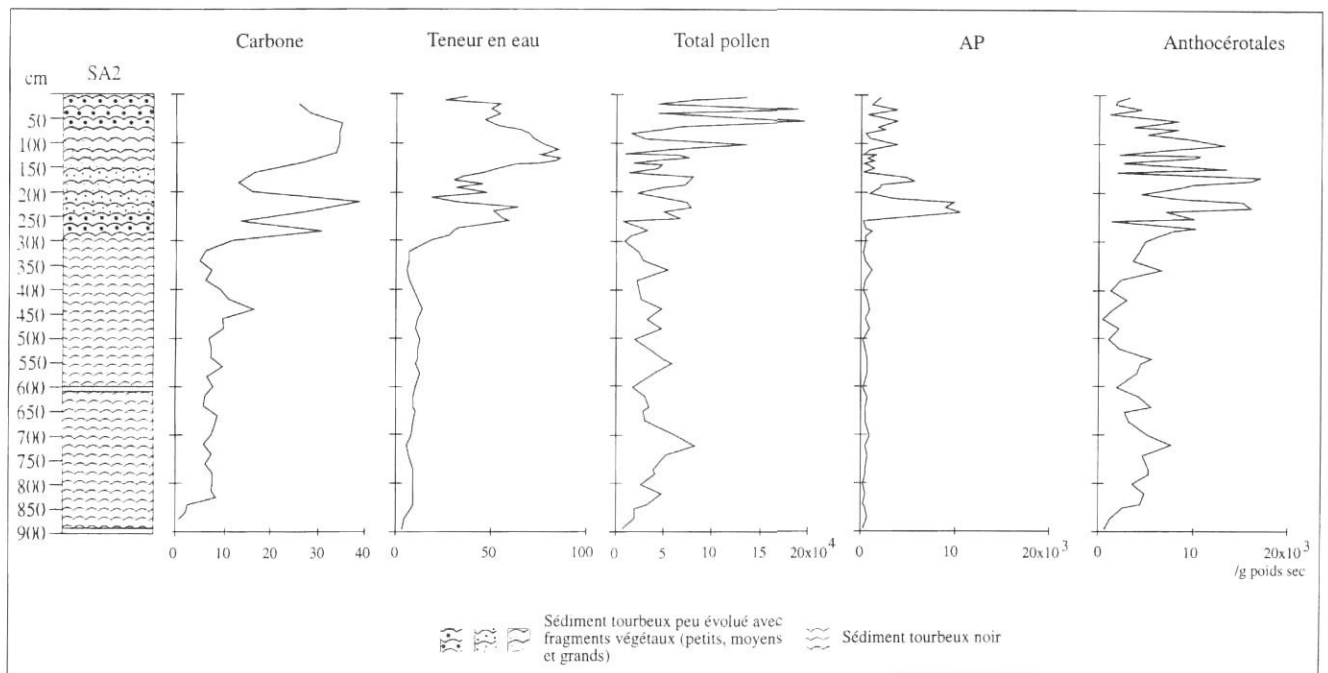


FIGURE 5. Lithologie du sondage SA2 ; taux de carbone (%) ; teneur en eau (%) ; concentrations polliniques totales ; concentrations pour le pollen d'arbres et d'arbustes (AP) ; concentrations pour les spores d'Anthocérotales (par g de poids sec de sédiment).

Lithology of the SA2 core; carbon content (%); water content (%); total pollen concentrations; concentrations for trees and shrubs (AP) and Anthoceros spores (per g of dry weight)

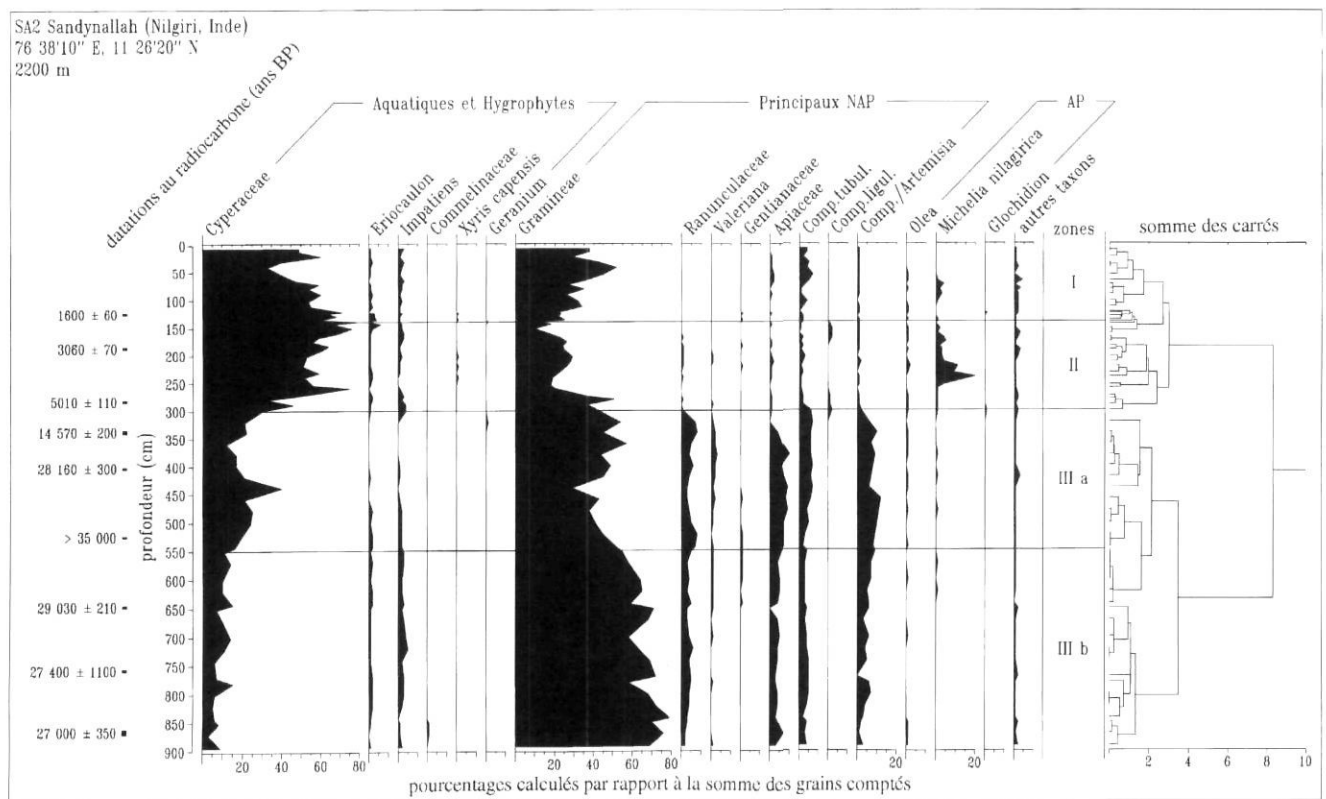


FIGURE 6. Diagramme pollinique du sondage Sandynallah A2 (2200 m, 11°26'N, 76°38'E) pour les principaux taxons ; pourcentages calculés par rapport à la somme totale du pollen. La localisation stratigraphique des niveaux correspond à la profondeur supérieure de l'échantillon. AP : pollen arboréen ; NAP : pollen non arboréen.

Main taxa pollen diagram for the SA2 core (Sandynallah) (2200 m, 11°26'N, 76°38'E); relative percentages versus total pollen counts. AP: arboreal pollen; NAP: non arboreal pollen.

comptages β pour le radiocarbone au Laboratoire souterrain de Modane sous 1700 m de roche, permet de mesurer de très faibles activités à l'abri du rayonnement cosmique. On peut atteindre ainsi des âges avoisinant 50 000 ans BP (Fontugne *et al.*, 1994). La stabilité des compteurs permet de dater dans de bonnes conditions des échantillons anciens contenant peu de carbone. Les dates des différents niveaux de sédiment tourbeux sont corrigées du fractionnement biologique et sont exprimées en âges conventionnels BP (Stuiver et Polach, 1977). Les résultats sont reportés au tableau I. Les datations de la partie profonde entre 860 et 520 cm montrent des âges entre 27 000 et 35 000 ans BP (fin du stade isotopique 3), soit la période précédant le dernier maximum glaciaire. La relative homogénéité de ces dates indique que le remplissage a pu être rapide pendant cette période. Néanmoins, des inversions sont à noter et constitueraient des indices de remaniement de la séquence ou des contaminations par du matériel plus récent comme des radicelles rendues non identifiables en raison de leur décomposition.

TABLEAU I
Données chronologiques, sondage Sandynallah SA2
(massif des Nilgiri)

Profondeur (cm)	Datations au ^{14}C	$\delta^{13}\text{C}$	référence lab.
122-126	1600 $\pm$ 60	19,47‰	Gif 10292
184-188	3060 $\pm$ 70	25,32‰	Gif 10293
280-284	5010 $\pm$ 110	15,29‰	Gif 10294
334-340	14 570 $\pm$ 200	18,50‰	Gif 10470
400-404	>27 000	19,35‰	Gif 10295
400-404	28 160 $\pm$ 300	19,34‰	Gif /LSM 10295
522-526	> 28 000	19,38‰	Gif 10296
522-526	> 35 000	19,50‰	Gif /LSM 10296
644-648	> 26 000	16,69‰	Gif 10297
644-648	29 030 $\pm$ 210	16,70‰	Gif /LSM 10297
755-760	27 400 $\pm$ 1100	14,40‰	Gif 9924
755-760	27 400 $\pm$ 1100	14,40‰	Gif/LSM 9924
860-870	34 000 $\pm$ 2700	14,46‰	Gif 9925
860-870	27 000 $\pm$ 350	14,46‰	Gif/LSM 9925

Datations au radiocarbone obtenues par la méthode conventionnelle à Gif-sur-Yvette (Gif) et au laboratoire souterrain de Modane (Gif / LSM).

En ce qui concerne la partie supérieure du sondage, au dessus de 300 cm, trois datations, 1600 $\pm$ 60 ans BP (122-126 cm), 3060 $\pm$ 70 ans BP (184-186 cm) et 5010 $\pm$ 110 ans BP (280-284 cm), fournissent une chronologie cohérente pour la période après 5000 ans BP. La profondeur de 300 cm représente une limite sédimentologique entre la tourbe fibreuse au-dessus et celle plus décomposée en dessous. La série appartenant à l'Holocène supérieur est donc bien individualisée et bien datée. Pour la période intermédiaire, une datation de 14 570 $\pm$ 200 ans BP (334-340 cm) correspondrait à un enregistrement du début de la déglaciation des zones tempérées. Cependant, 54 cm seulement séparent ce niveau de celui daté à 5010 $\pm$ 100 ans BP. Plutôt qu'un faible taux de sédimentation pour le tardiglaciaire et l'Holocène inférieur, on

peut penser à une phase d'érosion ou à une lacune de sédimentation. La date de 14 570 ans BP (334-340 cm) pourrait alors simplement correspondre à un mélange partiel entre les sédiments anciens et ceux de l'Holocène moyen. Des datations par spectrométrie de masse par accélération (AMS) sur des macrorestes de végétaux terrestres identifiés seraient nécessaires pour vérifier la présence de dépôts tardiglaciaires.

DIAGRAMME POLLINIQUE DU SONDAGE A2

Le diagramme pollinique (fig. 6) regroupe les résultats présentés en pourcentages calculés par rapport au total des grains de pollen comptés. Il montre une prédominance du pollen des plantes herbacées parmi lesquelles les grains de pollen de Gramineae et de Cyperaceae sont les plus importants. Additionnés, les pourcentages polliniques pour ces deux taxons atteignent, sur l'ensemble de la séquence, toujours plus de 60 % de la somme totale. Les Gramineae ont leur maximum (78 %) à 822 cm et leur minimum (13 %) à 160 cm de profondeur.

Les autres taxons herbacés dont les pourcentages sont les plus élevés sont, par ordre d'importance : les Apiaceae, *Artemisia*, les Compositae Tubuliflorae, les Ranunculaceae, *Eriocaulon*, *Impatiens* et *Valeriana*. De nombreux taxons polliniques attribués aux arbres et aux arbustes ont été identifiés (tabl. II) grâce au nombre élevé de grains de pollen dénombrés, mais seuls deux d'entre eux, *Olea* et *Michelia*, montrent des pourcentages supérieurs à 1. Les pourcentages les plus élevés pour *Olea* se situent dans la partie supérieure du diagramme pollinique (1,35 % au niveau 168 cm), tandis que *Michelia* présente un pic marqué à 20 % au niveau 240 cm (fig. 6). Les taxons polliniques tels que *Syzygium*, *Rapanea*, *Psychotria*, *Lasianthus*, *Microtropis*, *Ilex*, *Eleocharis*, *Ardisia*, *Gordonia*, *Eurya*, les Rhamnaceae ou les Sapotaceae correspondent à des genres et familles dont l'association n'existe que dans les forêts de montagne (Blasco, 1971). Malgré les faibles pourcentages polliniques, leur présence régulière est une constante remarquable du diagramme pollinique du sondage A2 de Sandynallah.

La zonation pollinique réalisée avec les programmes Tilia et Tiliagraph (Grimm, 1991-92) met en évidence trois grandes zones (fig. 6). Numérotées du sommet à la base du sondage, les zones polliniques sont commentées dans l'ordre de succession de la végétation. Cette zonation correspond à celle de la stratigraphie avec deux changements importants, un principal à 300 cm de profondeur et un autre à 140 cm fig. 5).

Zone pollinique III (900- 300 cm)

De la base du sondage à la profondeur de 300 cm, limite entre la tourbe noire à la base et la tourbe moins évoluée à fragments végétaux au sommet, la zone pollinique III est caractérisée par la prédominance des Gramineae sur les Cyperaceae et la présence simultanée des Apiaceae, Compositae Tubuliflorae, *Artemisia*, *Eriocaulon*, *Impatiens* et des Ranunculaceae. Tous ces taxons comprennent de nombreuses espèces de marécages ou mouillères (Blasco, 1971). À l'intérieur de la zone III, les variations des pourcentages de ces taxons permettent d'identifier deux sous-zones.

TABLEAU II

Liste des taxons polliniques (arbres et arbustes) dont les pourcentages sont inférieurs à 1 % (excepté Melastomataceae), non représentés sur le diagramme (fig. 6)

Anacardiaceae
Araliaceae (<i>Schefflera</i>)
Berberidaceae (<i>Berberis tinctoria</i> + <i>Mahonia leschenaultii</i>)
Bombacaceae (<i>Bombax ceiba</i>)
Buxaceae (<i>Buxus papillosa</i>)
Caprifoliaceae (<i>Viburnum</i>)
Celastraceae (<i>Celastrus paniculatus</i> + <i>Evonymus</i> + <i>Microtropis</i>)
Combretaceae (<i>Terminalia</i>)
Ebenaceae (<i>Diospyros nilagirica</i>)
Elaeocarpaceae (<i>Elaeocarpus</i>)
Ericaceae (<i>Gaultheria fragrantissima</i> + <i>Rhododendron nilagiricum</i>)
Euphorbiaceae (<i>Daphniphyllum neilgherrense</i> + <i>Phyllanthus</i>)
Flacourtiaceae (<i>Casearia</i>)
Icacinaceae (<i>Apodytes benthamiana</i> + <i>Nothapodytes foetida</i>)
Melastomataceae
Moraceae/Urticaceae
Myristicaceae (<i>Myristica</i>)
Myrsinaceae (<i>Ardisia</i> + <i>Rapanea</i>)
Myrtaceae (<i>Rhodomyrtus tomentosa</i> + <i>Syzygium</i>)
Oleaceae (<i>Ligustrum</i> + <i>Linociera</i> (type))
Pittosporaceae (<i>Pittosporum</i>)
Rhamnaceae
Rosaceae AP
Rubiaceae (<i>Lasianthus</i> + <i>Oldenlandia</i> + <i>Ophiorrhiza</i> + <i>Pavetta</i> (type) + <i>Psychotria</i> + <i>Wendlandia thyrsoides</i>)
Rutaceae
Sabiaceae (<i>Meliosma</i>)
Sapindaceae (<i>Allophylus</i> + <i>Dodonaea viscosa</i>)
Sapotaceae
Staphileaceae (<i>Turpinia nepalense</i>)
Symplocaceae (<i>Symplocos</i>)
Theaceae (<i>Eurya japonica</i> + <i>Gordonia obtusa</i>)
Thymeleaceae (<i>Lasiosiphon</i>)
Tiliaceae (<i>Grewia</i> (type))
Ulmaceae (<i>Celtis</i> + <i>Trema orientalis</i>)
Vitaceae

Sous - zone III b (900-550 cm)

Les pourcentages du pollen de Gramineae oscillent autour de 60 % tandis que ceux de Cyperaceae varient entre 10 et 15 %, accompagnés des Apiaceae (5 %), *Artemisia* (moins de 10 %) et des Compositae Tubuliflorae (5 %). À ces quatre taxons de paysage ouvert s'ajoutent *Eriocaulon* (2 %), *Impatiens* et des Ranunculaceae (2 à 5 %) ainsi que des Geraniaceae et des Commelinaceae qui, comme *Cyanotis*, traduisent la végétation des dépressions marécageuses (Blasco 1971).

Sous - zone III a (550-300 cm)

Cette sous-zone est individualisée par les pourcentages importants de Valerianaceae associés aux maxima pour les Apiaceae, Compositae Tubuliflorae (y compris *Artemisia*) tandis qu'*Impatiens* et *Eriocaulon* sont en nette diminution. Avec le maximum d'*Artemisia*, nous retrouvons les plus basses concentrations de la séquence pour les spores (fig. 5) dont

la majorité concerne des spores trilètes de type Anthocérotales que Thanikaimoni avait déjà identifiées dans les études sur les sites de Pykara et Pearson's Valley (Blasco, 1971). Ces spores, lorsqu'elles sont présentes en grande quantité apparaissent comme une signature d'humidité et « d'importance de la circulation en eau sinon permanente, du moins saisonnière » (Van Campo, 1978). Le pollen d'*Eriocaulon*, *Impatiens*, Ranunculaceae, Commelinaceae et de Geraniaceae signale que l'eau est toujours disponible dans les niveaux supérieurs du marais et favorise le développement des plantes aquatiques proprement dites au détriment des Cyperaceae.

Zone pollinique II (300-140 cm)

La zone pollinique II est identifiée par des pourcentages de pollen de Cyperaceae (60 à 80 % du total des grains comptés) 3 à 4 fois supérieurs à ceux des Gramineae. À l'exception d'*Impatiens* et d'*Eriocaulon*, les autres grains de pollen d'herbacées sont représentés par des pourcentages qui restent plus faibles que dans la zone III. D'autre part, dans cette deuxième zone, les valeurs du pollen d'arbres et d'arbustes atteignent 12 % pour le niveau 232 cm et 21 % pour le niveau 240 cm (fig. 6). Le taxon dominant est *Michelia*. D'autres taxons arboréens sont aussi associés à *Michelia* tels que *Glochidion*, *Olea* ou les Sapotaceae déjà mentionnées. Ils peuvent confirmer la présence d'une forêt de type shola. Certains taxons comme les Melastomataceae, comportent des « espèces vicariantes caractéristiques des forêts ou des savanes donc indicatrices de milieux différents » (Legris, 1988). Ils restent donc difficile à utiliser dans les interprétations. Les Lauraceae sont très fréquentes dans les sholas parmi les arbres de la flore actuelle. Aucun pollen fossile n'a pu leur être attribué lors des analyses microscopiques. Les grains de pollen de Lauraceae ont une exine fragile, facilement détruite durant la fossilisation ou lors du traitement des échantillons (Erdtman, 1952 ; Van Campo, 1979 ; Van der Merwe *et al.*, 1990). Afin de préciser la présence des Lauraceae, on pourrait envisager une technique en microscopie inversée pour l'identification de fragments mal conservés (Rowley et Vasanthi, 1993) ou plus sûrement l'analyse des cuticules (Christopher *et al.*, 1996).

Zone pollinique I (0-140 cm)

La première zone (0-140 cm) est caractérisée par une réduction importante du nombre des taxons identifiés, les dénombrements polliniques restant de même ordre de grandeur. Les Gramineae et les Cyperaceae ont des pourcentages équivalents montrant des tendances complémentaires. Des grains de pollen d'arbres et d'arbustes comme *Dodonaea*, *Olea*, *Michelia*, *Ligustrum*, les Melastomataceae et les Sapotaceae restent présents mais dans des pourcentages peu élevés. Dans le groupe des taxons herbacés, seuls les grains de Compositae Tubuliflorae atteignent 5 % dans plusieurs niveaux. On peut noter, dans cette zone, la présence plus sporadique de grains de pollen de Chenopodiaceae/ Amaranthaceae et l'absence de ceux de Caryophyllaceae qui étaient présents en faible quantité, mais régulièrement depuis la base du diagramme (tabl. III).

TABLEAU III

Liste des taxons polliniques herbacés dont les pourcentages sont inférieurs à 1 %, non représentés sur le diagramme (fig. 6)

Acanthaceae
Boraginaceae
Brassicaceae
Campanulaceae
Caryophyllaceae
Chenopodiaceae/Amaranthaceae
Dipsacaceae (<i>Dipsacus leschenaultii</i>)
Droseraceae (<i>Drosera</i>)
Euphorbiaceae (<i>Dalechampia velutina</i> + <i>Euphorbia</i> + <i>Tragia</i> (type))
Fabaceae
Haloragaceae (<i>Lauremburgia</i> + <i>Myriophyllum</i>)
Hypericaceae (<i>Hypericum</i>)
Lamiaceae
Lentibulariaceae (<i>Utricularia</i>)
Liliaceae
Linaceae
Menispermaceae
Nymphaeaceae (<i>Nymphaea nouchali</i>)
Papaveraceae
Piperaceae (<i>Peperomia</i>)
Plantaginaceae (<i>Plantago</i>)
Potamogetonaceae (type)
Primulaceae
Saxifragaceae (<i>Parnassia</i>)
Scrophulariaceae (<i>Pedicularis</i>)

INTERPRÉTATION ET DISCUSSION

Dans le massif des Nilgiri, parmi les marais qui ont fait l'objet d'investigations, celui de Sandynallah contient le remplissage le plus épais. Le sondage A2 atteint la plus grande profondeur à 900 cm, mais n'a pas permis d'obtenir plus de précision dans les datations au delà de 28 000 ans BP. Les résultats présentés dans ce travail sont en accord avec les études antérieures qui avaient déjà montré que les sédiments les plus anciens dataient d'environ 30 000 ans BP. L'âge de $28\,160 \pm 330$ ans BP obtenu sur le sondage A2 à 400 cm de profondeur est cohérent avec l'âge de $30\,000 \pm 1500$ ans BP pour la même région à 185-195 cm (Vasanthy, 1988), avec celui de $27\,450 \pm 100$ ans BP indiqué pour le site de Colgrain à 70-100 cm de profondeur et avec les datations les plus anciennes de $24\,275 \pm 760$ à Kakathope entre 320 et 350 cm (Gupta, 1971). Un dépôt organique ancien s'est donc mis en place dans plusieurs bassins dans l'ensemble de la région durant la dernière période glaciaire, mais antérieurement au maximum glaciaire. Il est probable que la base de la série de Sandynallah et de la zone pollinique III corresponde à un âge encore plus ancien. Malheureusement, l'inversion de date du niveau 522 cm qui indique un âge supérieur à 35 000 ans BP (tabl. I) ne permet pas de calculer un taux de sédimentation pour les dépôts de cette période. Malgré la qualité des mesures, les datations par la méthode du radiocarbone n'ont pas permis d'obtenir une meilleure précision pour l'évolution du remplissage. Les valeurs proches des trois datations de la base de la séquence en dessous de 644 cm autorisent à penser que l'accumulation organique a pu être rapide. L'âge

de $29\,030 \pm 210$ ans BP représente une estimation minimale pour la zone pollinique III. Les deux âges à 27 000 ans BP pourraient avoir été rajeunis par une contamination de matière organique récente. Il n'est, de plus, pas possible de donner d'âge plus précis pour la limite entre les sous zones III a et III b à 550 cm de profondeur. Cette limite marque un changement dans les fréquences des Gramineae par rapport aux Cyperaceae. Une plus grande importance de la pelouse graminéenne avec une grande proportion de plantes en C_4 (dont le $\delta^{13}C$ avoisine -14 ‰) est repérée à la base de la séquence (tabl. I).

Grâce à ce travail, il a pu être montré que le remplissage organique s'est fait de façon irrégulière et discontinue au cours de la fin du Pléistocène et de l'Holocène. L'abondance des datations effectuées met en évidence des ralentissements, voire des interruptions importantes, notamment durant le maximum glaciaire, la transition glaciaire/interglaciaire et l'Holocène inférieur.

Du point de vue de la sédimentation organique, on distingue nettement deux périodes. Durant la période glaciaire, cette sédimentation est beaucoup plus importante ; les deux tiers du remplissage sont compris dans la tranche chronologique la plus ancienne. Le tiers restant s'accumule pendant les 5000 dernières années avant l'Actuel.

La partie supérieure du diagramme pollinique de Sandynallah A2 correspond à la deuxième moitié de l'Holocène, depuis 5000 ans BP. L'absence de dépôts entre ces deux phases pourrait être due à une dynamique particulière de la tourbière. Les lacunes ne se situent pas exactement dans la même tranche chronologique pour les deux sondages de Sandynallah. Celle de l'étude antérieure était datée entre 8500 et 3500 ans BP (Vasanthy, 1988). On peut invoquer des phénomènes de dessèchement locaux pour tenter d'expliquer ces disparités. Certains auteurs pensent au contraire à des conditions très humides pendant l'Holocène inférieur. Aucun indice actuel ne nous permet de trancher entre les différentes hypothèses. Chacune des séquences polliniques obtenues dans la région des Nilgiri étant différente, il n'est pas possible, dans l'état actuel des connaissances, d'établir un schéma climatique général intégrant les lacunes sédimentaires repérées.

ARTEMISIA ET PÉRIODE GLACIAIRE

Parmi les trois périodes distinctes de l'histoire de la végétation révélées par le diagramme pollinique de Sandynallah A2, la première période correspond à la zone pollinique III pour laquelle nous disposons de cinq datations au delà de 28 000 ans BP (tabl. I). Cette période, marquée par un pourcentage significatif d'*Artemisia* (10 %) se retrouve dans les résultats de Kakathope (Gupta, 1971) et du premier sondage effectué à Sandynallah (10 et 15 %) (Vasanthy, 1988). Les valeurs d'*Artemisia* ne dépassent pas 5 % à Rees Corner (Gupta, 1971) et à Colgrain (Gupta et Prasad, 1985).

Deux espèces du genre *Artemisia* sont présentes dans les monts Nilgiri : *Artemisia parviflora*, qui fleurit dans les mois les plus froids (septembre à décembre) (Fyson, 1932 ; Blasco, 1971) et *Artemisia vulgaris* (var. *nilagirica*). L'amplitude altitudinale pour ces deux espèces est importante. On peut

trouver la première de 900 à 2000 m d'altitude et la seconde de 500 à 2400 m. *Artemisia* a été classée par Erdtman parmi les « apocrats » (Nilsson *et al.*, 1992), plantes qui apparaissent spécialement dans tout nouveau territoire à coloniser et souvent indépendamment de la nature du terrain. À la fois pionnières et opportunistes, ces herbacées anémogames sont exigeantes en lumière (Faegri *et al.*, 1989). Elles sont aussi considérées comme de bons indicateurs de sécheresse (Flenley, 1979) et dans certains cas, de milieux steppiques (Traverse, 1988). *Artemisia* a été utilisé dans l'élaboration d'un indice steppe-forêt permettant de repérer les phases froides et sèches pour toute la durée du Pléistocène de la région méditerranéenne. Ces grains de pollen ont également été trouvés dans d'autres régions d'Asie du Sud, notamment dans des vallées de l'Himalaya oriental comme celle de Katmandu pendant la période froide du Weichselien (Vishnu-Mittre, 1979). Il s'agit donc d'un bon marqueur de la période glaciaire.

Dans un sondage océanique MD 17194 (10°28'N-75°14'E) réalisé en mer d'Arabie au large des côtes occidentales de l'Inde, des pourcentages de pollen d'*Artemisia* de l'ordre de 5 % ont été repérés, associés à des pourcentages de Gramineae supérieurs à 70. La chronologie marine indique leur présence au cours de la période 22 000-18 000 ans BP et confirme qu'il s'agit bien là d'un marqueur régional de la période glaciaire. Toutefois, leur abondance dans la carotte marine correspond au maximum glaciaire interprété comme une période aride (Van Campo, 1986). Leur présence dans le sondage A2 de Sandynallah est plus ancienne.

La phase à *Artemisia* est associée à des Gramineae aux pourcentages polliniques très élevés à la base du diagramme. On peut penser que des fragments de tissus de Gramineae constituent, en tout ou en partie, la matière organique du sédiment. Par ailleurs, les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ (tabl. I) indiquent que ces Gramineae appartenaient en majorité à des plantes en C_4 caractéristiques des savanes tropicales (Aucour *et al.*, 1994 ; Samson *et al.*, 1994). Ce résultat atteste donc d'une présence ancienne des savanes d'altitude, bien antérieure à l'intervention humaine.

MICHELIA ET HOLOCÈNE SUPÉRIEUR

La zone pollinique II correspond à une phase à *Michelia*. Il existe, pour cet arbre, deux espèces dans les Nilgiri dont l'une, *Michelia champaca*, est caractéristique de l'étage de moyenne altitude (Sharma *et al.*, 1977 ; Fyson, 1932 ; Saldanha *et al.*, 1976). L'autre espèce, *Michelia nilagirica*, présente aussi à moyenne altitude (Blasco, 1971 ; Saldhana, 1984), est toutefois principalement caractéristique de l'étage montagnard (Fyson, 1932). Elle fait partie des plantes colonisatrices qui, avec *Celtis tetrandra* et *Meliosma microcarpa* « se comportent comme des espèces de lisières ou de fermetures des trouées forestières » (Blasco, 1971). Parmi les espèces arboréennes de l'étage montagnard, *Michelia nilagirica* est l'une de celles qui peut tolérer une certaine hydromorphie des sols. La différenciation des deux espèces n'est pas possible par la morphologie pollinique (Canright, 1953 ; Takhtajan, 1969 ; Praglowski, 1974). Si l'on tient compte de l'association du pollen de *Michelia* avec les autres

éléments de la forêt de l'étage montagnard (*Glochidion*, *Ilex*, *Rapanea*, *Olea*), on peut considérer que le pollen fossile correspond plutôt à l'espèce *Michelia nilagirica*. Dans le sondage A2 de Sandynallah, les pourcentages élevés de grains de *Michelia* laissent supposer soit un peuplement forestier bien établi, soit un groupement de ces arbres proche de la zone de sondage, compte tenu du mode de pollinisation entomogame des Magnoliaceae (Endress, 1990). Les éléments de la shola (*Ilex*, *Rapanea*, *Olea*, *Glochidion*) présents pendant la période antérieure à l'apparition de *Michelia* persistent au cours de cette phase. La présence d'*Ilex*, un bon marqueur forestier, a aussi été signalée dans la même région au cours de l'Holocène supérieur (Vasanthy, 1988) et dans d'autres parties du massif par d'autres auteurs (Menon, 1968 ; Gupta, 1971).

La phase à *Michelia* n'a pas été repérée dans l'étude précédente effectuée dans la région de Sandynallah, à partir des sédiments prélevés sur une tranchée située à quelques centaines de mètres au sud du sondage A2 (Vasanthy, 1988). Cette absence peut s'expliquer par des différences de stratigraphie. Dans la séquence A2, pour la période comprise entre 5000 ans BP et l'Actuel, la maille d'échantillonnage correspond à un pas de temps d'environ 300 ans avec une accumulation sur à peu près 35 ans pour chaque échantillon (2 cm d'épaisseur). Sur la base d'une interpolation du taux de sédimentation de 0,5 mm/an (calculé entre 3060 et 5010 ans BP), l'épisode à *Michelia* se situerait autour de 3800 ans BP. Or, cette période n'était pas représentée dans le travail effectué précédemment (Vasanthy, 1988). Qu'il s'agisse d'un phénomène local lié à la présence d'un peuplement de *Michelia* sur la bordure du marais ou d'une recrudescence forestière d'un élément semi-décidu, l'augmentation des arbres est suivie d'une augmentation de l'apport en matière organique de plantes en C_3 (tabl. I). La phase à *Michelia* est plus récente que le développement forestier de la première partie de l'Holocène mis en évidence à Colgrain pour les Nilgiri (Gupta et Prasad, 1985). Dans d'autres régions tropicales, le début de l'Holocène correspond à une période humide générale en liaison avec une augmentation de la mousson d'été (Bonnefille et Riollot, 1988 ; Bonnefille *et al.*, 1995).

PÉRIODE HISTORIQUE

La zone pollinique I (140-0 cm) du sondage Sandynallah A2 est datée 1600 ± 60 ans BP à 122 cm. Elle correspond donc à la période historique. L'interprétation du diagramme pollinique avec la réduction des Cyperaceae peut indiquer une période moins humide que la précédente et ressemblant à la partie postérieure à 2480 ans BP des résultats antérieurs (Vasanthy, 1988). Toutefois, aucun marqueur pollinique indicateur de l'action de l'homme n'a été repéré dans nos résultats. Il n'est donc pas actuellement possible de préciser la date d'apparition des écosystèmes pâturés qui existent aujourd'hui dans le massif des Nilgiri.

CONCLUSION

L'analyse palynologique du sondage A2 de Sandynallah précise l'histoire de la végétation du massif des Nilgiri depuis 30 000 ans BP. Trois périodes ont été individualisées.

La plus ancienne marquée par la dominance des herbacées (dont des Gramineae en C_4) confirme *Artemisia* comme bon marqueur de la période glaciaire pour les montagnes du Sud de l'Inde et permet d'envisager des corrélations avec les données des régions himalayennes. Du point de vue paléocologique, le travail présenté ici confirme que la mosaïque forêt-savane était déjà présente dès 30 000 ans BP. De plus, les comptages polliniques élevés mettent en lumière la persistance des arbres dont la diversité atteste une présence forestière, y compris pendant la période glaciaire correspondant sans doute à un climat globalement plus frais et plus sec. Ce travail apporte également des données inédites sur la période comprise entre 5000 et 3000 ans BP.

REMERCIEMENTS

Nous remercions C. Caratini qui a proposé ce travail, les directeurs de l'Institut français de Pondichéry, le M.A.E et le C.N.R.S., qui ont apporté leur soutien financier à cette étude. Le travail de terrain a bénéficié de l'assistance régulière des techniciens et chauffeurs de l'Institut que nous remercions vivement. Nous remercions aussi V.M. Meher-Homji (Pondichéry), F. Blasco (Toulouse) et G. Hope (Canberra) pour leurs critiques constructives sur le manuscrit.

RÉFÉRENCES

- Aucour, A.M., Hillaire-Marcel, C. et Bonnefille, R., 1994. Late Quaternary changes from ^{13}C measurements in an highland peatbog from equatorial Africa (Burundi). *Quaternary Research*, 41 : 225-233.
- Blasco, F., 1971. Montagnes du Sud de l'Inde ; forêts, savanes, écologie. Institut français de Pondichéry, travaux de la section scientifique et technique, 10(1) : 1-436.
- Blasco, F. et Thanikaimoni, G., 1974. Late quaternary vegetational history of southern region, p. 632-643. In K.R. Surange, R.N. Lakhanpal et D.C. Bharhadwaj, édit., Aspects and appraisal of indian palaeobotany. Birbal Sahni Institute of Palaeobotany, Lucknow, 674 p.
- Bonnefille, R., et Rioulet, G., 1988. The Kashiru pollen sequence (Burundi) palaeoclimatic implications for the last 40.000 yr B.P. in tropical Africa. *Quaternary Research*, 30 : 19-35.
- Bonnefille, R., Rioulet, G., Buchet, G., Arnold, M., Icole, M., Lafont, R. et Jolly, D., 1995. Glacial/Interglacial record from intertropical Africa, high resolution pollen and carbon data at Rusaka (Burundi). *Quaternary Science Review*, 14 : 917-936.
- Canright, J.E., 1953. The comparative morphology and relationships of the Magnoliaceae - II : Significance of the pollen. *Phytomorphology*, 3 (3) : 355-365.
- Caratini, C., 1980. Ultrasonic sieving to improve palynological processing of sediments : A new device. *International Commission for Palynology Newsletter*, 3 : 4.
- Champion, H.G. et Seth, S.K., 1968. A revised survey of the forest types of India. Government Press, Delhi, 404 p.
- Christopher, D.C., Kerrigan, R. et Rowett, A.I., 1996. The use of cuticular features in the taxonomy of Lauraceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 83 : 419-432.
- Cour, P., 1974. Nouvelles techniques de détection des flux et des retombées polliniques : étude de la sédimentation des pollens déposés à la surface du sol. *Pollen et spores*, 16(1) : 103-141.
- Demangeot, J., 1973. Une montagne tropicale ; les Nilghiri (Inde du Sud). *Finisterra*, 8(16) : 292-309.
- 1975. Recherches géomorphologiques en Inde du Sud. *Zeitschrift für Geomorphologie*, N.F.19(3) : 229-272.
- Endress, P.K., 1990. Evolution of reproductive structures and functions in primitive angiosperms (Magnoliidae). *Memoirs of the New York Botanical Garden*, 55 : 5-34.
- Erdtman, G., 1952. Pollen morphology and plant taxonomy. Almqvist and Wiksell, Stockholm, 539 p.
- Fægri K. et Iversen J., 1989. Textbook of pollen analysis. 4^e éd., K. Fægri, P.E. Kaland and K. Krzywinski, John Wiley, Chichester, 328 p.
- Flenley, J., 1979. The equatorial rain forest : A geological history. Butterworths, London, 162 p.
- Fontugne, M., Jaudon, M. et Reyss, J.L., 1994. Low background CO_2 -gas proportional counters at the underground laboratory of Modane. 15th International Radiocarbon Conference Glasgow, August 15-19th 1994.
- Fyson, P.F., 1932. Flora of the south indian hill stations, 2 vol. Government Press, Madras, 1308 p.
- Gamble, J.S., 1916-1936. Flora of the Presidency of Madras, 3 vol. Adlard and West Newman, London, 1389 p.
- Grimm, E.C., 1991-92. Tilia 1.12, copyright (c) Illinois State Museum, Research and Collection Center, Springfield.
- Guinet, P., 1962. Pollens d'Asie tropicale. Institut français de Pondichéry, travaux de la section scientifique et technique, 5(1) : 1-8, 52 pl.
- Gupta, H.P., 1971. Quaternary vegetational history of Ootacamund, Nilgiris, South India ; 1. Kakathope and Rees Corner. *The Palaeobotanist*, 20(1) : 74-90.
- 1990. Sholas in south indian montane : Past, present and future. In K.P. Jain and R.S. Tiwari, édit., Proceedings of the Symposium Vistas in Indian Palaeobotany. *The Palaeobotanist*, 38 : 394-403.
- Gupta, H.P. et Prasad, K., 1985. The vegetational development during 30 000 years BP at Colgrain ; Ootacamund, Nilgiris, S. India. *Journal of Palynology*, 21 : 174-187.
- Gupta, R.K. et Shankarnarayan, K.A., 1962. Ecological status of the grasslands in South India. *Tropical Ecology*, 3 : 75-78.
- Huang, T.C., 1972. Pollen flora of Taiwan. National Taiwan University, Botanical Department Press, 297 p.
- Legris, P., 1988. De l'écologie à la paléocologie. Actes du 10^e Symposium de l'Association des palynologues de langue française, Bordeaux, Institut français de Pondichéry, travaux de la section scientifique et technique, 25 : 1-9.
- Legris, P. et Blasco, F., 1969. Variabilité des facteurs du climat : cas des montagnes du Sud de l'Inde et de Ceylan. Institut français de Pondichéry, travaux de la section scientifique et technique, 8(1) : 1-94.
- Legris, P. et Meher-Homji, V.M., 1977. Phytogeographic outlines of the hill ranges of peninsular India. *Tropical Ecology*, 18(1) : 10-24.
- Leschenault de la Tour, L.T., 1822. Relation abrégée d'un voyage aux Indes orientales. Mémoires du Muséum d'Histoire naturelle, 9 : 1-30.
- Meher-Homji, V.M., 1967. Phytogeography of the south indian hill stations. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 94(4) : 230-242.
- Menon, V.K., 1968. Pollen analysis of the post glacial deposits from Pykara ; Ootacamund (India). *Journal of Palynology*, 2(3) : 1-10.
- Morley, R., 1976. Vegetation change in West Malesia during the late Quaternary period. Thèse de Ph.D., University of Hull, 505 p.
- Nair, N.C. et Henry, A.N., 1983. Flora of Tamil Nadu, vol. 1. Botanical Survey of India, Coimbatore, 184 p.
- Nair, A.N., Kumari, G.R. et Chithra, V., 1987. Flora of Tamil Nadu, vol. 2. Botanical Survey of India, Coimbatore, 258 p.
- Nilsson, S. et Praglowski, J., édit., 1992. Erdtman's handbook of palynology. Munksgaard, Copenhagen, 580 p.
- Pascal, J.P., 1991. Floristic composition and distribution of evergreen forests in the Western Ghats, India. *The Palaeobotanist*, 39(1) : 110-126.
- Praglowski, J., 1974. Magnoliaceae Juss. Taxonomy by J.E. Dandy. *World Pollen and Spore Flora*, 3 : 1-48.

- Rajagopalan, C., Vishnu-Mittre et Sekar, B., 1978. Birbal Sahni Institute radiocarbon measurements. I. Radiocarbon, 20 : 398-404
- Ranganathan, C.R., 1938. Studies in the ecology of the shola grassland vegetation of the Nilgiri plateau. Indian Forester, 54(9) : 523-541
- Roubik, D.W. et Moreno J.E., 1991. Pollen and spores of Barro Colorado Islands. Monographs in Systematic Botany, 36, Missouri Botanical Garden, 268 p.
- Rowley, R. et Vasanthy, G., 1993. Exine development, structure and resistance in pollen of Cinnamomum (Lauraceae). Grana, suppl. 2 : 49-53.
- Saldanha, C.J., 1984. Flora of Karnataka, vol. 1. Oxford and I.B.H., Delhi, 535 p.
- Saldanha, C.J. et Nicolson, D.H., édit., 1976. Flora of Hassan district, Karnataka, India. Smithsonian Institution and National Science Foundation, Washington, 915 p.
- Samson, N.P., Subbiah, V.R., Ravichandran, P., Krishnan, S., Azhakananda, K., Narashiman, D., Jayakumar, P.S. et Dayanandan P., 1994. Distribution of photosynthetic subtypes among indian grasses. American Journal of Botany, 81(6) : 209
- Sharma, B.D., Shetty, B.V., Vajjavelu, E., Kumari, G.R., Vivekanathan, K., Chandrabose, M., Swaminathan, M.S., Chandrasekaran, R., Subbarao, G.V., Ellis, J.L., Rathakrishnan, N.C., Karthikeyan, S., Chandrasekaran, V. et Srinivassan, S.R., 1977. Studies on the flora of Nilgiris, Tamil Nadu. Biological Memoirs, 2 : 1-186.
- Stuiver, M. et Polach, H., 1977. Discussion reporting of ^{14}C . Radiocarbon, 19 : 355-363
- Sukumar, R., Ramesh, R., Pant, R.K. et Rajagopalan, G., 1993. A $\delta^{13}\text{C}$ record of late Quaternary climate change from tropical peats in southern India. Nature, 364 : 703-706.
- Takhtajan, A., 1969. Flowering plants ; origin and dispersal. Oliver and Boyd, Edinburgh, 310 p.
- Thanikaimoni, G., 1987. Mangrove palynology. Institut français de Pondichéry, travaux de la section scientifique et technique, 24 : 1-100.
- Tissot, C., Chikhi, H. et Nayar, T.S., 1994. Pollen of wet evergreen forests of the Western Ghats. Institut français de Pondichéry, publications du Département d'écologie, 133 p.
- Traverse, A., 1988. Palaeopalynology. Unwin and Hyman, Boston, 600 p.
- Troy J.P., 1979. Pédogénèse sur roches charnockitiques en région tropicale humide de montagne dans le Sud de l'Inde, rôle du milieu : essai de reconstitution historique. Thèse d'État, Université de Nancy I, 380 p.
- Troy, J.P., Legris, P. et Souchier, B., 1977. Aspects d'écologie globale dans les montagnes des Palni et des Nilgiri (Inde du Sud). Bulletin d'Écologie, 8(2) : 151-172
- Van Campo, E., 1978. Spores d'hépatiques du Néogène tunisien et sédimentation sporale. École pratique des Hautes Études, Mémoires et travaux de l'Institut de Montpellier, 8 : 1-32
- 1979. Flore pollinique et climat pliocènes au lac Ichkeul (Tunisie). École pratique des Hautes Études, Mémoires et travaux de l'Institut de Montpellier, 9 : 1-42
- 1986. Monsoon fluctuation in two 20 000 yr B.P. oxygen-isotope/pollen records off southwest India. Quaternary Research, 26 : 376-388.
- Van der Merwe, J.J.M., Van Wyk, A.E. et Kok, P.D.F., 1990. Pollen types in the Lauraceae. Grana, 29 : 185-196.
- Van Lengerke, H.J., 1977. The Nilgiris : Weather and climate of a mountain area in South India. Franz Steiner Verlag, Wiesbaden, 311 p.
- Van Lengerke, H.J. et Blasco, F., 1989. The Nilgiri environment, p. 20-78. In P. Hockings, édit., Blue mountains : The ethnography and biogeography of a south indian region. Oxford University Press, Delhi, 406 p.
- Vasanthy, G., 1976. Pollens des montagnes du Sud de l'Inde. Institut français de Pondichéry, travaux de la section scientifique et technique, 15 : 1-74.
- 1988. Pollen analysis of late Quaternary sediments : Evolution of upland savanna in Sandynallah (Nilgiris, South India). Review of Palaeobotany and Palynology, 55 : 175-192.
- Vishnu-Mittre, 1979. Palaeobotanical evidences of the environment of early man in northwestern and western India. Grana, 18 : 167-181.
- Vishnu-Mittre et Gupta, H.P., 1968. A living fossil plant community in south indian hills. Current Science, 37(23) : 671-672.
- 1971. The origin of shola forest in the Nilgiris, South India. The Palaeobotanist, 19(1) : 110-114
- Whyte, R.O., 1968. Grasslands of the monsoon. Faber and Faber, London, 325 p.